



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL

**PROTOTIPAGEM DIGITAL 3D NO CONTEXTO DO
ENSINO DO DESIGN**

-

**Seu Papel na Fase Conceptual de Desenvolvimento de
Produtos Industriais**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GRÁFICA

**Programa de doctorado: Métodos y Técnicas del Diseño Industrial y
Gráfico**

Autor: João Vasco de Oliveira Mateus

Director: Dr. Bernabé Hernandis Ortuño

Enero 2016

À minha mãe
e ao meu pai
que
ficaria muito
feliz

AGRADECIMENTOS

Ao fim de tantos anos não será fácil recordar e agradecer a tanta gente que, de alguma forma, colaborou no projeto que culminou nesta tese.

Não poderia deixar de agradecer aos responsáveis do Instituto Politécnico de Leiria que, em 2006, tiveram a visão e a coragem de avançar com um programa de formação avançada ímpar e me deram a oportunidade de nele participar.

Um agradecimento muito especial ao meu orientador, Dr. Don Bernabé Hernandis Ortuño, que nunca deixou de acreditar em mim. Pelo tempo, pela simpatia, pela infinita paciência e pelas orientações acertadas que me facultou durante este longo processo.

Não posso esquecer os meus alunos que, de forma entusiasmada, sempre apoiaram as minhas ideias e espontaneamente participaram neste projeto.

Aos meus colegas designers Fernando Brízio, Sérgio Gonçalves, Luís Pessanha e Renato Bispo que, com grande paciência, avaliaram dezenas de projetos contribuindo de forma decisiva para os resultados da terceira fase desta investigação.

Agradeço aos meus filhos, João e Joana, e à minha esposa Helena que, de uma forma afetuosa e discreta, sempre me incentivaram e apoiaram nos momentos mais complicados.

A todos os meus colegas da Escola Superior de Artes e Design das Caldas da Rainha que nunca deixaram de me apoiar ao longo destes anos.

RESUMO

A presente investigação tem como objetivo examinar o papel das tecnologias de prototipagem digital em Design de Produto, num contexto de ensino. A importância que estas tecnologias têm adquirido para a indústria levam-nos a concluir que, para além do seu valor tecnológico devemos ponderar do ponto de vista docente a sua implementação efetiva nos currículos de Design e ter em conta os métodos de ensino/aprendizagem pedagogicamente adequados aos novos modelos educacionais de ensino do Design.

Na primeira fase da investigação foi desenvolvido um estudo empírico centrado em ensaios de interação com um grupo de estudantes de design, numa etapa inicial de aprendizagem, com dois tipos de software CAD com interfaces diferentes. Globalmente os resultados possibilitaram a descrição qualitativa e a compreensão de processos e formas de aprendizagem dos estudantes permitindo a seleção e definição de novas estratégias de ensino, que resultem na redução do tempo de aprendizagem e que, ao mesmo tempo, permitam incrementar as competências essenciais de autoaprendizagem, requeridas para a proficiência exigida nestas tecnologias.

Numa segunda fase, analisou-se através de um inquérito, proposto a estudantes de cursos de design e designers, com diferentes graus de experiência, com a finalidade de poder avaliar a aplicação de tecnologias de prototipagem digital, numa fase conceptual de desenvolvimento de produtos durante o processo de design.

A terceira fase, consistiu na avaliação de projetos por designers especialistas com especial ênfase no produto criativo. Estes projetos foram

desenvolvidos por alunos finalistas de uma escola de design com a utilização de técnicas avançadas de modelação digital 3D. O objetivo principal foi determinar se o resultado da aprendizagem em prototipagem digital e as suas técnicas aplicadas ao projeto resultariam em produtos considerados criativos.

As conclusões que se obtiveram utilizando a evolução da Fabricação Aditiva como processo alternativo de produção, leva-nos a pensar, que as tecnologias de prototipagem digital, já não devem ser entendidas como meras ferramentas auxiliares de apoio à atividade projetual, mas como um processo autónomo integrado na cadeia de desenvolvimento de produto, desde a sua fase conceptual com a modelação virtual de um esquiço 3D, passando por processos de refinamento 3D, que incorporam em etapas iniciais do projeto, diversos tipos de análise baseados tanto na promoção da sua otimização estrutural, como em termos da sua sustentabilidade.

Palavras-chave: Prototipagem Digital; CAD; interface; ensino de tecnologias 3D

ABSTRACT

The goal of the present research is to analyze the role of digital prototyping technologies in the context of the Product Design teaching. The importance that these technologies have in the industry lead us to conclude that, in addition to their indisputable technological value we must ponder, as educators, their effective implementation in Design curriculums and in the most pedagogically suitable teaching methods to possible new methods of teaching Design.

In the first phase of the research we developed an empirical study centered on interaction essays of a group of design students, at an early stage of learning, with two different CAD software with different interfaces. Globally the results enabled, qualitatively, the description of the process and comprehension of the student's ways of learning, allowing the selection and definition of new teaching strategies that will result in the reduction of learning time and provide the essential self-learning competencies to achieve the proficiency demanded for these technologies.

At a second stage we analyzed, through an enquiry proposed to students in Design courses and designers with different degrees of expertise, the effects that are evaluated in the application of digital prototyping technologies at a conceptual development phase of the product during the design process.

The third phase consisted of an evaluation, with emphasis on the creative product, by design experts, of projects developed by senior students, of a design school, where advanced 3D digital modelling techniques were used. The goal was to determine if the result of the advanced learning in digital

prototyping and its applied techniques to the project would result in products considered creative.

The conclusions taken, coupled with the evolution of Additive Manufacturing as an alternative production process lead us to believe that the digital prototyping technologies should not be regarded only as a simple auxiliary design support tools, but as an autonomous integrated process in the product development chain starting at the conceptual phase with the simple virtual modelling 3D draft, going through 3D refinement processes that incorporate, still in an initial project phase, many types of analysis promoting, not only, his structural optimization as well as at the level of sustainability.

Keywords: Digital Prototyping; CAD; interface; 3D technologies learning

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo examinar el papel de las tecnologías de prototipado digital en Diseño de Producto, en el contexto de la enseñanza. La importancia que estas tecnologías han adquirido para la industria nos llevan a concluir que , además de su valor tecnológico debemos considerar desde el punto de vista docente su aplicación efectiva en los currículos Diseño y tener en cuenta los métodos de enseñanza/aprendizaje pedagógicamente adecuados según los nuevos modelos de enseñanza del Diseño.

En la primera fase de la investigación se ha desarrollado un estudio empírico centrado en las pruebas de interacción de un grupo de estudiantes de diseño, en una etapa temprana del aprendizaje, con dos tipos de software CAD con interfaces diferentes. En general los resultados ayudaron a la descripción cualitativa y a entender los procesos y formas de aprendizaje de los estudiantes que nos permitan la selección y definición de nuevas estrategias de enseñanza, con objeto de obtener una reducción del tiempo de aprendizaje y que al mismo tiempo puedan permitir desarrollar las habilidades esenciales de auto-aprendizaje, requerido en estas tecnologías.

En una segunda fase, se analizó mediante una encuesta, propuesto a estudiantes de cursos de diseño y diseñadores, con diversos grados de experiencia , con la finalidad de poder evaluar la aplicación de tecnologías de prototipado digital, en una fase conceptual de desarrollo de productos durante el proceso de diseño.

La tercera fase, consistió en la evaluación de proyectos por expertos diseñadores haciendo especial énfasis en el producto creativo. Estos proyectos

fueron desarrollados por los estudiantes graduados de una escuela de diseño con la utilización de técnicas de modelado 3D digitales avanzados. El objetivo principal fue determinar si el resultado del aprendizaje en el uso del prototipado digital y sus técnicas aplicadas al proyecto darían lugar a productos considerados creativos.

Las conclusiones que se obtuvieron utilizando la evolución de la Fabricación Aditiva como un proceso alternativo de producción, nos lleva a pensar, que las tecnologías de prototipado digital, ya no deben entenderse como meras herramientas de apoyo auxiliar para diseñar, sino como un proceso autónomo integrado en la cadena de desarrollo de producto, desde la etapa conceptual hasta el modelado virtual de un boceto 3D, haciendo uso de procesos de refinación en 3D, que incorporan en las etapas tempranas de diseño, diversos tipos de análisis basados tanto en la promoción de su optimización estructural, como en términos de su sostenibilidad.

Descriptores: Prototipado Digital; CAD; interface; enseñanza de tecnologías 3D

RESUM

La present investigació té com a objectiu examinar el paper de les tecnologies de prototipat digital en Disseny de Producte en context d'ensenyança. La importància que estes tecnologies tenen per a la indústria ens porten a concloure que , a més del seu valor tecnològic indiscutible que s'ha de tindre en compte, com a professors, la seua aplicació efectiva en currículums de cursos Disseny i mètodes d'ensenyança/aprenentatge pedagògicament adequats a una generació natus digitals i els possibles nous models d'ensenyança del Disseny.

En la primera fase de la investigació hem desenrotllat un estudi empíric centrat en proves d'interacció d'un grup d'estudiants de disseny en una etapa primerenca de l'aprenentatge, amb dos tipus de programari CAD amb interfícies diferents. En general els resultats van ajudar a descriure qualitativament i entendre els processos i formes d'aprenentatge dels estudiants que permeten la selecció i definició de noves estratègies d'ensenyança que resultaran en una reducció del temps d'aprenentatge i que poden permetre desenrotllar les habilitats essencials d'autoaprenentatge requerit en estes tecnologies.

En una segona fase es va analitzar, a través d'una enquesta proposada a estudiants de cursos de disseny i dissenyadors amb diversos graus d'experiència , els efectes que es poden avaluar en l'aplicació de tecnologies de prototipat digital en una fase conceptual de desenrotllament de productes durant el procés de disseny.

La tercera fase va consistir en l'avaluació, amb èmfasi en el producte creatiu, per experts dissenyadors , de projectes desenrotllats pels estudiants

graduats d'una escola de disseny en què es van utilitzar tècniques de modelatge 3D digitals avançats . L'objectiu va ser determinar si el resultat d'aprenentatge avançat en els prototipat digital i les seues tècniques aplicades al projecte donaria lloc a productes considerats creatius.

Les conclusions que es va retirar i l'evolució de la Fabricació Additiva com un procés alternatiu de producció ens porta a pensar que les tecnologies de prototipat digital ja no han d'entendre's com a meres ferramentes de suport auxiliar per a dissenyar, sinó com un procés autònom integrat en la cadena de desenrotllament de producte des de l'etapa conceptual fins al modelatge virtual d'un esbós 3D , a través de processos de refinació en 3D que incorporen , en una etapa primerenca de disseny, diversos tipus d'anàlisi tant en la promoció de la seua optimització estructural com en termes de la seua sostenibilitat.

Descriptors: Prototipat digital; CAD; interfície; ensenyança de tecnologies 3D

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
RESUMEN.....	VII
RESUM	IX
ÍNDICE	XI
LISTA DE FIGURAS	XVI
LISTA DE QUADROS	XVIII
LISTA DE GRÁFICOS.....	25
ABREVIATURAS	26
1. INTRODUÇÃO.....	31
1.1 Problema a investigar e justificação da sua pertinência.....	31
1.2 Objetivos.....	37
1.3 Hipóteses.....	38
1.4 Fases da investigação.....	41
1.5 Justificação.....	41
1.6 Introducción	45
1.6.1 Problema a investigar y justificación de su relevancia	45
1.6.2 Objetivos.....	51
1.6.3 Hipóteses:	52
1.6.4 Fases de investigación	54
1.6.5 Justificación.....	55
2. MOTIVAÇÃO DO AUTOR	61
2.1 O projeto CAD/CAM na Indústria Cerâmica	61
2.2 A tecnologia CAD/CAM em Portugal (1988)	62
2.3 O que se conhecia sobre a tecnologia CAD/CAM em Cerâmica.....	63
2.4 O sistema CAD/CAM para cerâmica.....	65
2.5 Núcleo de CAD/CAM do CENCAL (1990)	70
2.6 Considerações subseqüentes	72
3. EVOLUÇÃO DA PROTOTIPAGEM DIGITAL.....	75
3.1 Considerações gerais.....	75
3.2 Evolução do CAD e das interfaces gráficas.....	75

3.2.1	A Pré-história dos computadores – antes de 1945	76
3.2.2	Os pioneiros 1945-1955.....	78
3.2.3	Época histórica 1955-1965	79
3.2.4	Época tradicional 1965-1980.....	84
3.2.5	Época moderna 1980-1995	90
3.2.6	Depois de 1995 até aos dias de hoje	99
3.3	Fabricação Aditiva (<i>additive manufacturing</i>)	101
3.3.1	Definição.....	101
3.3.2	Processos.....	102
4.	ESTADO DA ARTE - INTERFACES	119
4.1	Interface de utilizador	119
4.1.1	Considerações gerais.....	119
4.2	Gerações de interfaces.....	123
4.2.1	Interface gráfica de utilizador (GUI - <i>Graphic User Interface</i>).	125
4.3	Modelos de interação	126
4.3.1	Formas de interação	126
4.3.2	Interface por linha de comandos	126
4.3.3	Interface por seleção de menus	127
4.3.4	Interface por seleção de ícones	128
4.3.5	Interface por manipulação direta	130
4.3.6	Interface por preenchimento de formulários.....	130
4.3.7	A interface ideal.....	131
4.4	Interação pessoa computador	131
4.5	Métodos de avaliação de interfaces.....	135
4.5.1	Conceito de usabilidade	135
4.5.2	Avaliação heurística de interfaces	139
4.5.3	Avaliação ergonómica de interfaces	141
4.6	Ensino/aprendizagem das tecnologias CAD 3D	142
4.6.1	Antes do paradigma WIMP	142
4.6.2	O paradigma de interface tipo WIMP.....	145
4.6.3	Interfaces Gráficas de Utilizador	147
4.6.4	Enquadramento teórico do modelo “construtivista”	149
5.	1ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - ANÁLISE DE INTERFACES	159
5.1	Metodologia de análise de dados - Considerações gerais	159
5.2	Perfil da população.....	159
5.3	Caracterização da população.....	161
5.4	Desenho metodológico.....	162
5.4.1	Ensaio de interação.....	162
5.5	Metodologia de análise de dados – registo automático de movimentos.....	167
5.5.1	Operacionalidade na construção de objetos	168
5.5.2	Operacionalidade na modificação de objetos	169

5.5.3	Operacionalidade na manipulação dinâmica de objetos	170
5.5.4	Recurso a técnicas de visualização 3D	171
5.6	Metodologia de registo e análise de dados.....	172
5.7	Análise de resultados	175
5.7.1	Considerações iniciais	175
5.7.2	Autonomias na aprendizagem.....	176
5.7.3	Análise global	177
5.7.4	Tratamento dos dados	181
5.7.5	Verificação de hipóteses	187
6.	2ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - INQUÉRITO	191
6.1	Metodologia de análise de dados - Considerações gerais	191
6.1.1	O inquérito.....	191
6.1.2	A amostra.....	192
6.1.3	Caracterização da amostra global	192
6.2	Caracterização da amostra de designers.....	196
6.2.1	Experiência como designer.....	196
6.2.2	Curso ou área de atividade.....	197
6.2.3	Currículo com formação em CAD 3D.....	198
6.2.4	Escola de formação.....	199
6.2.5	Software aprendido no curso	200
6.2.6	Utilização de software 3D enquanto designer	201
6.2.7	Software usado como designer	201
6.3	Representações na fase conceptual de desenvolvimento de projeto 204	
6.3.1	Verificação da normalidade da distribuição	204
6.3.2	Determinação do teste a utilizar	205
6.3.3	Representação através de texto.....	205
6.3.4	Representação através de esquema	208
6.3.5	Representação através de esquiço.....	211
6.3.6	Representação através de maquete	213
6.3.7	Representação através de Modelo CAD 3D	215
6.3.8	Representação através de Protótipo Rápido	218
6.3.9	Considerações sobre a análise efetuada.....	221
6.4	Utilização regular de tecnologias CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto	222
6.5	Utilização regular de tecnologias CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto	224
6.6	Valorização dos efeitos do uso das tecnologias de CAD 3D	226
6.6.1	Verificação da fiabilidade dos dados	227
6.6.2	Seleção do teste estatístico a efetuar.....	228
6.6.3	Efeito CAD 3D - "Apoiar a Criatividade" - Estatísticas descritivas 228	

6.6.4	Efeito CAD 3D - "Apoiar e melhorar a comunicação" - Estatísticas descritivas	230
6.6.5	Efeito CAD 3D - "Ocorrência de novas ideias" - Estatísticas descritivas	232
6.6.6	Efeito CAD 3D - "Simplificar através da comparação de soluções" - Estatísticas descritivas	234
6.6.7	Efeito CAD 3D - "Concretizar ideias mais rapidamente" - Estatísticas descritivas	236
6.6.8	Efeito CAD 3D - "Reconhecimento de falhas e erros" - Estatísticas descritivas	239
6.6.9	Efeito CAD 3D - "Simular soluções para facilitar modificação de conceitos" - Estatísticas descritivas	241
6.6.10	Efeito CAD 3D - "Melhorar a compreensão do produto" - Estatísticas descritivas	243
6.6.11	Efeito CAD 3D - "Reconhecimento de requisitos desconhecidos" - Estatísticas descritivas	245
6.6.12	Efeito CAD 3D - "Testar virtualmente funcionalidade do produto" - Estatísticas descritivas	247
6.7	Valorização dos efeitos do uso das tecnologias de Prototipagem Rápida	250
6.7.1	Verificação da fiabilidade dos dados	251
6.7.2	Efeito PR - "Apoiar e melhorar a comunicação" - Estatísticas descritivas	252
6.7.3	Efeito PR - "Estudar ergonomicamente o objeto" - Estatísticas descritivas	254
6.7.4	Efeito PR - "Encurtar etapas no desenvolvimento de produto" - Estatísticas descritivas	256
6.7.5	Efeito PR - "Proporcionar a otimização do produto" - Estatísticas descritivas	259
6.7.6	Efeito PR - "Concretizar ideias mais rapidamente" - Estatísticas descritivas	261
6.7.7	Efeito PR - "Reconhecimento de falhas e erros" - Estatísticas descritivas	263
6.7.8	Efeito PR - "Simular soluções para facilitar modificação de conceitos" - Estatísticas descritivas	265
6.7.9	Efeito PR - "Melhorar a compreensão do produto" - Estatísticas descritivas	267
6.7.10	Efeito PR - "Reconhecimento de requisitos desconhecidos" - Estatísticas descritivas	269
6.7.11	Efeito PR - "Testar funcionalidade do produto" - Estatísticas descritivas	271

6.8	Valorização dos efeitos do uso das tecnologias de Prototipagem Digital	273
6.8.1	Importância da Prototipagem Digital - Estatísticas descritivas	273
6.8.2	Verificação de hipóteses	279
7.	3ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - PRODUTO CRIATIVO	289
7.1	Considerações gerais	289
7.2	Modelos de Avaliação do Produto Criativo	290
7.3	Metodologia de análise de dados - Análise do Produto Criativo	295
7.3.1	Dimensão Novidade	298
7.3.2	Dimensão Resolução	303
7.3.3	Dimensão Elaboração e Síntese	311
7.3.4	Considerações sobre a análise efetuada	320
7.3.5	Relação da avaliação do produto criativo com a qualidade/complexidade da modelação 3D	323
7.3.6	Relação da avaliação do produto criativo considerando o tipo do projeto	329
7.3.7	Relação da avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D considerando o tipo do projeto	332
7.3.8	Verificação de hipóteses	335
8.	CONCLUSÕES	341
8.1	Conclusões	341
8.2	Conclusiones	352
	Bibliografia	365
	ANEXO A - Inquérito a designers - prototipagem digital em design de produto	381
	ANEXO B - Projetos alunos - Exploração de técnicas	389
	ANEXO C - Projetos alunos - Aplicação de técnicas	411
	ANEXO D - Avaliação do produto criativo - grelha	425
	ANEXO E - Quadros de comparação múltipla de médias - modos	429
	Quadro E-2 – Quadro de comparação múltipla de médias - esquema	432
	ANEXO F - Quadros de comparação múltipla de médias - efeitos CAD 3D	433
	ANEXO G - Quadros de comparação múltipla de médias - efeitos PR	437
	ANEXO H - Quadros de comparação múltipla de médias - efeitos PD	443
	ANEXO I - Software CAD aprendido durante o curso de Design	447

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Modelo de desenvolvimento de produtos (Adaptado de Ortuño&Navarro)	34
Figura 1-2 – Modelo de desarrollo de productos (Adaptado de Ortuño&Navarro)	48
Figura 2-1 – Esquema ideal de CAD/CAM segundo John Krouse (1982).....	66
Figura 3-1 – Computador Univac no Census Bureau. (Fonte: United States Census Bureau Web site).....	79
Figura 3-2 – Interação com o sistema SAGE. Monitor e caneta luminosa. (Fonte: Computer History Museum)	80
Figura 3-3 – O PDP-1 da DEC. O primeiro minicomputador. (Fonte: <i>Computer History Museum</i>)	81
Figura 3-4 – Ivan Sutherland numa consola do MIT TX-1 demonstrando a sua tese de doutoramento. O <i>Sketchpad</i> em 1963 (Fonte: MIT).....	83
Figura 3-5 – DAC 1 da <i>General Motors</i> (Fonte: <i>Timeline of Computer History</i>)	85
Figura 3-6 – Filosofia base do software DUCT	86
Figura 3-7 – Conjunto de comandos usados na construção de uma superfície DUCT	87
Figura 3-8 – Demonstração em 1968 do NLS em Joint Computer Conference (Fonte: <i>Designing Interactions</i>).....	88
Figura 3-9 – O primeiro rato de Douglas Engelbart (Fonte: <i>Mouse Site</i>).....	88
Figura 3-10 – Xerox Alto (Fonte <i>Wikipédia</i>)	89
Figura 3-11 – IBM PC (Fonte: Time line of Computer History).....	90
Figura 3-12 – Apple Macintosh (Fonte: Old Computers)	91
Figura 3-13 – Interface do <i>AutoCad</i> 10 (Fonte: História do AutoCAD).....	92
Figura 3-14 – <i>AutoCad</i> 10 (Fonte: An AutoCAD Workbook)	92
Figura 3-15 – Sistema gráfico 5080 da IBM	93
Figura 3-16 – Aspeto do CATIA Advanced Surfaces	94
Figura 3-17 – Interface do Windows 3.0 (Fonte: <i>Microsoft</i>).....	95
Figura 3-18 – <i>AutoCad</i> 10 (Fonte: An AutoCAD Workbook)	95
Figura 3-19 – Sistema <i>PHANTOM</i> (Fonte: <i>SensAble Technologies, Inc</i>)	97
Figura 3-20 – Interface do <i>SolidWorks</i> 1995 (Fonte: Revista CGW).....	98
Figura 3-21 – Interface do <i>AutoCad</i> 13 (Fonte: História do AutoCAD)	98
Figura 3-23 – Interface SolidWorks 2015 (Módulo de Simulação)	100
Figura 3-24 – Interface SolidWorks 2015 (Módulo de Sustentabilidade).....	101

Figura 3-25 – Apparatus and method for creating three-dimensional objects.	105
Figura 3-26 – Esquema do processo de ejeção de materiais (<i>material jetting</i>)	106
Figura 3-27 – Three-dimensional printing techniques	108
Figura 3-28 – Esquema do processo Laminação em folha (<i>sheet lamination</i>)	110
Figura 3-29 – Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography	111
Figura 3-30 – Esquema do processo DLP (<i>Digital Light Processing</i>)	112
Figura 3-31 – Method and apparatus for producing parts by selective sintering	113
Figura 3-32 – Esquema do processo SLS (<i>Selective Laser Sintering</i>)	113
Figura 3-33 – Esquema do processo FMD (<i>Fused Metal Deposition Systems</i>)	115
Figura 3-34 – Processo LENS da Optomec (<i>Laser Engineered Net Shaping</i>)	115
Figura 4-1 – Micro e macro medidas de usabilidade (Fonte: Adaptado de Hornbæk (2005))	138
Figura 4-2 – Os desafios em medir a usabilidade (Fonte: Adaptado de Hornbæk (2005))	138
Figura 5-1 – Modelo a executar pelos alunos	164
Figura 5-2 – Modelo digital interativo	166
Figura 6-1 – Box Plot de comparação das medianas entre grupos	238
Figura 6-2 – Box Plot de comparação das medianas entre grupos	258
Figura 7-1 – O primeiro rato de Douglas Engelbart (Fonte: <i>Mouse Site</i>)	296
Figura 7-2 – Exemplo de um dos modelos avaliados	297
Figura 7-3 – Comparação entre pares de grupos	299
Figura 7-4 – Comparação entre pares de grupos	301
Figura 7-5 – Comparação entre pares de grupos	302
Figura 7-6 – Comparação entre pares de grupos	304
Figura 7-7 – Comparação entre pares de grupos	306
Figura 7-8 – Comparação entre pares de grupos	307
Figura 7-9 – Comparação entre pares de grupos	309
Figura 7-10 – Comparação entre pares de grupos	310
Figura 7-11 – Comparação entre pares de grupos	312
Figura 7-12 – Comparação entre pares de grupos	313
Figura 7-13 – Comparação entre pares de grupos	315
Figura 7-14 – Comparação entre pares de grupos	317
Figura 7-15 – Comparação entre pares de grupos	318
Figura 7-16 – Comparação entre pares de grupos	320
Figura 7-17 – Comparação das medianas entre pares de grupos	322
Figura 7-18 – Exemplo de um dos modelos avaliados	327
Figura 7-19 – Comparação das medianas entre grupos	332
Figura 7-20 – Comparação das medianas entre grupos	335

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1 – Benefícios do CAD/CAM	67
Quadro 4-1 – Características que definem uma interface gráfica GUI (Adaptado de Mandel).....	125
Quadro 4-2 – Vantagens e inconvenientes da interface por linha de comandos. (Adaptado de Mandel).....	127
Quadro 4-3 - Vantagens e inconvenientes da interface por seleção de menus. (Adaptado de Mandel).....	128
Quadro 4-4 - Características dos ícones gráficos	129
Quadro 4-5 - Vantagens e inconvenientes da interface por seleção de menus. (Adaptado de Shneiderman)	130
Quadro 4-6 - Vantagens e inconvenientes da interface por seleção de menus. (Adaptado de Shneiderman)	130
Quadro 4-7 – Áreas de conhecimento relacionadas com HCI.....	132
Quadro 4-8 – Critérios ergonómicos de Scapin e Bastien	133
Quadro 4-9 - As dez heurísticas segundo Nielsen e Molich.....	140
Quadro 4-10 - As oito regras de ouro segundo Shneiderman.....	141
Quadro 4-11 – Regras ergonómicas segundo Scapin	142
Quadro 5-1 – Comportamentos a observar na dimensão da construção de objetos	169
Quadro 5-2 – Comportamentos a observar na dimensão de modificação de objetos	170
Quadro 5-3 – Comportamentos a observar na dimensão da manipulação de objetos	170
Quadro 5-4 – Comportamentos a observar na dimensão da visualização 3D .	171
Quadro 5-5 – Tabela de registo de intervalos de autonomia	172
Quadro 5-6 – Tabela síntese de intervalos de autonomia	173
Quadro 5-7 – Tabela síntese de intervalos de autonomia com os valores acumulados.....	173
Quadro 5-8 – Tabela síntese de intervalos de autonomia com os valores acumulados em valores percentuais	174
Quadro 5-9 – Estudos gráficos efetuados	177
Quadro 5-10 – Conjunto dos grupos - <i>3D Studio MAX</i>	178
Quadro 5-11 –Conjunto dos grupos - <i>SolidWorks</i>	180
Quadro 5-12 – Matriz de correlação entre itens	182
Quadro 5-13 – Testes de normalidade das distribuições	183

Quadro 5-14 – Estatísticas descritivas.....	183
Quadro 5-15 – Quadro de média das ordens (<i>Mean Ranks</i>).....	184
Quadro 5-16 – Quadro de estatísticas de teste.....	185
Quadro 5-17 – Quadro de média das ordens (<i>Mean Ranks</i>).....	185
Quadro 5-18 – Quadro de estatísticas de teste.....	185
Quadro 5-19 – Quadro de média das ordens (<i>Mean Ranks</i>).....	186
Quadro 5-20 – Quadro de estatísticas de teste.....	186
Quadro 5-21 – Quadro de média das ordens (<i>Mean Ranks</i>).....	187
Quadro 5-22 – Quadro de estatísticas de teste.....	187
Quadro 6-1 – Situação profissional - aluno/designer	193
Quadro 6-2 – Género.....	194
Quadro 6-3 – Idade.....	194
Quadro 6-4 – País de origem.....	195
Quadro 6-5 – Continente de origem.....	195
Quadro 6-6 – Experiência como designer	196
Quadro 6-7 – Experiência como designer por país	197
Quadro 6-8 – Curso frequentado.....	198
Quadro 6-9 – Formação em CAD 3D.....	198
Quadro 6-10 – Escola de proveniência.....	199
Quadro 6-11 – Software CAD aprendido.....	200
Quadro 6-12 – Utilização de software CAD 3D	201
Quadro 6-13 – Tipo de software CAD utilizado	202
Quadro 6-14 – Software CAD utilizado - SolidWorks/outros	202
Quadro 6-15 – Software CAD utilizado - <i>3DStudio MAX</i> /outros	203
Quadro 6-16 – Técnicas de representação de projeto.....	204
Quadro 6-17 – Testes de normalidade das distribuições	205
Quadro 6-18 – Modos de representação - texto.....	206
Quadro 6-19 – Modos de representação - texto.....	207
Quadro 6-20 – Quadro de média das ordens(<i>Mean Ranks</i>).....	207
Quadro 6-21 – Quadro de estatísticas de teste.....	208
Quadro 6-22 – Modos de representação - esquema.....	209
Quadro 6-23 – Quadro de média das ordens(<i>Mean Ranks</i>).....	210
Quadro 6-24 – Quadro de estatísticas de teste.....	210
Quadro 6-25 – Modos de representação - esquiço	211
Quadro 6-26 – Modos de representação - esquiço (diferentes graus de experiência).....	212
Quadro 6-27 – Quadro de média das ordens(<i>Mean Ranks</i>).....	213
Quadro 6-28 – Quadro de estatísticas de teste.....	213
Quadro 6-29 – Modos de representação - maquete	214
Quadro 6-30 – Quadro de média das ordens (<i>Mean Ranks</i>).....	215
Quadro 6-31 – Quadro de estatísticas de teste.....	215
Quadro 6-32 – Modos de representação - modelo CAD 3D	216

Quadro 6-33 – Modos de representação - modelo CAD 3D (diferentes graus de experiência)	217
Quadro 6-34 – Quadro de média das ordens (<i>Mean Ranks</i>).....	217
Quadro 6-35 – Quadro de estatísticas de teste.....	218
Quadro 6-36 – Modos de representação - protótipo rápido.....	219
Quadro 6-37 – Modos de representação - protótipo rápido.....	220
Quadro 6-38 – Quadro de média das ordens (<i>Mean Ranks</i>).....	220
Quadro 6-39 – Quadro de estatísticas de teste.....	221
Quadro 6-40 – Utilização de CAD 3D na fase conceptual - Formação base...	223
Quadro 6-41 – Utilização de CAD 3D - Experiência.....	223
Quadro 6-42 – Não utilização de CAD 3D.....	224
Quadro 6-43 – Quadro de estatísticas de teste.....	225
Quadro 6-44 - Estatística de confiabilidade	228
Quadro 6-45 - Efeito "Apoiar a Criatividade".....	229
Quadro 6-46 – Estatísticas descritivas - Efeito "Apoiar a Criatividade"	229
Quadro 6-47 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	230
Quadro 6-48 – Quadro de estatísticas de teste.....	230
Quadro 6-49 - Efeito "Apoiar e melhorar a comunicação "	231
Quadro 6-50 – Estatísticas descritivas - Efeito " Apoiar e melhorar a comunicação "	231
Quadro 6-51 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	232
Quadro 6-52 – Quadro de estatísticas de teste.....	232
Quadro 6-53 - Efeito " Ocorrência de novas ideias "	233
Quadro 6-54 – Estatísticas descritivas - Efeito "Ocorrência de novas ideias "	233
Quadro 6-55 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	234
Quadro 6-56 – Quadro de estatísticas de teste.....	234
Quadro 6-57 - Efeito "Simplificar através da comparação de soluções"	235
Quadro 6-58 – Estatísticas descritivas - Efeito "Simplificar através da comparação de soluções".....	235
Quadro 6-59 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	236
Quadro 6-60 – Quadro de estatísticas de teste.....	236
Quadro 6-61 - Efeito "Concretizar ideias mais rapidamente "	237
Quadro 6-62 – Estatísticas descritivas - Efeito "Concretizar ideias mais rapidamente "	237
Quadro 6-63 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	238
Quadro 6-64 – Quadro de estatísticas de teste.....	238
Quadro 6-65 - Efeito "Reconhecimento de falhas e erros"	239
Quadro 6-66 – Estatísticas descritivas - Efeito "Reconhecimento de falhas e erros"	240
Quadro 6-67 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	240
Quadro 6-68 – Quadro de estatísticas de teste.....	241

Quadro 6-69 - Efeito "Simular soluções para facilitar modificação de conceitos"	241
Quadro 6-70 – Estatísticas descritivas - Efeito " Simular soluções para facilitar modificação de conceitos"	242
Quadro 6-71 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	242
Quadro 6-72 – Quadro de estatísticas de teste.....	243
Quadro 6-73 - Efeito "Melhorar a compreensão do produto"	243
Quadro 6-74 – Estatísticas descritivas - Efeito "Melhorar a compreensão do produto"	244
Quadro 6-75 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	244
Quadro 6-76 – Quadro de estatísticas de teste.....	245
Quadro 6-77 - Efeito "Reconhecimento de requisitos desconhecidos"	245
Quadro 6-78 – Estatísticas descritivas - Efeito "Reconhecimento de requisitos desconhecidos"	246
Quadro 6-79 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	246
Quadro 6-80 – Quadro de estatísticas de teste.....	247
Quadro 6-81 - Efeito "Testar virtualmente funcionalidade do produto"	248
Quadro 6-82 – Estatísticas descritivas - Efeito "Testar virtualmente funcionalidade do produto"	248
Quadro 6-83 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	249
Quadro 6-84 – Quadro de estatísticas de teste.....	249
Quadro 6-85 – Utilização de tecnologias PR	250
Quadro 6-86 - Estatística de confiabilidade	251
Quadro 6-87 - Efeito " Apoiar e melhorar a comunicação "	252
Quadro 6-88 – Estatísticas descritivas - Efeito " Apoiar e melhorar a comunicação "	252
Quadro 6-89 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	253
Quadro 6-90 – Quadro de estatísticas de teste.....	253
Quadro 6-91 - Efeito "Estudar ergonomicamente o objeto "	254
Quadro 6-92 – Estatísticas descritivas - Efeito "Estudar ergonomicamente o objeto "	255
Quadro 6-93 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	255
Quadro 6-94 – Quadro de estatísticas de teste.....	255
Quadro 6-95 - Efeito "Encurtar etapas no desenvolvimento de produto "	257
Quadro 6-96 – Estatísticas descritivas - Efeito "Encurtar etapas no desenvolvimento de produto "	257
Quadro 6-97 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	258
Quadro 6-98 – Quadro de estatísticas de teste.....	258
Quadro 6-99 - Efeito "Proporcionar a otimização do produto"	260
Quadro 6-100 – Estatísticas descritivas - Efeito "Proporcionar a otimização do produto"	260
Quadro 6-101 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	261

Quadro 6-102 – Quadro de estatísticas de teste.....	261
Quadro 6-103 - Efeito "Concretizar ideias mais rapidamente "	262
Quadro 6-104 – Estatísticas descritivas - Efeito "Concretizar ideias mais rapidamente "	262
Quadro 6-105 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	263
Quadro 6-106 – Quadro de estatísticas de teste.....	263
Quadro 6-107 - Efeito "Reconhecimento de falhas e erros"	264
Quadro 6-108 – Estatísticas descritivas - Efeito "Reconhecimento de falhas e erros"	264
Quadro 6-109 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	265
Quadro 6-110 – Quadro de estatísticas de teste.....	265
Quadro 6-111 - Efeito " Simular soluções para facilitar modificação de conceitos"	266
Quadro 6-112 – Estatísticas descritivas - Efeito " Simular soluções para facilitar modificação de conceitos"	266
Quadro 6-113 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	267
Quadro 6-114 – Quadro de estatísticas de teste.....	267
Quadro 6-115 - Efeito "Melhorar a compreensão do produto"	268
Quadro 6-116 – Estatísticas descritivas - Efeito "Melhorar a compreensão do produto"	268
Quadro 6-117 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	269
Quadro 6-118 – Quadro de estatísticas de teste.....	269
Quadro 6-119 - Efeito "Reconhecimento de requisitos desconhecidos"	270
Quadro 6-120 – Estatísticas descritivas - Efeito "Reconhecimento de requisitos desconhecidos"	270
Quadro 6-121 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	271
Quadro 6-122 – Quadro de estatísticas de teste.....	271
Quadro 6-123 - Efeito "Testar funcionalidade do produto"	272
Quadro 6-124 – Estatísticas descritivas - Efeito "Testar funcionalidade do produto"	272
Quadro 6-125 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	273
Quadro 6-126 – Quadro de estatísticas de teste.....	273
Quadro 6-127 - Importância da Prototipagem Digital.....	274
Quadro 6-128 – Estatísticas descritivas - Importância da Prototipagem Digital	274
Quadro 6-129 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	275
Quadro 6-130 – Quadro de estatísticas de teste.....	275
Quadro 6-131 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	276
Quadro 6-132 – Quadro de estatísticas de teste.....	276
Quadro 6-133 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	277
Quadro 6-134 – Quadro de estatísticas de teste.....	277
Quadro 6-135 – Anova	278

Quadro 6-136 - Efeitos do uso do CAD 3D na fase conceptual.....	282
Quadro 6-137 - Efeitos do uso da prototipagem rápida na fase conceptual	284
Quadro 7-1 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	298
Quadro 7-2 – Quadro de estatísticas de teste.....	299
Quadro 7-3 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	300
Quadro 7-4 – Quadro de estatísticas de teste.....	300
Quadro 7-5 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	302
Quadro 7-6 – Quadro de estatísticas de teste.....	302
Quadro 7-7 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	303
Quadro 7-8 – Quadro de estatísticas de teste.....	303
Quadro 7-9 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	305
Quadro 7-10 – Quadro de estatísticas de teste.....	305
Quadro 7-11 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	307
Quadro 7-12 – Quadro de estatísticas de teste.....	307
Quadro 7-13 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	308
Quadro 7-14 – Quadro de estatísticas de teste.....	308
Quadro 7-15 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	310
Quadro 7-16 – Quadro de estatísticas de teste.....	310
Quadro 7-17 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	311
Quadro 7-18 – Quadro de estatísticas de teste.....	311
Quadro 7-19 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	313
Quadro 7-20 – Quadro de estatísticas de teste.....	313
Quadro 7-21 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	314
Quadro 7-22 – Quadro de estatísticas de teste.....	314
Quadro 7-23 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	316
Quadro 7-24 – Quadro de estatísticas de teste.....	316
Quadro 7-25 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	318
Quadro 7-26 – Quadro de estatísticas de teste.....	318
Quadro 7-27 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	319
Quadro 7-28 – Quadro de estatísticas de teste.....	319
Quadro 7-29 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	321
Quadro 7-30 – Quadro de estatísticas de teste.....	321
Quadro 7-31 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	322
Quadro 7-32 – Quadro de estatísticas de teste.....	322
Quadro 7-33 – Matriz de correlação entre itens	324
Quadro 7-34 – Estatísticas descritivas - Projeto de exploração das técnicas ..	325
Quadro 7-35 – Teste de normalidade	325
Quadro 7-36 – Teste t para amostras emparelhadas	326
Quadro 7-37 – Estatísticas descritivas - Projeto de aplicação das técnicas.....	327
Quadro 7-38 – Teste de normalidade	328
Quadro 7-39 – Teste t para amostras emparelhadas	329

Quadro 7-40 –Estatísticas descritivas relativas ao Produto Criativo/Tipo de Projeto	330
Quadro 7-41 –Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov	330
Quadro 7-42 –Teste de homogeneidade de variância.....	331
Quadro 7-43 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	331
Quadro 7-44 – Quadro de estatísticas de teste.....	332
Quadro 7-45 –Estatísticas descritivas relativas ao Modelação 3D/Tipo de Projeto	333
Quadro 7-46 –Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov	334
Quadro 7-47 –Teste de homogeneidade de variância.....	334
Quadro 7-48 – Quadro de média das ordens (<i>mean rank</i>).....	334
Quadro 7-49 – Quadro de estatísticas de teste.....	335

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1 – Curva de aprendizagem para uma aplicação centrada no utilizador experiente. Adaptado de Nielsen (1993).	144
Gráfico 4-2 – Curva de aprendizagem para uma aplicação centrada no novo utilizador. Adaptado de Nielsen (1993).....	150
Gráfico 5-1 – Estudo gráfico das autonomias na aprendizagem com o <i>3D Studio MAX</i>	174
Gráfico 5-2 – Curva de aprendizagem para uma aplicação centrada no utilizador experiente. Adaptado de Nielsen (1993).	176
Gráfico 5-3 – Curva de aprendizagem para uma aplicação centrada no novo utilizador. Adaptado de Nielsen (1993).....	177
Gráfico 5-4 – Conjunto dos grupos - <i>3D Studio MAX</i>	178
Gráfico 5-5 – Conjunto dos grupos– <i>SolidWorks</i>	180
Gráfico 6-1 – Modos de representação - texto	206
Gráfico 6-2 – Modos de representação - esquema	209
Gráfico 6-3 – Modos de representação - esquiço	212
Gráfico 6-4 – Modos de representação - maquete.....	214
Gráfico 6-5 – Modos de representação - modelo 3D	216
Gráfico 6-6 – Modos de representação - protótipo rápido	219
Gráfico 6-7 – Modos de representação - análise conjunta	221
Gráfico 6-8 – Objetivos de usar CAD 3D	226

ABREVIATURAS

2D – Duas dimensões

3D – Três dimensões

AM - *Additive Manufacturing*

CAD – Projeto Assistido por Computador (*Computer Aided Design*)

CAD 2D - Desenho Bidimensional Assistido por Computador

CAD 3D - Modelação Tridimensional Assistida por Computador

CAE – Engenharia assistida por Computador (*Computer Aided Engineering*)

CAID - *Computer Aided Industrial Design*

CAM – Fabrico Assistido por Computador (*Computer Aided Manufacturing*)

CIM - Produção Integrada por Computador (*Computer Integrated Manufacturing*)

CN - Controlo Numérico (*Numerical Control*)

CNC – *Computer Numerical Control*

DED - *Directed Energy Deposition*

DFA – *Design for Assembly*

DFM – *Design for Manufacturing*

DLM – *Direct Laser Melting*

DMLS – *Direct Metal Laser Sintering*

DLP - *Digital Light Processing*

ELM – *Electron Laser Melting*

FA – Fabricação Aditiva

FDM – *Fused Deposition Modelling*

FMD – *Fused Metal Deposition*

FR – *Fabricação Rápida*

GUI - *Graphic User Interface*

HSM – *High Speed Machining*

HSS – *High Speed Sintering*

LENS – *Laser Engineered Net Shaping*

LOM – *Laminated Object Manufacturing*

LS - *Laser sintering*

MFD – *Manufacturing for Design*

NURBS – *Non-uniform Ration B-Spline*

PD - *Prototipagem Digital (Digital Prototyping)*

PR – *Prototipagem Rápida (Rapid Prototyping)*

PV - *Prototipagem Virtual (Virtual Prototyping)*

RPD – *Rapid Product Development*

SIS – *Selective Inhibition Sintering*

SL – *Stereolithography Apparatus*

SLS – *Selective Laser Sintering*

SLM - *Selective Laser Melting*

SMS – *Selective Masking Sintering*

STL – *STeroLithography ou Standard Triangle Language*

WIMP - *windows, icons, menus, pointer*

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problema a investigar e justificação da sua pertinência

Quando, em finais de 2008, surgiu a ideia que deu origem a esta investigação, o seu autor celebrava vinte anos de atividade profissional ligado às tecnologias de desenvolvimento de projeto por computador¹.

Todo o envolvimento, tanto prático como científico, num projeto de aplicação das tecnologias CAD/CAM na indústria cerâmica, iniciado em 1988, permitiu ao autor, encarar o desafio de integrar a equipa de arranque numa Escola Superior de Arte e Design, a atual ESAD.CR, como responsável das disciplinas ligadas ao projeto por computador. Em 1990, numa perspetiva evolutiva, ainda pouco explorada, das tecnologias CAD/CAM em design de produto, foram integradas disciplinas de CAD 2D e 3D nos currículos dos cursos de Design Industrial e Design e Tecnologias para Cerâmica.

Numa das primeiras publicações do Centro Português de Design, Bonsiepe (1992)², referia que:

"... se a informática não conseguir mais do que o aumento da produtividade não existirá nenhuma razão para a considerar uma

¹ Parte deste percurso será descrito no capítulo seguinte dado a sua influência determinante no desenvolvimento desta tese.

² Bonsiepe, G. (1992). *Teoria e Prática do Design Industrial - Elementos para um Manual Crítico*. Lisboa: Centro Português de Design.

inovação radical. O que conta é o campo de novas ações que a informática abre."

No mesmo texto o autor considera ainda que:

"... a importância das implicações desta nova tecnologia não deve ser subestimada sobretudo no campo do Design. Esta afirmação não deve ser tomada como idolatria ingênua da novidade técnica ou do progresso técnico."

Segundo Bonsiepe (1992)³, havia que explorar as novas possibilidades das tecnologias informáticas e não transpor simplesmente as técnicas tradicionais para o meio eletrónico.

Uns anos mais tarde, num artigo de Potter (1994)⁴, surgiu o conceito de CAID, *Computer Aided Industrial Design*, onde se discutia a aplicação das tecnologias CAD/CAE como um processo integrado de Design, iniciado com modelação 3D passando pela visualização virtual e referenciando o uso de diversos tipos de análise estrutural e otimização do projeto.

Pipes (2007)⁵ refere-se ao potencial destas tecnologias no apoio ao trabalho do *designer* em todos os estádios do processo e cita Thiel (1981)⁶ que há mais de vinte anos apontava a importância de usar, no processo de *design*, uma diversidade de meios e ferramentas para ampliar e simular as hipóteses de um projeto.

³ Bonsiepe, G. , op. cit. (1992).

⁴ Potter, C. (1994, April). *A Select Few Push The Edge of Design*. Computer Graphics World, 17.

⁵ Pipes, A. (2007). *Drawing for Designers*. Londres: Laurence King Publisher.; pp. 71-105.

⁶ Pipes, A. (2007) apud Thiel, P. (1981). *Visual awareness and design : an introductory program in conceptual awareness, perceptual sensitivity, and basic design skills*. Seattle ; London: University of Washington Press.

"The process of design is based on the use of a variety of tools and media in the extensive simulation of design hypotheses. Your ability to use time effectively in visually manifesting your ideas to yourself and others is crucial to your professional operation."

Nesta altura, em 1981, os sistemas de projeto e visualização por computador davam os primeiros passos mas a evolução não tem parado e a importância crescente que a indústria atribui a estas tecnologias implica necessariamente uma relação direta com todo o processo de *design* de produto, levando-nos, como formadores de designers, a reestruturar as disciplinas ligadas ao CAD e à PD e a investigar formas de as integrar como ferramentas cognitivas desenvolvendo, nos alunos, competências de seleção e aplicação em projeto tecnologias e processos produtivos, de modo funcional, económica e ambientalmente adequada e de utilização de várias metodologias de desenvolvimento de projeto, nomeadamente de apoio à criatividade, de desenvolvimento de modelos, de realização de testes e de avaliação e apoio à tomada de decisão.

Foram estas linhas integradoras de aplicação/exploração/inação das distintas tecnologias ligadas ao desenvolvimento de produto por meios digitais que, em 2007, conduziram o autor a denominar por Prototipagem Digital⁷ (PD), o conjunto de ferramentas (hardware/software) que permitem, ainda na fase conceptual de desenvolvimento, visualizar, modificar, testar e otimizar virtualmente um produto e, eventualmente, através de fabricação aditiva, materializá-lo.

⁷ Algumas empresas, como a *Autodesk*, usaram o conceito de *Digital Prototyping* para caracterizar e integrar o seu portefólio de produtos de software.

O modelo de desenvolvimento de novos produtos proposto por Ortuño (2000)⁸ assim como a relevância dada por Aguayo (2002)⁹ e Pipes (2007)¹⁰ aos protótipos virtuais na avaliação da usabilidade dos produtos, levam-nos a concluir que a fase informática e as tecnologias de PD estão presentes desde o início do processo de *design* e ocupam um lugar fundamental no evoluir de um projeto.

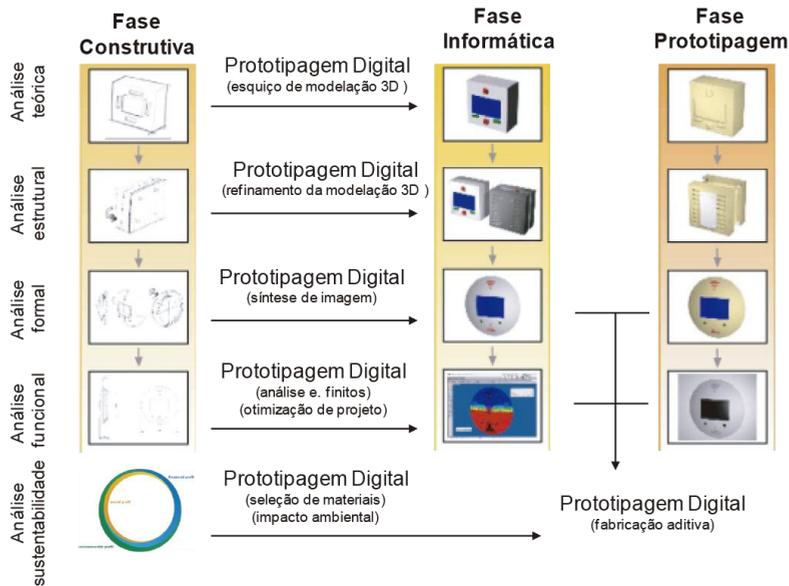


Figura 1-1 – Modelo de desenvolvimento de produtos (Adaptado de Ortuño&Navarro)

Na figura 1-1 apresenta-se um esquema adaptado da proposta de Ortuño (2003)¹¹ que observa, na sua tese de doutoramento¹², a sequencialidade no

⁸ Ortuño, B. H., & Navarro, E. I. (2000). *Diseño de nuevos productos. Una perspectiva sistémica*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.; pp. 51-53.

⁹ Aguayo, F., Soltero, V.M. (2002). *Metodología del Diseño Industrial: Un enfoque desde la Ingeniería Concurrente*: Ra-Ma; pp. 497-511.

¹⁰ Pipes, A. op. cit. (2007); pp. 57-65.

¹¹ Ortuño, B. H., & Navarro, E. I. op. cit.(2000); pp. 51-53

desenvolvimento das diversas etapas de criação de um produto. Cada uma delas apoia-se na geração da etapa anterior permitindo uma retroalimentação da informação. Na adaptação que agora propomos, integramos entre a fase construtiva e a fase informática a prototipagem digital e acrescentamos a análise de sustentabilidade permitida pelas recentes ferramentas de PD. Consideramos também que a Fabricação Aditiva como processo de produção, não só de protótipos, como de objetos funcionais tem, atualmente, um papel muito importante em qualquer modelo de desenvolvimento de produtos.

Fonfría (2007)¹³, no seu artigo, entende que a emergência dos sistemas PLM¹⁴ estabelecem a abordagem estratégica do futuro para a indústria e a base do processo de inovação no desenvolvimento de produtos. Nesta linha, as tecnologias PD serão cada vez mais importantes logo na primeira fase de desenvolvimento – a fase conceptual.

O plano divulgado pelo Design Council (2007)¹⁵ do Reino Unido ao referir-se como podem os Cursos de Design fortalecer as ligações entre o ensino, o negócio e a indústria aponta como fundamental o domínio de aplicações informáticas nucleares. Muitas escolas, segundo Unver (2006)¹⁶ já possuem currículos que integram tecnologias PD e os resultados permitem observar uma melhor integração dos jovens designers no mercado de trabalho.

¹² Ortuño, B. H. (2003). Desarrollo de una Metodología Sistémica para el Diseño de Productos Industriales. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

¹³ Fonfría, M., Ortuño, B., & Westermeyer, J. (2007). PLM Lab: a research and Test initiative involving industry, Developers and University. Paper presented at the INTED2007. International Technology, Education and Development Conference, Valencia.

¹⁴ Product Lifecycle Management

¹⁵ Design skills advisory panel: (2007). UK Design Industry Skills - Development Plan. Design Council.

¹⁶ Unver, E. (2006). Strategies for the Transition to CAD Based 3D Design Education. *Computer-Aided Design & Applications*, 3(1-4), 323-330.

Por outro lado, a implementação do Processo de Bolonha, apesar de algumas disfunções provocadas pelas diferentes realidades culturais entre os países da Comunidade Europeia, impôs um novo paradigma de ensino/aprendizagem que enfatiza o trabalho em equipa, a resolução de problemas interdisciplinares e a articulação teoria/prática na realização de projetos reais. Sempre encontramos no ensino do Design e nas tecnologias PD um ambiente propício a estratégias baseadas em projetos que atribuem ao aluno um papel mais ativo na aprendizagem, permitindo o desenvolvimento de competências técnicas em diversas áreas disciplinares e transversais.

Hodgson e Fraser, (2005)¹⁷ revelam-nos a importância de investigar o impacto que estas tecnologias têm, não só no processo de *design* com na formação de designers.

Tal como Reeves (1998)¹⁸, num relatório sobre o impacto dos media e das tecnologias nas escolas, quando se refere aos computadores e respetivas aplicações como ferramentas cognitivas, o envolvimento, de alguns anos, como professor leva-nos a interpretar estes sistemas como ferramentas, de produtividade no seu propósito industrial mas fortemente cognitivas em termos educacionais quando aplicadas ao Design. A citação deste relatório traduz o que acabamos de referir:

“In the cognitive tools approach, information is not encoded in predefined educational communications which are then used to transmit knowledge to students. Indeed, with cognitive tools, the need for formal instructional systems design processes are reduced. Instead of specialists such as instructional designers shaping students learning

¹⁷ Hodgson, T., & Fraser, A. (2005). *The impact of Computer Aided Design and Manufacture (CAD/CAM) on school-based design work*. Paper presented at the DATA International Research Conference 2005.

¹⁸ Reeves, T. C. (1998). *The impact of media and technology in schools – A research report prepared for the Bertelsmann Foundation*: The University of Georgia.

via prescribed communications and interactions, media and technology are given directly to learners to use for representing and expressing what they know. Learners themselves function as designers using media and technology as tools for analyzing the world, accessing and interpreting information, organizing their personal knowledge, and representing what they know to others.”

O atual modelo de ensino leva-nos a considerar, especialmente no domínio do projeto por computador, a vertente pedagógica como fundamental para um efetivo desenvolvimento de competências nos alunos. No ensino das tecnologias PD, as interfaces gráficas mesmo não tendo as características de um programa educacional possuem, quanto a nós, qualidades pedagógicas que podem ser exploradas pelos professores.

Em projeto por computador, o professor pode usar a interação como facilitador da orientação ao longo de etapas definidas e acreditamos que isso pode contribuir para aumentar a motivação dos alunos e despertar curiosidade pelos conteúdos. As estratégias, a forma como são apresentados os temas condicionarão o estímulo para explorar, logo, a vontade de aprender.

1.2 Objetivos

O objetivo central desta tese é compreender o papel do uso das tecnologias de prototipagem digital na fase conceptual de desenvolvimento de produtos no contexto do ensino do Design.

A abrangência do objetivo principal, implicou a sua subdivisão em objetivos secundários que serão desenvolvidos no decorrer do trabalho:

- Determinar se a interface e a tipologia de modelação 3D dos programas CAD influencia a curva de aprendizagem dos alunos

- Estabelecer a importância das opções de representação usadas por alunos e designers com diferentes níveis de experiência.
- Estabelecer se existe relação entre a valorização dos efeitos do uso de tecnologias de PD entre alunos e designers com diferentes níveis de experiência.
- Estabelecer se existe relação entre a valorização dos efeitos do uso de tecnologias de PD entre designers com e sem formação base neste domínio.
- Definir a importância dada por alunos e designers ,com diferentes níveis de experiência, sobre a aplicação de tecnologias de PD na fase conceptual de desenvolvimento de produto.
- Estabelecer se, como resultado da aprendizagem avançada em PD, a tipologia de projeto influencia a sua avaliação como produto criativo.

1.3 Hipóteses

Para investigar os objetivos referidos propomos as seguintes hipóteses:

H1. A interface das aplicações de CAD 3D influencia a curva de aprendizagem dos alunos.

- H1.1 - O nível de autonomia na construção de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D
- H1.2 - O nível de autonomia na modificação de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D

- H1.3 - O nível de autonomia na manipulação de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D
- H1.4 - O nível de autonomia na visualização de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D

H2. Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo as diversas opções de representação de projeto.

- H2.1 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo o texto como opção de representação de projeto.
- H2.2 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo o esquema como opção de representação de projeto.
- H2.3 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo o esquiço como opção de representação de projeto.
- H2.4 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo a maquete como opção de representação de projeto.
- H2.5 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo os modelos CAD 3D como opção de representação de projeto.
- H2.6 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo os protótipos rápidos como opção de representação de projeto.

H3. Os efeitos do uso de tecnologias de PD na fase conceptual de desenvolvimento de produto são reconhecidos pelos alunos e designers, com diferentes níveis de experiência.

- H3.1 Há relação na valorização dos efeitos do uso de tecnologias de CAD 3D entre alunos e designers, com diferentes níveis de experiência.
- H3.2 Há relação na valorização dos efeitos do uso de tecnologias de PR entre alunos e designers, com diferentes níveis de experiência.
- H3.3 Há relação na atribuição da importância no uso de tecnologias de PD alunos e designers, com diferentes níveis de experiência.
- H3.4 Há relação na atribuição da importância no uso de tecnologias de PD entre os designers que as utilizam regularmente e os que não utilizam.

H4. Com a utilização de tecnologias de PD 3D, na fase conceptual de desenvolvimento, a tipologia de projeto influencia a sua avaliação como produto criativo.

- H4.1 Há relação entre a qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo.
- H4.2 Como produto criativo, há relação entre um projeto desenvolvido para exploração de técnicas de PD 3D e um projeto de aplicação de técnicas.

1.4 Fases da investigação

Para atingir os objetivos definidos, subdividimos a investigação de campo em três fase distintas:

- 1ª fase - através de ensaios de interação, determinar se a tipologia de modelação 3D e a interface das aplicações influencia a curva de aprendizagem dos alunos.
- 2º fase - através de um inquérito proposto a alunos a frequentar cursos de design e designers, com diferentes graus de experiência, determinar os efeitos que se avaliam na aplicação de tecnologias de Prototipagem Digital numa fase conceptual de desenvolvimento de produto durante o processo de design.
- 3ª fase - efetuar a avaliação, com ênfase no produto criativo, por designers especialistas, de projetos desenvolvidos por alunos finalistas onde foram utilizadas técnicas digitais avançadas de modelação 3D, para determinar se o resultado da aprendizagem em PD e as suas técnicas aplicadas ao projeto resultaram em produtos considerados criativos.

1.5 Justificação

Ao longo dos tempos um conjunto significativo de estudos reconhecem a importância do esboço manual na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

Esta investigação não tem como propósito tentar revolucionar os métodos tradicionais de desenho e de projeto em design utilizados com eficiência ao longo de muitos anos mas, face a evoluções significativas nas

técnicas de projeto por computador e novos métodos de produção, vincar a importância destas tecnologias na formação de designers.

Apresentamos algumas referências que, ao longo do tempo, vêm atestando o impacto destas tecnologias nos processos de produção e, conseqüentemente, no modo de projetar.

Há 25 anos Pipes (1990)¹⁹ escreve na introdução do seu livro "*Computer-Aided Design and the changing role of the designer*" anteendo já nessa altura, a importância das tecnologias de PD no design. Numa fase ainda embrionária dos sistemas CAD/CAE define com grande precisão as suas potencialidades:

"Despite a common apprehension among non-users, CAD does not seem to stifle creativity but on the contrary gives the designer time to try alternative "what if?" solutions. CAD can be integrated with analysis, simulation and evaluation programs to test a design for strength and to check that it meets performance expectations, so that potential design failures are caught and eliminated on the screen rather than on the shopfloor. The need for prototypes may not be eliminated, but fewer of them will be required and the ones that have to be made will be nearer to the real thing."

A integração objetiva das técnicas de PD no paradigma DFM (*Design for Manufacturing*), preconizado inicialmente para as tecnologias CAD/CAM, por Chang (1998)²⁰ que definiu os princípios orientadores visando

¹⁹ Pipes, A. (1990). *Drawing for 3-Dimensional Design - Concepts - Illustration - Presentation*. London: Thames and Udson. p. 14

²⁰ Chang, T.-C., Wysk, R. A., & Wang, H.-P. (1998). *Computer-Aided Manufacturing* (2ª ed.). New Jersey: Prentice Hall. pp.596-598

a produção rápida do produto, considerado por Hague (2003)²¹ como uma filosofia de projeto aplicada, desde as etapas iniciais do desenvolvimento do produto, com o objetivo de projetar artefactos de forma mais flexível e económica. Considerando a possibilidade dos designers ignorarem os constrangimentos inerentes a processos tradicionais de produção, Gibson (2010)²² amplia o alcance do DFM para o conceito de emergente DFAM (*Design for Additive Manufacturing*):

"Maximize product performance through the synthesis of shapes, sizes, hierarchical structures, and material compositions, subject to the capabilities of AM technologies."

Wohlers (2011)²³, ao referir-se ao futuro da fabricação aditiva como processo emergente de produção afirma:

"Additive manufacturing (AM) is going places that many of us never anticipated. Frankly, I believe we've only seen the tip of the iceberg. The more I explore the future potential of AM and 3D printing technology, the more excited I become. I truly believe that AM will develop to become the most useful technology for the development and production of products than any other".

Pelo impacto que as tecnologias PD têm atualmente no Design e na Indústria, propomo-nos, com a presente investigação, contribuir para uma reflexão sobre a necessidade de reforçar os currículos dos cursos de Design

²¹ Hague, R., Mansour, S., & Saleh, N. (2003). Design opportunities with rapid manufacturing. *Assembly Automation*, 23(4), 346-356.

²² Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2010). *Additive Manufacturing Technologies - Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer.

²³ Wohlers, T. (2011). Wohlers Talk: Views, perspective, and commentary [em linha]. Acedido junho 13, 2015, em <http://wohlersassociates.com/blog/2011/08/additive-manufacturing-education/>

nestes campos de ação. Quanto a nós, o futuro designer deverá adquirir a capacidade de utilizar as diversas metodologias de desenvolvimento digital de projeto, nomeadamente de apoio à criatividade, de desenvolvimento de modelos, de realização de testes de avaliação e de apoio à tomada de decisão de modo funcional, económica e ambientalmente adequada. Deverá ainda, apresentar uma atitude de inovação que lhe permita estabelecer as relações do Design e do Desenvolvimento Tecnológico com as transformações sociais e as dinâmicas de mercado.

1.6 Introdução

Vamos a analisar los puntos principales que han servido de base para la presente tesis.

1.6.1 Problema a investigar y justificación de su relevancia

Cuando, a finales de 2008, surgió la idea que dio origen a esta investigación, el autor celebraba veinte años de actividad profesional vinculado al desarrollo de las tecnologías informáticas de proyecto.

Toda la participación, a la vez práctica como científica, en un proyecto de la aplicación de las tecnologías CAD/CAM en la industria cerámica, que comenzó en 1988, permitió al autor, enfrentarse al reto de comenzar el arranque en la Escuela de Arte y Diseño, la actual ESAD.CR, a cargo de las disciplinas relacionadas con el diseño por ordenador. En 1990, en una perspectiva evolutiva, todavía poco explorada, la tecnología CAD/CAM para el diseño de productos, fueron integradas las disciplinas CAD 2D y 3D en los planes de estudio de los cursos de Diseño Industrial y Diseño y Tecnologías para Cerámica.

Una de las primeras publicaciones del Centro Português de Design, Bonsiepe (1992)²⁴, declaró que:

"... se a informática não conseguir mais do que o aumento da produtividade não existirá nenhuma razão para a considerar uma inovação radical. O que conta é o campo de novas ações que a informática abre."

En el mismo texto el autor considera que:

²⁴ Bonsiepe, G. (1992). *Teoria e Prática do Design Industrial - Elementos para um Manual Crítico*. Lisboa: Centro Português de Design.

"... a importância das implicações desta nova tecnologia não deve ser subestimada sobretudo no campo do Design. Esta afirmação não deve ser tomada como idolatria ingênua da novidade técnica ou do progresso técnico."

Según Bonsiepe (1992)²⁵, había que explorar las nuevas posibilidades de las tecnologías informáticas y no simplemente adaptar las tecnologías tradicionales para el medio electrónico.

Unos años más tarde, un artículo Potter (1994)²⁶, surgió el concepto de CAID, Computer Aided Design Industrial, donde se discutía la aplicación de las tecnologías CAD/CAE como un proceso de diseño integrado, comenzando con el modelado en 3D a través de la pantalla virtual y haciendo referencia a la utilización de diversos tipos de análisis estructural y la optimización del diseño.

Pipes (2007)²⁷ se refiere al potencial de estas tecnologías en el apoyo a la labor del diseñador en todas las etapas del proceso y cita a Thiel (1981)²⁸ que hace más de veinte años ya señaló la importancia de utilizar, en el proceso de diseño, una variedad de medios y las herramientas para ampliar y simulan las posibilidades de un proyecto.

"The process of design is based on the use of a variety of tools and media in the extensive simulation of design hypotheses. Your ability to use time effectively in visually manifesting your ideas to yourself and others is crucial to your professional operation."

²⁵ Bonsiepe, G. , op. cit. (1992).

²⁶ Potter, C. (1994, April). *A Select Few Push The Edge of Design*. Computer Graphics World, 17.

²⁷ Pipes, A. (2007). *Drawing for Designers*. Londres: Laurence King Publisher.; pp. 71-105.

²⁸ Pipes, A. (2007) apud Thiel, P. (1981). *Visual awareness and design : an introductory program in conceptual awareness, perceptual sensitivity, and basic design skills*. Seattle ; London: University of Washington Press.

En este punto, en 1981, los sistemas de diseño y visualización por ordenador tomó sus primeros pasos, pero la evolución no se ha detenido y la creciente importancia que la industria atribuida a estas tecnologías implica necesariamente una relación directa con todo el proceso de diseño de producto llevándonos, como formadores de los diseñadores, a reestructurar las disciplinas del CAD²⁹ y PD³⁰, y investigar la manera de integrarlas como herramientas cognitivas desarrollando en los alumnos, habilidades de selección y aplicación de tecnologías de diseño y procesos de producción, funcional, económica y ambientalmente adecuada con el uso de diversas metodología de desarrollo de proyectos, en particular, para apoyar la creatividad, de desarrollo de modelos, de realización de pruebas y de evaluación y apoyo a la toma de decisiones.

Han sido estas líneas integradoras de la aplicación/ exploración/ innovación de las diferentes tecnologías relacionadas con el desarrollo de productos digitales ,en 2007, las que llevaron al autor a llamarlas Prototipado Digital (PD), que se define como el conjunto de herramientas (*hardware/software*) que permite, todavía en la etapa conceptual de desarrollo, ver, modificar, probar y optimizar un producto virtual y, finalmente, a través de la fabricación aditiva, materializarlo.

El modelo de desarrollo de nuevos productos propuestos por Ortuño (2000)³¹, así como la importancia que Aguayo (2002)³² y Pipes (2007)³³ de prototipos virtuales para evaluar la usabilidad de los productos que nos lleva a la conclusión de que las tecnologías de la información y de fase PD están

²⁹ Computer Aided Design

³⁰ Prototipado Digital

³¹ Ortuño, B. H., & Navarro, E. I. (2000). *Diseño de nuevos productos. Una perspectiva sistémica*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.; pp. 51-53.

³² Aguayo, F., Soltero, V.M. (2002). *Metodología del Diseño Industrial: Un enfoque desde la Ingeniería Concurrente*: Ra-Ma; pp. 497-511.

³³ Pipes, A. op. cit. (2007); pp. 57-65.

presentes desde el principio del proceso de diseño y ocupar un lugar clave en el curso de un proyecto.

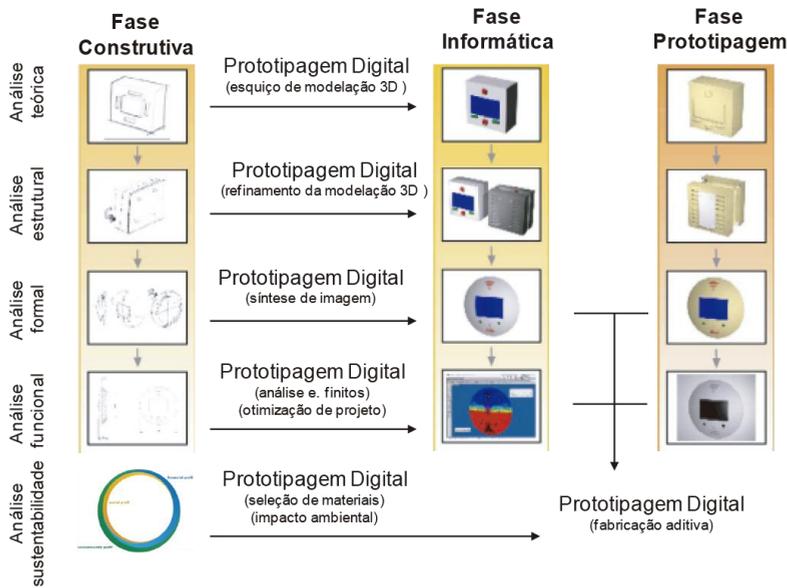


Figura 1-2 – Modelo de desarrollo de productos (Adaptado de Ortuño&Navarro)

En la Figura 1-2 se presenta un esquema adaptado de la propuesta de Ortuño (2003)³⁴ que señala, en su tesis doctoral, el desarrollo secuencial de las diferentes etapas de la creación de un producto. Cada uno de ellos se apoya en la generación anterior permitiendo la información de retroalimentación. En la adaptación que ahora proponemos, integramos entre la fase constructiva y la fase informática el prototipado digital y incrementamos el análisis de sostenibilidad admitido por las herramientas nuevas de PD. También consideramos la Fabricación Aditiva como proceso de producción, no solamente de prototipos, sino también objetos funcionales que tienen, ahora, un rol muy importante en cualquier modelo del desarrollo de productos.

³⁴ Ortuño, B. H., & Navarro, E. I. op. cit.(2000); pp. 51-53

Fonfría (2007)³⁵, en su artículo, cree que la aparición de sistemas PLM proporciona un enfoque estratégico para el futuro de la industria y de la base del proceso de innovación en el desarrollo de productos. En esta línea, las tecnologías de la PD serán cada vez más importante en la primera ronda de desarrollo - la fase conceptual.

El plan anunciado por el Design Council (2007) en el Reino Unido cuando se refiere a cómo pueden los Cursos de Diseño reforzar las conexiones entre la enseñanza, la empresa y la industria que parecen tan fundamentales como el dominio de las aplicaciones de ciencias informáticas nucleares. Muchas escuelas, de acuerdo con Unver (2006) ya poseen planes de estudios que integran tecnologías que PD y los resultados nos permiten observar una mejor integración de los jóvenes diseñadores en el mercado laboral.

Por otro lado, la puesta en práctica del proceso de Bolonia, a pesar de algunos trastornos causados por diferentes realidades culturales entre los países de la Comunidad Europea, impuso un nuevo paradigma educativo/aprendizaje que enfatiza el trabajo en equipo, la resolución de problemas interdisciplinarios y la articulación teoría/práctica en la realización de proyectos reales. Siempre encontramos una atmósfera favorable a las estrategias basada en los proyectos que atribuyen al estudiante a un trabajo más activo que la enseñanza del diseño y las tecnologías PD en un entorno propicio para las estrategias basadas en proyectos que dan al estudiante un papel más activo en el aprendizaje permitiendo el desarrollo de habilidades técnicas en diferentes áreas disciplinares y transversales.

³⁵ Fonfría, M., Ortuño, B., & Westermeyer, J. (2007). PLM Lab: a research and Test initiative involving industry, Developers and University. Paper presented at the INTED2007. International Technology, Education and Development Conference, Valencia.

Hodgson y Fraser (2005)³⁶ nos muestran la importancia de investigar el impacto que tienen estas tecnologías no solo en el proceso de diseño con la formación de los diseñadores.

Como Reeves³⁷ (1998), un informe sobre el impacto de los medios de comunicación y la tecnología en las escuelas, hace referencia a los ordenadores y las respectivas aplicaciones, tales como herramientas cognitivas y la participación, en sus años como profesor nos lleva a interpretar estos sistemas como herramientas, la productividad en su uso industrial pero enérgicamente cognitiva en términos educativos cuando se aplica al diseño. La cita de este informe refleja la que acabamos de mencionar:

“In the cognitive tools approach, information is not encoded in predefined educational communications which are then used to transmit knowledge to students. Indeed, with cognitive tools, the need for formal instructional systems design processes are reduced. Instead of specialists such as instructional designers shaping students learning via prescribed communications and interactions, media and technology are given directly to learners to use for representing and expressing what they know. Learners themselves function as designers using media and technology as tools for analyzing the world, accessing and interpreting information, organizing their personal knowledge, and representing what they know to others.”

El paradigma educativo actual nos lleva a considerar, sobre todo en el dominio del proyecto de diseño, el aspecto educativo como algo fundamental

³⁶ Hodgson, T., & Fraser, A. (2005). *The impact of Computer Aided Design and Manufacture (CAD/CAM) on school-based design work*. Paper presented at the DATA International Research Conference 2005.

³⁷ Reeves, T. C. (1998). *The impact of media and technology in schools – A research report prepared for the Bertelsmann Foundation*: The University of Georgia.

para un desarrollo de competencias efectivas en los estudiantes. En la enseñanza de las tecnologías PD, las interfaces gráficas aun no cuidan las características de un programa educativo que, a nuestro juicio, pueden ser explotadas en la enseñanza por los profesores.

En el proyecto por ordenador, el profesor puede utilizar la interacción como un facilitador al longo de etapas definidas e creemos que esto puede ayudar a aumentar la motivación de los estudiantes y despertar la curiosidad sobre el contenido. En las estrategias, la forma condicionará el incentivo de analizar, por lo tanto, la voluntad de aprendizaje cuando los temas son presentados.

1.6.2 Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es comprender el papel de la utilización de las tecnologías de prototipado digital en la fase conceptual del desarrollo de productos en el contexto de la enseñanza del diseño.

El alcance de la meta principal, llevó a su división en los objetivos secundarios que se desarrollarán durante el presente trabajo a partir der estas proposiciones:

- Determinar si la interfaz y la tipología de modelado en programas CAD influyen en la curva de aprendizaje de los estudiantes.
- Establecer la importancia de opciones de representación utilizados por los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia.

- Establecer si existe una relación entre la valoración de los efectos del uso de las tecnologías de la PD entre estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia.
- Establecer si existe una relación entre la valoración de los efectos del uso de las tecnologías de la PD entre diseñadores con y sin formación básica en este campo.
- Establecer la importancia dada por los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia en la aplicación de las tecnologías de la PD en la fase conceptual de desarrollo de productos.
- Establecer si como resultado del aprendizaje avanzado mediante el uso del PD, podemos decir que el tipo de proyecto influye en su evaluación como producto creativo.

1.6.3 Hipótesis:

Para investigar estos objetivos proponemos las siguientes hipótesis:

H1. La interfaz de aplicaciones CAD 3D influncia la curva de aprendizaje de los estudiantes.

- H1.1 - El nivel de autonomía en la construcción de objetos es el mismo para ambas aplicaciones CAD 3D
- H1.2 - El nivel de autonomía en la modificación de los objetos es el mismo para ambas aplicaciones CAD 3D
- H1.3 - El nivel de autonomía en el manipulación de objetos es el mismo para ambas aplicaciones CAD 3D

- H1.4 - El nivel de autonomía en la visualización de objetos es el mismo para ambas aplicaciones CAD 3D

H2. Los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia, valoran por igual las diferentes opciones de representación del proyecto.

- H2.1 Los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia, valoran de igual manera, el texto como opción de representación en el proyecto.
- H2.2 Los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia, valoran igualmente el esquema como opción de representación del proyecto.
- H2.3 Los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia, valoran de igual manera al boceto como opción de representación del proyecto.
- H2.4 Los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia, valoran de igual manera la maqueta como opción de representación del proyecto.
- H2.5 Los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia, valoran igualmente los modelos CAD 3D como opción de representación del proyecto.
- H2.6 Los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia, valoran de igual manera los prototipos rápidos como una opción de representación del proyecto.

H3. Los efectos del uso de las tecnologías de la PD en la fase conceptual de desarrollo de productos son reconocidos por los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia.

- H3.1 Existe una relación en la valoración de los efectos del uso de la tecnología CAD 3D entre los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia.
- H3.2 Existe una relación en cuanto a la valoración de los efectos de la utilización de las tecnologías de PR entre los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia.
- H3.3 Existe una relación en cuanto a la asignación de importancia en el uso de los estudiantes con PD y tecnologías de diseñadores, con diferentes niveles de experiencia.
- H3.4 Existe una relación en la asignación de importancia en el uso de las tecnologías de la PD entre los diseñadores que los utilizan con regularidad y los que no lo usan.

H4. Mediante el uso de las tecnologías del PD 3D en la etapa conceptual de desarrollo del producto, el tipo de proyecto influye en su evaluación como producto creativo.

- H4.1 Existe una relación entre la calidad/complejidad de modelado 3D y la evaluación como producto creativo.
- H4.2 Cómo producto creativo, hay relación entre un proyecto desarrollado para explorar técnicas PD 3D y un proyecto para aplicación de las técnicas.

1.6.4 Fases de investigación

Para alcanzar los objetivos fijados, subdividimos el campo de la investigación en tres fases:

- 1ª fase - mediante pruebas de interacción podremos determinar si existe relación entre la tipología de modelación 3D y el tipo de interfaz de la aplicación y la influencia en la curva de aprendizaje de los alumnos.
- 2ª fase - mediante una encuesta propuesta a los estudiantes y diseñadores con diversos grados de experiencia, podremos determinar los efectos que se derivan de la aplicación de tecnologías de prototipos digitales en una fase conceptual de desarrollo de productos durante el proceso de diseño.
- 3ª fase - hacer una evaluación, con énfasis en el producto creativo, mediante expertos diseñadores, de proyectos desarrollados por estudiantes, donde se utilizaron técnicas avanzadas digitales de modelado 3D, para determinar si el resultado del aprendizaje en la PD y sus técnicas aplicadas al proyecto dio lugar a productos considerados creativos.

1.6.5 Justificación

Desde el punto de vista del aprendizaje de las enseñanzas técnicas existen indicios, que hacen pensar que el impacto de las nuevas tecnologías han influido notablemente en el proceso creativo y las enseñanzas conducentes para el.

Un número importante de estudios reconocen la importancia del boceto manual en la fase conceptual de desarrollo del producto.

Esta investigación no tiene el propósito de efectuar un cambio radical en la enseñanza de método tradicional de dibujo y de la enseñanza del proyecto de diseño, por otra parte utilizado con eficacia durante muchos años, pero debido a importantes avances en las técnicas del proyecto por ordenador y

los nuevos métodos de producción, se pretende hacer hincapié en la importancia de estas tecnologías en la formación de diseñadores y en los aspectos a considerar con objeto de adaptar y mejorar los procesos del aprendizaje del diseño considerando la influencia de las nuevas tecnologías.

Presentamos algunas referencias relevantes que a lo largo del tiempo, vienen acreditando el impacto de estas tecnologías en los procesos de producción, y consecuentemente, en el modo de proyectar.

Hace 25 años Pipes (1990)³⁸ escribe en la introducción a su libro "*Computer Aided Design and the changing role of the designer*" antecediendo ya en esta altura, la importancia de las tecnologías de la PD en el diseño. En una etapa todavía inicial de CAD / CAE define con mucha precisión su potencial:

"Despite a common apprehension among non-users, CAD does not seem to stifle creativity but on the contrary gives the designer time to try alternative "what if?" solutions. CAD can be integrated with analysis, simulation and evaluation programs to test a design for strength and to check that it meets performance expectations, so that potential design failures are caught and eliminated on the screen rather than on the shopfloor. The need for prototypes may not be eliminated, but fewer of them will be required and the ones that have to be made will be nearer to the real thing."

El paradigma DFM (*Design for Manufacturing*), para la rápida producción del producto, considerado por La Hague (2003)³⁹ una filosofía de diseño aplicado desde las primeras etapas de desarrollo de productos con el fin de diseñar artefactos de una manera más flexible y económica.

³⁸ Pipes, A. (1990). *Drawing for 3-Dimensional Design - Concepts - Illustration - Presentation*. London: Thames and Udson. p. 14

³⁹ Hague, R., Mansour, S., & Saleh, N. (2003). Design opportunities with rapid manufacturing. *Assembly Automation*, 23(4), 346-356.

La visión de Wohlers (2011)⁴⁰ para referirse al futuro de la fabricación aditiva como un proceso de producción emergente:

“Additive manufacturing (AM) is going places that many of us never anticipated. Frankly, I believe we’ve only seen the tip of the iceberg. The more I explore the future potential of AM and 3D printing technology, the more excited I become. I truly believe that AM will develop to become the most useful technology for the development and production of products than any other”.

Proponemos, con esta investigación, contribuir a una reflexión sobre la necesidad de reforzar el plan de estudios de los cursos de diseño en estos ámbitos de actuación. En cuanto a nosotros, el futuro diseñador debe adquirir la capacidad de utilizar varios métodos de proyecto de desarrollo digital, que sirvan de apoyo a los modelos de la creatividad, el desarrollo, la realización de pruebas de evaluación y apoyo manera la toma de funcional de la decisión, económico y ambientalmente adecuada. También debe presentar una actitud innovadora que permita establecer la relación entre el diseño y el desarrollo tecnológico con los cambios sociales y la dinámica del mercado.

⁴⁰ Wohlers, T. (2011). Wohlers Talk: Views, perspective, and commentary [em linha]. Acedido junho 13, 2015, em <http://wohlersassociates.com/blog/2011/08/additive-manufacturing-education/>

CAPÍTULO 2

MOTIVAÇÃO DO AUTOR

2. MOTIVAÇÃO DO AUTOR

Neste capítulo, o autor apresenta sinteticamente as linhas e os factos do seu percurso nos domínios do CAD/CAM que o levaram a investigar este tema.

2.1 O projeto CAD/CAM na Indústria Cerâmica

Em 1987, o autor da presente investigação colaborava com uma entidade de formação profissional denominada CENCAL⁴¹ que criara nessa altura um Núcleo de Design, e estabelecera como meta contribuir para a renovação e valorização do produto nacional, tentando combater a tendência para a utilização na indústria cerâmica do design estrangeiro.

Dando especial atenção às necessidades futuras das empresas, o Departamento de Planeamento deste centro era o responsável por lançar projetos em áreas inovadoras, especialmente no domínio das novas tecnologias, respondendo às diretrizes do país para a formação profissional resultantes da adesão de Portugal à então CEE, em 1986.

Desenvolver um projeto para a Indústria Cerâmica no CENCAL usando a tecnologia CAD/CAM surgiu através da visão prospetiva do Dr. José Luiz de Almeida e Silva, diretor do Departamento de Planeamento. A ideia inovadora de transpor a tecnologia CAD/CAM para o design e produção

⁴¹ Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica

cerâmica foi, pela primeira vez, referida pela designer Madalena Figueiredo⁴², que teria tido conhecimento de experiências efetuadas no Reino Unido neste domínio.

Uma conjuntura política favorável, que considerava a Indústria Cerâmica um sector industrial importante (valor acrescentado) em termos de economia nacional, numa fase de expansão, assim como indicações europeias específicas para uma formação profissional virada para a inovação e centrada nas mudanças tecnológicas, foram o motor para o “Projeto CAD/CAM na Indústria Cerâmica”.

Um projeto desta dimensão e complexidade exigia um conjunto significativo de etapas, como a verificação da sua viabilidade técnica, a seleção para posterior aquisição de equipamentos e software específicos, o desenvolvimento de estratégias para implementar a tecnologia em cerâmica e, em paralelo, preparar/coordenar um curso de Operadores de CAD/CAM para a Indústria Cerâmica, que se pretendia transversal aos objetivos de formação profissional do CENCAL.

Aprovada a ideia pelos decisores da instituição, em meados de 1987, o autor desta investigação foi convidado, pela Direção do CENCAL, a assumir a coordenação do “Projeto CAD/CAM na Indústria Cerâmica”.

2.2 A tecnologia CAD/CAM em Portugal (1988)

Não foi difícil fazer um levantamento das empresas e instituições que usavam a tecnologia na altura, apesar do secretismo envolvido no assunto com receio da concorrência. A história do CAD/CAM em Portugal começou em 1975, com a SETENAVE a adquirir um sistema da COMPUTER VISION para

⁴² Colaborou com o CENCAL, enquanto responsável do Concurso Jovem Designer, concurso que concebeu, desenvolveu e coordenou no ICEP e que teve lugar 16 vezes, entre 1986 e 2002, com a participação da maioria das escolas superiores de design do país.

fazer a planificação e a preparação dos dados numéricos para o oxicorte de chapas de aço. Mais tarde, em 1980, o LNETI instalou um sistema específico para eletrónica, circuitos integrados com algumas aplicações em mecânica e, em 1983, a IBEROMOLDES, na Marinha Grande, introduziu a tecnologia na indústria dos moldes para plásticos.

Considerando que a tecnologia CAD/CAM era utilizada há menos de dez anos na indústria dos moldes para plásticos em empresas da Marinha Grande, não se considerou descabida a hipótese de vir a utilizar um sistema idêntico em cerâmica. O modelo integrado de CAD e CAM na indústria dos moldes era conceptualmente simples. Com base no modelo virtual 3D da peça, o objetivo seria gerar o molde e os seus componentes, também em 3D, extrair os desenhos 2D e gerar os programas NC necessários para a fabricação em máquinas-ferramenta com diversos eixos. O mais importante era a componente CAM do sistema já que, inicialmente, não havia desenvolvimento, dado que as peças chegavam concluídas em formato digital, em desenhos 2D ou mesmo em geometria 3D, enviadas pelos clientes. Um dos problemas desta indústria era a precisão e o controlo de qualidade do modelo 3D, dado que o resultado de conversões entre sistemas provocava erros graves.

2.3 O que se conhecia sobre a tecnologia CAD/CAM em Cerâmica

A experiência em CAD/CAM era praticamente nula em Portugal no campo da cerâmica. Sabia-se, através de revistas e periódicos da especialidade, da existência de sistemas automáticos de produção e desenho de modelos no Japão e nos EUA.

Era conhecido o caso da empresa Norte Americana PFALTZGRAFF que, em 1986, começou a usar o software CATIA, um sistema francês de modelação 3D de alta qualidade da DASSAULT SYSTÈMES, em estações de

trabalho IBM RS/6000 no departamento de design, complementando o processo tradicional de projeto.

Na Europa, principalmente em França, Reino Unido e Finlândia, começavam também a ser utilizados sistemas CAD/CAM no campo da produção de madres para a indústria de sanitários e também de louça de mesa.

Através da BCRA (*British Ceramic Research Association*), era conhecida a investigação que no Reino Unido algumas empresas tradicionais da área cerâmica desenvolviam projetos sobre a possibilidade de utilizar CAD/CAM no design, na produção dos moldes por CNC, na visualização e criação de decorações. O primeiro artigo que conhecemos sobre esta temática, assinado por Clayton (1986)⁴³, discute e antecipa a introdução da tecnologia CAD/CAM na indústria cerâmica baseado num estudo da BCRA que resultara de um projeto colaborativo sobre a utilização de modelação de superfícies 3D na fabricação de sanitários. Um outro documento da época, resultante de um inquérito aplicado às empresas de cerâmica sobre a utilização de computadores, constatava que algumas já possuíam software de modelação 3D e as que não o usavam, indicavam como principais obstáculos os elevados níveis de investimento no sistema e a falta de especialistas nesse domínio. Era também sabido que a fábrica de porcelana WEDGWOOD tinha recentemente instalado, no seu estúdio de design, um sistema APOLLO 3500 e possuía o software DUCT da DELTACAM. A fábrica digitalizava com grande precisão os seus modelos antigos com um equipamento de medição KEMCO 400 e com o software CAD, efetuava o cálculo de volume e procedia a ajustes de escala ao modelo 3D, obtendo famílias de peças e poupando muito tempo na modelação manual.

⁴³ Clayton, C. G. A. (1986). The use of CAD/CAM for the design and manufacture of moulds for ceramic products. *Ceram Forum Int./Ber.DKG* 63(4/5), 216.

No campo do Design, também no Reino Unido, era conhecido o interesse que, principalmente no CAD, as instituições começavam a ter nestas novas tecnologias. O *Royal College of Art*, em 1982, instalou um computador VAX na escola de Design Industrial e desenvolveu, usando o software GEOMOD, com a BRITISH RAIL, um projeto para desenhar os interiores das carruagens. Esta experiência foi relatada em 1984 pelo professor Starling (1985)⁴⁴, numa conferência organizada pelo *Design Council*. Neste evento, a relação do CAD/CAM com o Design Industrial foi abordada por diversos investigadores como Frazer (1985)⁴⁵ e Webster (1985)⁴⁶, que descreveram a situação da Universidade de Ulster e do Politécnico Teesside.

Na Finlândia, em 1985, a fábrica de porcelana de mesa ARÁBIA iniciou uma colaboração com a *Helsinki University of Technology* no desenvolvimento de um software de modelação 3D centrado no estilo e com algumas componentes de engenharia. Este processo deu origem ao grupo DESKARTES, em 1989, que desenvolveu e ainda hoje comercializa software muito específico para Design Industrial, com uma abordagem muito virada para a estética do produto (forma e decoração).

2.4 O sistema CAD/CAM para cerâmica

O esquema da figura 2-1 mostra o sistema ideal de CAD/CAM com o utilizador a interagir com o computador através de um terminal gráfico, projetando e controlando todo o processo produtivo do início ao fim através da informação armazenada numa base de dados partilhada e universal.

⁴⁴ Starling, M. (1985). Impact of computer modelling on industrial design practice. In T. D. Council (Ed.), *Computers and 3D product design education*. London: The Design Council.

⁴⁵ Frazer, J. (1985). How soon will CAD be able to aid design education? In T. D. Council (Ed.), *Computers and 3D product design education*. London: The Design Council.

⁴⁶ Webster, G. (1985). *Computers and 3D design - an overview*. In T. D. Council (Ed.), *Computers and 3D product design education*. London: The Design Council.

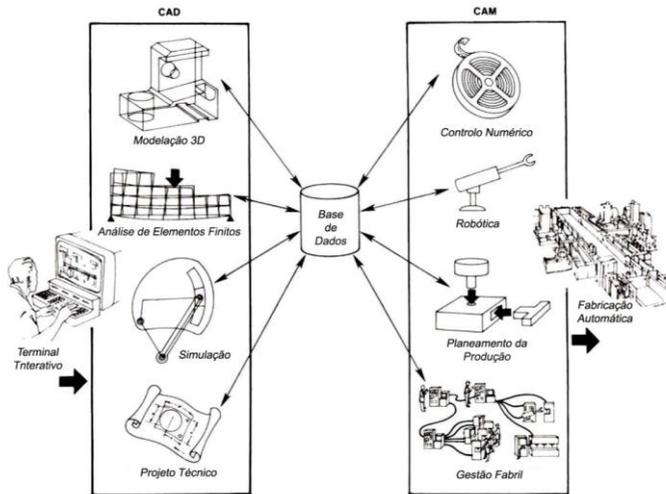


Figura 2-1 – Esquema ideal de CAD/CAM segundo John Krouse (1982)

Para Krouse (1982)⁴⁷, o benefício mais óbvio do CAD/CAM seria o aumento de produtividade ao nível da engenharia e era esta consideração que influenciaria as empresas a investir na implementação destes sistemas. Segundo o autor, após a fase inicial de aprendizagem e adaptação, o aumento de produtividade seria de 4 para 1, dependendo das aplicações.

O quadro 2-1 resume a literatura da época sobre esta temática: Besant (1985)⁴⁸, Castellort (1988)⁴⁹, Masip (1987)⁵⁰, Poblet (1986)⁵¹ foram alguns dos autores que descreveram os inúmeros benefícios que um sistema CAD/CAM,

⁴⁷ Krouse, J. K. (1982). What every engineer should know about computer-aided design and computer-aided manufacturing: the CAD/CAM revolution. New York: M. Dekker.

⁴⁸ Besant, C. B. (1985). CAD/CAM: projeto e fabricação com o auxílio de computador. Rio de Janeiro: Editora Campus.

⁴⁹ Castellort, X. (1988). CAD/CAM - Metodologia e aplicações práticas. São Paulo: McGraw-Hill.

⁵⁰ Masip, R. (1987). Fabricación asistida por computador-CAM. Barcelona: Marcombo.

⁵¹ Poblet, J. M. (1986). Sistemas CAD / CAM / CAE :diseño y fabricación por computador. Barcelona: Marcombo.

em pleno funcionamento para desenvolvimento de produto, poderia trazer ao processo de fabrico.

Quadro 2-1 – Benefícios do CAD/CAM

Benefícios do CAD/CAM
Menores ciclos de produção
Visualização 2D e 3D dos projetos
Revisões de projetos facilitadas
Desenvolvimento rápido de novos conceitos
Rapidez na introdução de novos produtos
Simulação e análise virtual dos produtos
Produção direta de protótipos
Produção de ferramentas (moldes e madres)
Controlo de gestão melhorado
Maior eficiência no armazenamento de dados
Partilha de projeto e dados de produção
Flexibilidade de projeto e operações de produção
Rapidez na alteração de condições de produção
Necessidades de espaço reduzidas
Qualidade de produção melhorada
Custos de produção reduzidos

Na altura, referimos num artigo (Mateus & Silva, 1988)⁵² que a fase mais crítica num projeto de implementação de um sistema de CAD/CAM numa empresa era encontrar justificação para tal. Um projeto de automatização teria sempre custos elevados e não deveria acontecer se as razões para tal não fossem justificadas. Não teria sentido uma empresa investir num sistema destes só pelo facto de ser uma nova tecnologia. Mesmo que os benefícios parecessem

⁵² Mateus, J., & Silva, J. L. A. (1988, Novembro). CAD/CAM na Indústria Cerâmica. Comunicação apresentada nas Jornadas Técnicas Sectoriais, Novas Tecnologias na Indústria Tradicional Portuguesa Lisboa.

evidentes, havia que ponderar e analisar em concreto as barreiras e os riscos inerentes a todo o processo.

Tal como refere Gardan (1987)⁵³, considerávamos que não teria sentido desenvolver um produto sem conhecer e ponderar os constrangimentos de fabricação, de montagem e de utilização. Após algum tempo de análise do processo cerâmico, participando em reuniões com especialistas e experimentando na prática os processos tradicionais, encontrámos situações técnicas que poderiam beneficiar com a utilização de sistemas de desenho e produção por computador.

No projeto de sanitários e louça de mesa, aspetos como o tempo envolvido na fase de conceção do modelo, que se traduzia em custos elevados, a não garantia de precisão e simetria das linhas e a divulgação lenta do produto, seriam minorados com um sistema de desenho e produção adequados.

Contrariamente ao que acontecia na indústria dos moldes para plásticos, em cerâmica seria fundamental um sistema CAD que permitisse aos designers desenvolver, visualizar e testar virtualmente novos produtos, tirando partido da flexibilidade e capacidades gráficas possibilitadas pelas aplicações informáticas de projeto por computador. O sistema CAD/CAM possibilitaria o acompanhamento do produto desde a sua conceção até à produção integral do modelo, já que seria possível converter diretamente os dados digitais do projeto em percursos de maquinação para a produção direta de modelos, moldes ou madres, através de máquinas CNC.

Uma das dificuldades no fabrico de moldes para cerâmica, reside no facto de existir uma contração da peça durante a cozedura. A peça contrai, na

⁵³ Gardan, Y. (1987). La CFAO (2ª ed.). Paris: HERMES.

globalidade, uma percentagem fixa que depende do tipo de pasta utilizado e sofre uma distorção ao longo do eixo vertical, devido à compressão exercida por forças da gravidade que originam momentos de compressão. Estes dados, que obedecem a regras ditadas pela tecnologia dos materiais cerâmicos, são previsíveis. Tradicionalmente o modelador, para evitar possíveis deformações após a cozedura, tenta compensar manualmente no modelo em gesso as distorções, num processo moroso que normalmente resulta em várias repetições antes da obtenção do modelo ideal. Uma aplicação informática que permitisse desenhar um modelo tridimensional com a possibilidade de manipular as linhas - de forma a introduzir as tolerâncias diferenciais de contração que aparecem nas três dimensões - garantiria com grande precisão a obtenção do modelo compensado.

Em Portugal, poucas empresas realizavam o planeamento efetivo da sua produção. Um sistema CAD/CAM poderia ainda ser utilizado para armazenar toda a informação necessária à gestão de produção. Variáveis como o tempo de maquinação, gastos em material para determinada peça, tempos de cozedura, áreas de vidroado, volume após cozedura, seriam dados instantâneos que facultariam ao empresário os custos médios de produção e uma perspetiva do lucro a obter com qualquer encomenda. Numa fase posterior, seria possível integrar todo o funcionamento de uma fábrica de cerâmica, desde a conceção do produto até ao controlo de qualidade deste. Estudos neste sentido foram apresentados em 1986 por Clayton (1986)⁵⁴, no Reino Unido, pela Ceram Research, a pedido da *British Ceramics Confederation*. Paralelamente, o *North Staffordshire Polytechnic*, em Stoke-on-Trent, desenvolvia um projeto de produção de alta tecnologia para a indústria cerâmica.

⁵⁴ Clayton, C. G. A. (1986). The use of CAD/CAM for the design and manufacture of moulds for ceramic products. *Ceram.Forum Int./Ber.DKG* 63 (4/5), 216.

Um sistema CAD/CAM teria, de facto, em termos técnicos, um leque interessante de atrativos. No entanto, seria muito difícil garantir à partida o sucesso do sistema, dado que cada fábrica, cada empresa, apresenta sempre algo de particular que poderá influenciar o processo de inovação e retardar a consecução dos objetivos estabelecidos. Um sistema integrado de CAD/CAM afetaria a maioria das operações relacionadas com a produção e certamente havia que prever e antecipar muitos obstáculos relacionados com falta de recursos, quer humanos, quer técnicos, receios a diversos níveis, que surgiriam durante todo o processo de implementação.

2.5 Núcleo de CAD/CAM do CENCAL (1990)

Apesar da interoperabilidade global do sistema CAD/CAM no funcionamento do centro, não existia ainda uma relação institucional entre o que se projetava em CAD/CAM e o que se produzia no circuito fabril do CENCAL, embora alguns formadores desta área colaborassem no projeto e tivessem adquirido novas competências em CAD

Como coordenador do projeto, senti que, para o complementar, seria fundamental a existência de um sector que estabelecesse ligações operacionais de desenvolvimento e integração efetiva com as tecnologias tradicionais de produção, segundo uma filosofia CIM⁵⁵. Foi então que propus a criação de um Núcleo de CAD/CAM, com atribuições muito específicas em termos de apoio à formação, desenvolvimento e gestão de projeto, que garantisse a adaptação da tecnologia a uma fábrica de cerâmica real com uma componente preponderante de Design presente na sua orgânica.

Na fase de arranque do Núcleo, em finais de 1989, já a pensar na futura integração efetiva no Circuito Fabril numa perspetiva CIM, foi colocado,

⁵⁵ CIM - Computer Integrated Manufacturing

após o seu estágio, um operador de CAD/CAM formado no CENCAL, com a função de executar projetos propostos pelo Gabinete de Design e apoiar a fase de maquinação das peças produzidas nos cursos.

Com o decorrer do plano de cursos, verificou-se que a participação de jovens designers, que tinham sido motivados para a Indústria Cerâmica nas ações de formação em CAD/CAM e no módulo de Introdução ao CAD do curso Cerâmica para Designers, resultava na conceção de modelos virtuais originais integralmente projetados em CAD.

A relação Designer/Sistema CAD acrescentou à tecnologia para cerâmica um dado inovador que resultou num novo método de produção. Um projeto pensado desde o início no sistema CAD reduzia consideravelmente o tempo de conceção, análise e otimização, já que as capacidades de manipulação tridimensional permitiam a visualização do modelo virtual no monitor da estação gráfica, possibilitando ao designer efetuar, após a análise estética, as modificações de forma interativa. Finalizado o modelo virtual, as compensações necessárias eram introduzidas com simples transformações volúmicas de escala. Apesar do tempo envolvido nos procedimentos necessários para preparar a transição para CNC em formas complexas, os resultados da maquinação da madre definitiva eram mais precisos e os tempos inferiores aos da execução manual. Em muitos casos, a execução de um protótipo da peça poderia ser dispensado.

Em meados de 1990, com o objetivo de explorar esta nova vertente, foi integrado no Núcleo um designer com uma total autonomia em termos de desenvolvimento de novos projetos. Em colaboração com os recursos físicos e humanos do CENCAL, o Núcleo constituiu-se como uma equipa de produção integrada, capaz de propor novos modelos e demonstrar com eficiência todas as

capacidades de um sistema de CAD/CAM direcionado exclusivamente para a Indústria Cerâmica.

Em Junho de 1993, a convite do professor de Design Tapio Yii-Viikari na conferência "*Interaction in Ceramics*", o autor apresentou o artigo "*The history of CAD/CAM in Ceramics at Cencal*"⁵⁶ que, de alguma forma, resumia o projeto CAD/CAM na Indústria Cerâmica desde 1988 até 1993.

2.6 Considerações subsequentes

Todo o envolvimento, tanto prático como científico, no projeto descrito anteriormente permitiu ao investigador encarar o convite para lecionar na ESAD⁵⁷, em 1990, numa perspectiva evolutiva ainda pouco explorada, das tecnologias CAD/CAM aplicadas ao Design de Produto. Não se remetendo unicamente a questões de produtividade ou melhoria do processo de fabrico, tentou sempre canalizar todo o conhecimento adquirido, aprofundando até hoje como pretende com a presente investigação, os saberes e as práticas para uma área fundamental do Design - o Desenvolvimento Digital de Produto.

⁵⁶ Mateus, J. (1993). The history of CAD/CAM in Ceramics at Cencal. In *Interaction in Ceramics* Helsinki: University of Industrial Arts. (p. 133-135).

⁵⁷ Escola Superior de Artes e Design das Caldas da Rainha

CAPÍTULO 3

ESTADO DA ARTE

EVOLUÇÃO DA PROTOTIPAGEM DIGITAL

3. EVOLUÇÃO DA PROTOTIPAGEM DIGITAL

3.1 Considerações gerais

De uma forma muito pragmática definimos a Prototipagem Digital (PD) como uma evolução do CAID (*Computer Aided Industrial Design*) agregando um conjunto de ferramentas (hardware/software) que permitem, ainda na fase conceptual de desenvolvimento de produto modelar, visualizar, modificar, testar e otimizar digitalmente um produto e, eventualmente, através de fabricação aditiva, materializá-lo.

Neste capítulo, sem pretendermos ser exaustivos, apresentamos cronologicamente alguns dos factos que consideramos relevantes na evolução das interfaces gráficas em paralelo com a computação gráfica⁵⁸ e os sistemas CAD⁵⁹ relacionados com a prototipagem digital.

3.2 Evolução do CAD e das interfaces gráficas

Relacionando um conjunto de parâmetros como a evolução tecnológica de hardware, o modo de operação, a linguagem de programação, a tecnologia de visualização, o tipo de utilizadores e a imagem pública, Nielsen (1993)⁶⁰, estabeleceu seis distintas gerações de interfaces, definindo o paradigma da interface para cada uma delas. Denominou por pré-história dos computadores o período antes de 1945, onde o conceito de interface não se

⁵⁸Carlson, W. (2003). A Critical History of Computer Graphics and Animation [em linha]. Acedido setembro 9, 2010 em <http://accad.osu.edu/~waynec/history/lessons.html>

⁵⁹Arabe, K. (2001). CAD/CAM: Past, Present and Future [em linha]. Industry News Web Site. Acedido em setembro 9, 2010 em http://news.thomasnet.com/imt/2001/02/23/cadcam_past_pre

⁶⁰Nielsen, J. (1993). Usability engineering. Boston ; London: Academic Press; pp 49-66

aplicava. Ao período entre 1945 e 1955 caracterizado pelo pioneirismo, seguiu-se a fase histórica entre 1955 e 1965, onde a interface se baseava nas linguagens de comandos que evoluíram para os menus de ecrã no período tradicional, entre 1965 e 1980.

Nielsen⁶¹ considera que, com a invenção e aplicação do *mouse* principiou a geração das interfaces gráficas WIMP⁶², entre 1980 e 1995, que apelidou de época moderna.

Para eras posteriores a 1995, Nielsen (1993)⁶³, baseado em trabalhos de investigação, refere-se a uma eventual nova geração de interfaces assentes em sistemas não baseados em comandos que, através dos comportamentos do utilizador, inferem as suas necessidades sem necessitarem de comandos explícitos.

3.2.1 A Pré-história dos computadores – antes de 1945

Nesta época a tecnologia assentava em processos mecânicos ou eletromecânicos. Estes artefactos eram normalmente usados para cálculos e funcionavam através de movimentos de cabos e chaves. Eram os próprios inventores que os operavam.

Em 1786, o engenheiro alemão Johann Helfrich Müller⁶⁴ propôs uma máquina diferencial que calculava e imprimia em papel o valor de funções que

⁶¹ Nielsen, J. (op. cit.) (1993). p. 57

⁶² WIMP – Window – icons – menus - pointing device.

⁶³ Nielsen, J. (1993). *Noncommand user interfaces*. Paper presented at the Communications of the ACM, New York.

⁶⁴ The calculating machines of Johann Helfrich Müller [em linha]. History of Computers Web site. Acedido em agosto 9, 2015 em <http://history-computer.com/MechanicalCalculators/18thCentury/Muller.html>

pudessem ser aproximadas por polinómios. Apesar de bem documentada, a referida máquina nunca terá sido construída e, 40 anos mais tarde, Charles Babbage⁶⁵ retomando a ideia de Müller desenvolveu e apresentou, em 1822, a primeira máquina analítica considerada computador⁶⁶.

Mais tarde, em 1890, Herman Hollerith desenvolveu uma máquina tabuladora que contava e separava cartões perfurados, usada no censo dos Estados Unidos que efetuou em seis semanas, quando anteriormente demoraria sete anos. Esta referência é importante porque, em 1896, Hollerith⁶⁷ fundou a empresa *Tabulating Machine Company* que viria a denominar-se IBM em 1924.

Em 1944, na Universidade de Harvard em parceria com a IBM, foi concebido por Howard Aiken o ASCC (*Automatic Sequence Controled Calculator*)⁶⁸, considerado a primeira calculadora digital controlada por um programa. Denominado Mark I, o objetivo deste computador seria criar tabelas de trajetórias balísticas a utilizar durante a II Guerra Mundial pela Marinha dos Estados Unidos.

No final deste período os computadores deixaram de ser puramente artefactos académicos e começavam a ser utilizados para fins sociais ou militares.

⁶⁵ Editors of The Encyclopædia Britannica. Charles Babbage [em linha]. Encyclopedia Britannica Web site. Acedido setembro 9, 2010 em <http://www.britannica.com/biography/Charles-Babbage>

⁶⁶ The Babbage Engine [em linha]. Computer History Museum Web site. Acedido agosto 9, 2015 em <http://www.computerhistory.org/babbage/>

⁶⁷ IBM Archives [em linha]. Acedido em setembro 9, 2015 em http://www-03.ibm.com/ibm/history/history/history_intro.html

⁶⁸ The Mark I Computer [em linha]. Acedido setembro 9, 2015 em <http://chsi.harvard.edu/markone/about.html>

3.2.2 Os pioneiros 1945-1955

Esta foi a fase das máquinas enormes a funcionar com válvulas, usadas exclusivamente em centros de computação e com alta probabilidade de ocorrência de erros. Funcionavam com programas em código binário vulgarmente introduzidos por cartões perfurados.

Um século após o matemático Boole, em 1848, ter definido os princípios da álgebra binária surge, em 1946, o primeiro computador eletrónico, o ENIAC⁶⁹ (*Electronic Numerical Integrator and Computer*). Executava mais de 100 mil operações por segundo e foi inicialmente usado para o cálculo de trajetórias balísticas e outras operações militares.

Dado o incremento das tecnologias informáticas, a investigação nestes domínios aumentou consideravelmente nas universidades americanas e, em 1947, nasce a Associação Americana de Informática, ACM (*Association for Computing Machinery*).

Segundo Weisberg (2008)⁷⁰, o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) teve um papel preponderante na evolução do CAD ao assumir, em 1947, o projeto Whirlwind⁷¹ com vista ao desenvolvimento do primeiro computador digital específico para simuladores de voo. Este sistema foi desenvolvido de raiz para ser capaz de executar operações em tempo real e dispunha de dispositivos interativos para comunicação do operador com o computador. Deste projeto, em 1950, nasceu o *MIT Digital Computer Laboratory* onde investigadores utilizam tubos de raios catódicos (CRT) e

⁶⁹ Eniac [em linha]. Computer History Museum Web site. Acedido agosto 9, 2015 em <http://www.computerhistory.org/revolution/birth-of-the-computer/4/78>

⁷⁰ Weisberg, D. (2008). *The Engineering Design Revolution* [em linha]. Acedido setembro 9, 2015 em <http://www.cadhistory.net/toc.htm>

⁷¹ Redmond, K. C., & Smith, T. M. (1980). *Project Whirlwind: The History of a Computer Pioneer*. Digital Press.

impressoras de linhas para criar imagens de objetos gráficos antecipando uma nova era para a computação gráfica.

Desenvolvido pelos engenheiros do ENIAC, o UNIVAC I⁷² é considerado o primeiro computador comercial com imagem de mercado. Foi comprado pelo Departamento de Censos do Estados Unidos em 1951.

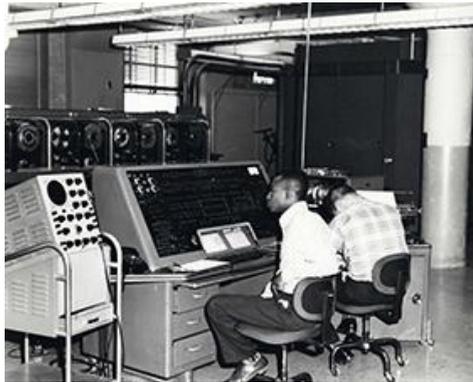


Figura 3-1 – Computador Univac no Census Bureau. (Fonte: United States Census Bureau Web site)

3.2.3 Época histórica 1955-1965

Neste período, os computadores começam a ser utilizados fora dos laboratórios e das instituições militares. Numa primeira fase não eram acessíveis ao utilizador comum, apenas a tecnocratas e profissionais da computação. Como interface era utilizada a linguagem de comandos introduzida por terminais em linha e visualizada em dispositivos CRT.⁷³

Em 1955, utilizando conceitos tecnológicos derivados do projeto Whirlwind nasce a primeira aplicação gráfica de monitorização e controlo, o

⁷² History Univac I [em linha]. United States Census Bureau Web site. Acedido agosto 9, 2015 em https://www.census.gov/history/www/innovations/technology/univac_i.html

⁷³ Nielsen, J. op. cit. (1993). p. 52

sistema SAGE (*Semiautomatic Ground Environment*)⁷⁴. Utilizava um ecrã (CRT) para visualizar a informação gráfica dos radares e uma caneta luminosa como dispositivo de entrada de dados.



Figura 3-2 – Interação com o sistema SAGE. Monitor e caneta luminosa. (Fonte: Computer History Museum)

Em 1957 é fundada a DEC (*Digital Equipment Corporation*) por um grupo de engenheiros do MIT entre os quais Ken Olsen que definia a lógica da empresa como⁷⁵:

"We had a dream of interactive computing. Normal computing was considered big, expensive, awesome, beyond ordinary people. Interactive computing was exciting and fun, and people could interact directly with the computer."

Em princípios de 1960, a DEC apresentou o primeiro minicomputador da história, o PDP-1 (*Programmed Data Processor-1*). Projetado por Ben Hurley, era focado mais numa filosofia radical da interação humana do que na eficiência computacional. Contrariamente aos computadores

⁷⁴ The SAGE Air Defense System [em linha]. Lincoln Laboratory of MIT Web site. Acedido agosto 16, 2015 em <https://www.ll.mit.edu/about/History/SAGEairdefensesystem.html>

⁷⁵ DEC PDP-1 [em linha]. History of Computers Web site. Acedido em agosto 9, 2015 em <http://history-computer.com/ModernComputer/Electronic/PDP-1.html>

que o antecederam, o PDP, centrava a sua tecnologia no utilizador e nas suas necessidades.



Figura 3-3 – O PDP-1 da DEC. O primeiro minicomputador. (Fonte: *Computer History Museum*)⁷⁶

Segundo Weisberg (2006)⁷⁷, foi neste equipamento que correu o primeiro sistema de CAD comercial que se denominava EDS (*Electronic Drafting Machine*), desenvolvido pela empresa ITEK. Este computador de 18 bits apenas permitia 4000 palavras de memória. Não dispunha de processador de vírgula flutuante e tinha uma performance de apenas 0,1 MIPS (million instructions per second).

O sistema EDS permitia desenhar linhas horizontais, verticais e linhas oblíquas com um ângulo determinado. Os ângulos podiam ser introduzidos numericamente ou através da indicação de dois pontos no ecrã. Podiam ser indicadas coordenadas para definir pontos ou apontado o final de um segmento já existente com a caneta ótica. O sistema permitia também desenhar círculos,

⁷⁶ Eniac [em linha]. Computer History Museum Web site. Acedido agosto 9, 2015 em <http://www.computerhistory.org/collections/catalog/XD116.79A>

⁷⁷ Weisberg, D. (2006). *The Engineering Design Revolution* [em linha]. Acedido setembro 9, 2015 em <http://www.cadhistory.net/toc.htm>

arcos, polígonos, linhas livres e texto. Os objetos podiam ser deslocados, copiados, rodados ou refletidos.

A necessidade de mais performance e características específicas ao CAD levou ao lançamento do PDP-8, em 1965, que alcançou um sucesso comercial enorme contribuindo decisivamente para o desenvolvimento rápido da computação gráfica

Ao nível da evolução das interfaces e da forma como estas poderiam funcionar como mediadoras da comunicação humano-máquina consideramos fundamental o relatório de Douglas Carl Engelbart (1962)⁷⁸, *Augmenting de Human Intellect: A Conceptual Framework* onde caracteriza o sistema que propõe como:

“The system we want to improve can thus be visualized as a trained human being together with his artifacts, language, and methodology. The explicit new system we contemplate will involve as artifacts computers, and computer-controlled information-storage, information-handling, and information-display devices. The aspects of the conceptual framework that are discussed here are primarily those relating to the human being's ability to make significant use of such equipment in an integrated system.”

As pesquisas e publicações de Engelbart permitiram muitas inovações que simplificaram a utilização dos computadores e contribuíram de forma decisiva para o desenvolvimento das tecnologias digitais.

⁷⁸ Engelbart, D. (1962). *Augmenting de Human Intellect: A Conceptual Framework*. Menlo Park, California: Stanford Research Institute.

Para muitos autores, o advento do CAD ocorre no ano de 1963 quando Ivan Sutherland (2003)⁷⁹ propõe, na sua tese de doutoramento, um sistema de representação interativa, o *Sketchpad*. Com o auxílio de uma caneta ótica o *Sketchpad* permitia desenhar e editar figuras geométricas diretamente num ecrã de nove polegadas.



Figura 3-4 - Ivan Sutherland numa consola do MIT TX-1 demonstrando a sua tese de doutoramento. O *Sketchpad* em 1963 (Fonte: MIT)

Negroponete (1995)⁸⁰ afirma que "o *Sketchpad* foi o big bang da computação gráfica". O investigador do MIT refere-se aos novos conceitos introduzidos com este sistema:

"...grafismo dinâmico, simulação visual, definição limitada, seguimento de percurso com caneta e um sistema de coordenadas virtualmente infinito..."

Por esta altura existiam poucos sistemas gráficos comerciais no mercado, excetuando o *software* Digigraphics da Control Data que tinha comprado a patente do EDS. O novo modelo de interação e a evolução tecnológica dos terminais de armazenamento da imagem no ecrã, DVST^s⁸¹,

⁷⁹ Sutherland, I. E. (2003). *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*. Cambridge: University of Cambridge.

⁸⁰ Negroponete, N. (1995). *Ser digital*. Lisboa: Editorial Caminho. p. 113

⁸¹ *Direct View Storage Tubes*

iniciada em 1964 pela empresa *Tektronix*, permitiam mais qualidade gráfica e dispensavam memória adicional contribuindo para a rápida evolução da computação gráfica interativa.

A indústria automóvel e aeronáutica começava a procurar sistemas CAD/CAM para melhorar a produtividade de engenheiros e desenhadores. As empresas como a Renault e a Ford interessava-lhes a definição matemática de superfícies complexas, enquanto outras, como a Lockheed California, se focavam mais no desenho técnico digital.

3.2.4 Época tradicional 1965-1980

Segundo Krull (1994)⁸², desde 1952 que a empresa *General Motors* usava um computador digital programado por cartões para análises de engenharia. Havia, no entanto, a visão dos investigadores sobre a importância dos desenhos, imagens e modelos para a comunicação e documentação do design. Identificaram um conjunto de necessidades e formularam a questão:

How could computational techniques significantly impact the design process?

O artigo de Price (1956)⁸³, citado por Krull (1994)⁸⁴, que se referia às hipotéticas vantagens na utilização de tecnologias digitais no design e na ligação a máquinas de controlo numérico, serviu de base ao projeto de desenvolver um sistema específico para o Design Automóvel. O projeto, inicialmente chamado "*Digital Design*", foi posteriormente denominado por DAC (*Design Augmented by Computer*) e teve a parceria da IBM.

⁸² Krull, F. N. (1994). The Origin of Computer Graphics within General Motors. *IEEE Annals of the History of Computing*, 16(3).

⁸³ Price, G. R. (1956). How to speed up invention. *Fortune*(Nov), 150-228.

⁸⁴ Krull, F. N. *ibidem* (1994).



Figura 3-5 – DAC 1 da General Motors (Fonte: *Timeline of Computer History* ⁸⁵)

O sistema DAC terá sido o primeiro sistema, com o foco no design tridimensional, onde os desenhos técnicos bidimensionais resultavam de projeções do modelo 3D.

Na Europa, em 1965, na Universidade de Cambridge, Donald Welbourn propôs desenvolvimentos importantes nos sistemas CAD como a definição da intersecção de dois cilindros e as linhas de referência de objetos 3D, entre outros. Em 1968 previu a possibilidade de usar computadores na indústria dos moldes para resolver os problemas na modelação de objetos 3D, uma vez que até então apenas eram possíveis desenhos simples em 2D. Estas ideias culminaram na criação de uma aplicação de CAD/CAM denominada *DUCT*.

Por ser utilizado na indústria dos moldes e da cerâmica no Reino Unido este foi o software escolhido, em 1988, para o Projeto CAD/CAM na Indústria Cerâmica, referido no capítulo anterior, e onde o autor desta tese, se iniciou em sistemas CAD/CAM. Era uma aplicação específica para CAD/CAM/CAE, sendo basicamente um modelador de superfícies. Para obter uma forma 3D, o projetista teria de desenhar uma curva de referência em três

⁸⁵ DAC-1 [em linha]. Timeline of Computer History Web site. Acedido agosto 9, 2015 em <http://www.computerhistory.org/timeline/1963/>

dimensões, denominada espinha (*spine*), e secções (*sections*) normais a esta, colocadas em pontos determinados (figura 3-6). Como suporte matemático, utilizava cúbicas paramétricas de BÉZIER, consideradas curvas em três dimensões.

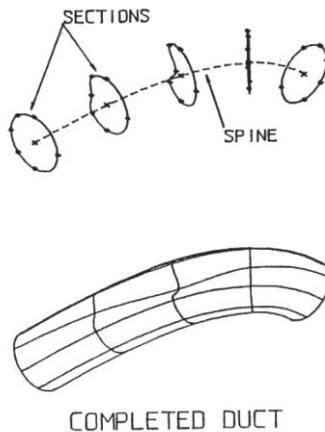


Figura 3-6 – Filosofia base do software DUCT⁸⁶

Depois de concluída a superfície, esta podia ser manipulada sob muitos aspetos como um volume, permitindo editar no espaço os pontos e os ângulos de entrada e saída das curvas seccionais e longitudinais com extrema flexibilidade na modelação 3D. Apesar da interface original não apresentar menus⁸⁷ e usar exclusivamente comandos escritos, a lógica de construção 3D era simples, apenas exigindo uma boa capacidade de abstracção espacial e algum conhecimento de geometria básica.

⁸⁶ DUCT 4.2 Reference Manual User Guides. (1984). Cambridge: Delcam.

⁸⁷ Opcionalmente podiam ser instalados ícones com os principais comandos e usados com o mouse.

EDIT GDEV 4107	
INPUT REGISTER @UNITS MM	or whatever terminal you have.
INPUT SPINE 1 Y -80 AZ 90	to work in Metric.
INP SPI 2 Y -50 AZ 90	data for first spine point.
3 X 14.64 Y -14.64 AZ 45	words may be abbreviated,
4 X 50 AZ 0	or even left out if the
5 X 80 AZ 0	command is the same as before.
PRINT SPINE	
DRAW SPINE	
INPUT POINT 1 U10 V0 TA90	Points on first Section.
INP POI 2 U 0 V 10 TA 180	even the words U and V may
3 U -10 V 0 TA -90	be omitted if the data is
4 0 -10 0	in the correct order.
EDIT SECTION UA 0 VA 0	all longitudinals 0
CLOSE SECTION	
PRINT SECTION	
PLAN	
DRAW SEC	draw in (u,v) using an
KEEP SECTION 1	abbreviation.
K SEC 2	
EDIT POINT 2 V 9 TAB 200 TAA 160	data for ridge
4 V -9 TAB 20 TAA -20	
PRINT SEC	
DRAW SEC	
KEEP SECTION 3	
GET SETION 1	original Section
KEEP SECTION 4	keep it as Section 4
5	and 5
DRAW DUCT	
INPUT REGISTER @TITLE "RIDGED BEND"	
DRAW REGISTER @TITLE	draw the title block
ROTATE TRANSFORM ISOMETRIC	3D Isometric view
DRAW DUCT	
DRAW SPIN	
DR R@TITLE	
KEEP DUCT @1	keep Duct in a local file
KEEP DUCT "RBEND1"	make a disk file of the Duct
QUIT	exit from the program

Figura 3-7 – Conjunto de comandos usados na construção de uma superfície DUCT⁸⁸

A versão moderna deste software é atualmente disponibilizada pela empresa *DEL CAM*⁸⁹ com o nome de *PowerShape*.

Moggridge (2006)⁹⁰ considera que a apresentação do sistema NLS "oNLine System", desenvolvido por Engelbart e engenheiros do *Augmentation Research Centre* em 1968, revolucionou o mundo e afirma:

"This was the demo that changed the world. The computer science community moved from scepticism to standing ovation in an hour and a half, and the ideas of direct manipulation of a graphical user interface became lodged in the communal consciousness."

⁸⁸ *DUCT 4.2 Reference Manual User Guides*. (1984). Cambridge: Delcam.

⁸⁹ Delcam History [em linha] About Delcam Web Site. Acedido dezembro 10, 2008 em <http://www.delcam.com/general/about/history.asp>

⁹⁰ Moggridge, B. (2006). *Designing Interactions*. Cambridge, Mass.: MitPress. Pág. 30-35



Figura 3-8 – Demonstração em 1968 do NLS em Joint Computer Conference (Fonte: *Designing Interactions*⁹¹)

A evolução das tecnologias aumentando a capacidade de cálculo dos computadores confirmou a lei de Moore⁹² e, em 1968, é criado por Douglas Engelbart, o primeiro rato que só duas décadas depois seria adotado, pela *Apple* em 1983 e pela IBM em 1987, contribuindo para um novo paradigma de interação.



Figura 3-9 – O primeiro rato de Douglas Engelbart (Fonte: *Mouse Site*⁹³)

Ainda em 1968 ocorreram evoluções tecnológicas significativas ao nível das capacidades dos dispositivos. São introduzidos os terminais gráficos inteligentes designados desse modo pelo facto de o respetivo processador ter a

⁹¹ Moggridge, B. op. cit. (2006). p.35

⁹² Em 1965 Gordon Moore tem a visão necessária para escrever na edição do 35º aniversário da revista *Electronics* a lei de Moore a qual, ao ser revista em 1975, definia que a complexidade dos processadores iria duplicar em cada dois anos.

⁹³ Mouse site [em linha]. Acedido em dezembro 10, 2009 em <http://sloan.stanford.edu/mousesite/>

capacidade de efetuar, por hardware, transformações geométricas básicas, projeções e recorte 2D e 3D.

O mercado CAD continua em expansão e em 1969 é criada, por cinco engenheiros da IBM, uma das empresas mais ativas nos dispositivos para Computação Gráfica, a *Intergraph Corporation*.

Muitos dos dispositivos utilizados atualmente como periféricos dos sistemas CAD apareceram em 1970: as mesas digitalizadoras e os ecrãs sensíveis ao tacto vieram juntar-se ao rato inventado anos antes.

É em 1970 que Alan Kay propõe o conceito de manipulação direta que se baseava na manipulação das representações dos objetos visíveis no ecrã de forma semelhante ao modo como, no mundo real, se manipulam os objetos. Entre os resultados do trabalho desses investigadores pode destacar-se o Computador Pessoal em Rede, as Interfaces Gráficas, o primeiro rato comercial, a Internet, a arquitetura Cliente Servidor e a linguagem de programação orientada por objetos, *SmallTalk*.



Figura 3-10 – Xerox Alto (Fonte Wikipédia)⁹⁴

⁹⁴ Xerox Alto. Wikipédia [em linha]. Acedido em dezembro 10, 2010 em https://en.wikipedia.org/wiki/Xerox_Alto

Em 1974 fica operacional a estação de trabalho Altos, a primeira a usar um rato embutido e ligada a uma rede local. O sistema apresentava uma interface gráfica designada por GUI⁹⁵, que utilizava a metáfora da secretária com janelas, menus e ícones dando origem ao primeiro editor WYSIWYG (*What You See Is What You Get*), onde se basearam produtos desenvolvidos mais tarde, por empresas como a *Apple* e a *MicroSoft*.

Mike e Tom Laziar desenvolveram a aplicação PC CAD em 1979. Nesta época, um sistema CAD típico era um minicomputador com 16 bits, um máximo de 512 Kb de memória RAM e 20 a 300 Mb de armazenamento de disco, a um preço de 125.000 dólares.

3.2.5 Época moderna 1980-1995

Em 12 de Agosto de 1981, a IBM introduz o PC, baseado num processador Intel 8088 e controlado pelo Sistema Operativo desenvolvido pela Microsoft, o MS-DOS.



Figura 3-11 – IBM PC (Fonte: Time line of Computer History ⁹⁶)

⁹⁵ GUI - Graphic User Interface

⁹⁶ IBM PC [em linha]. Time line of Computer History Web Site. Acedido maio 5, 2014 em <http://www.computerhistory.org/timeline/>

Em 1982 James Clark cria a SGI (*Silicon Graphics Incorporated*), empresa especializada em aplicações e equipamentos para computação gráfica.

Ainda em 1982, é fundada a AutoDesk que introduz no mercado o AutoCAD que, de alguma forma, foi responsável pela expansão das tecnologias CAD 2D.

Na tentativa de reencontrar mercado, a Apple, em 1980, contrata os investigadores da Xerox Parc que tinham estado envolvidos no projeto Alto, negocia direitos com a Xerox e em 1983 é comercializado o computador pessoal Lisa, o primeiro comercial a usar uma interface gráfica.

Reformulando a estrutura do Lisa e mantendo o essencial ao nível do sistema operativo e das aplicações, a Apple lança, em Janeiro de 1984, o primeiro Macintosh (figura 3-12).



Figura 3-12 – Apple Macintosh (Fonte: Old Computers⁹⁷)

Em Setembro de 1988 a Autodesk lança a versão 10 do *AutoCAD* com menus e técnicas rudimentares de manipulação direta (figura 3-13). Nesta versão foram incluídos diversos comandos de construção 3D e um modo de

⁹⁷ Apple Macintosh [em linha]. Old Computers Web Site. Acedido maio 5, 2014 em <http://www.oldcomputers.net/macintosh.html>

visualização tridimensional que permitia ver no ecrã os modelos 3D em perspectiva (figura 3-14).



Figura 3-13 – Interface do *AutoCad* 10 (Fonte: História do AutoCAD⁹⁸)

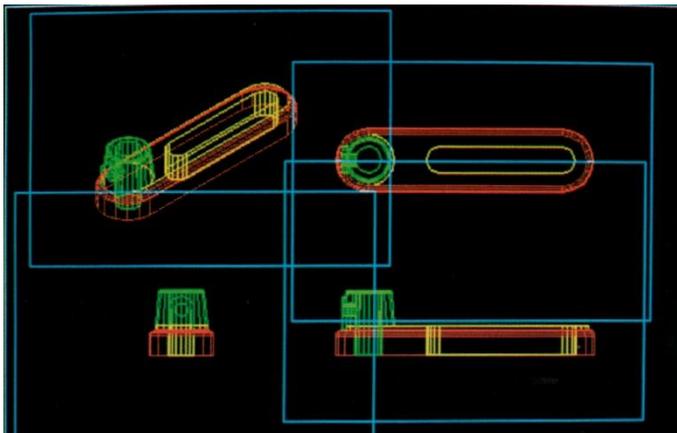


Figura 3-14 –*AutoCad* 10 (Fonte: An AutoCAD Workbook⁹⁹)

⁹⁸ História do autoCAD [em linha]. Acedido maio 5, 2008 em <http://www.mundocad.com.br/publicacoes/historia.php>

⁹⁹ Yarwood, A. (1991). *An AutoCAD Workbook*. London: Longman Scientific&Technical.

Em 1988 é desenvolvido pelo MIT o primeiro Sistema de Gestão de Janelas, X-Windows, para o Sistema Operativo Unix, de domínio público.

Em 1989, assistimos pessoalmente, nas instalações da IBM, em Lisboa, a uma demonstração da versão 2.2 do CATIA, instalado num poderoso sistema gráfico 5080, com monitor de 19 polegadas, equipado com o inovador teclado de funções e um potenciómetro para visualização dinâmica (figura 3-15).



Figura 3-15 – Sistema gráfico 5080 da IBM¹⁰⁰

O CATIA (*Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application*) era descrito pela IBM como:

“...um potente sistema a duas e a três dimensões para uso da engenharia e desenvolvimento. Constituído por diversos módulos proporcionava um ambiente integrado e uma base de dados para aplicações na área do design industrial, projeto em 2D e geometria de arames em 3D, modelação de superfícies, comando numérico, cinemática, robótica e modelação de sólidos”.

¹⁰⁰ Fonte: catálogo original da IBM

Este software funcionava por módulos com níveis de exigência distintos para cada situação. O módulo base era o pré-requisito e estabelecia o ambiente interativo, controlava a execução dos programas, geria os diálogos assim como os acessos à base de dados e de modelos geométricos, e comandava a visualização da informação gráfica do sistema gráfico IBM 5080.

O módulo CATIA 3D Design permitia criar, manipular e analisar geometria 2D e 3D, incluindo superfícies de revolução. A construção podia ser por pontos, linhas, curvas e planos. A conjugação de todas as superfícies definiria o objeto 3D como um volume que podia ser posteriormente analisado.

Outro módulo, denominado (CATIA ADVANCED SURFACES) de superfícies avançadas, possibilitava efetuar a criação do objeto através de curvas de transição. Também as superfícies de concordância suave eram geradas com relativa facilidade. A qualidade matemática destas superfícies possibilitava o seu uso diretamente na criação de programas NC.

O módulo CATIA NUMERICAL CONTROL permitia ao utilizador a escrita de programas de controlo numérico a partir dos modelos tridimensionais.

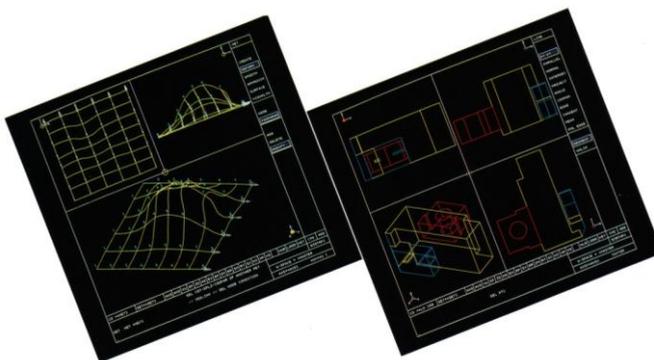


Figura 3-16 – Aspeto do CATIA Advanced Surfaces¹⁰¹

¹⁰¹ Fonte: catálogo original da IBM

Na conferência *Siggraph '89*, em Boston, foram apresentadas as novas tecnologias de interação como a realidade virtual e luvas sensoriais.

A 22 de Maio de 1990 a *Microsoft* com a introdução do *Windows 3.0* liquida a concorrência da *IBM* (*OS2*) e desafia a hegemonia da *Apple* (*MacOS*).

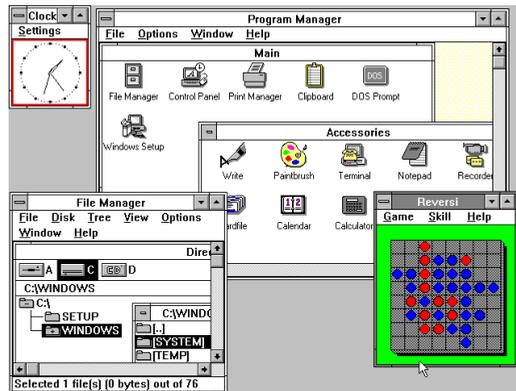


Figura 3-17 – Interface do Windows 3.0 (Fonte: Microsoft)

A versão 11 do *AutoCAD*, lançada em outubro de 1990, continuou a evoluir no domínio do desenho 3D e foi incluído o comando *SHADE* que permitia um sombreamento limitado de modelos 3D em ecrãs com 256 cores (figura 3-18).

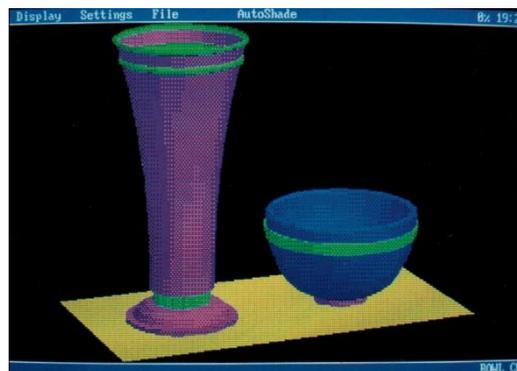


Figura 3-18 – AutoCad 10 (Fonte: An AutoCAD Workbook¹⁰²)

¹⁰² Yarwood, A. op. cit. (1991).

Em 1993 a IBM – Dassault Systemes, com a aplicação CATIA, anteriormente referida, dominava o mercado de gama alta do CAD 3D possuindo como clientes as grandes empresas da indústria automóvel e aeronáutica.

A Parametric Technology's com o Pro/Engineer 3D CAD cada vez mais se implantava no mercado, graças a uma interface baseada em UNIX X-Windows com uma filosofia de interface mais centrada no utilizador.

Ainda em 1993 a Microsoft lança o primeiro sistema operativo de 32 bits para computadores pessoais, o Windows NT, e a Intel lança o primeiro chip Pentium Pro de 32 Bits. Estava criada uma plataforma de baixo-custo com potencial para os sistemas CAD 3D.

No contexto do CAD 3D e no campo da modelação 3D direta devemos mencionar a empresa *SensAble Technologies, Inc*, com um sistema que combina uma interface WIMP com um braço robótico denominado *PHANTOM*

Este dispositivo foi projetado e construído ainda nos anos 90 por Massie e Salisbury (1994)¹⁰³. Massie (1993)¹⁰⁴ era estudante no MIT e o Dr. Kenneth um investigador principal no laboratório da inteligência artificial. Trabalharam juntos para combinar tecnologias robóticas e hápticas com o objetivo de “*reach into the computer display*” para tocar e manipular os dados 3D. O que começou como um projeto de tese foi posteriormente divulgado através do MIT e outras instituições de investigação, culminando com a criação da empresa *Sensable* em 1993.

¹⁰³ Massie, T. H., & Salisbury, K. (1994). *The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects*. Paper presented at the Proceedings of the ASME Dynamic Systems and Control Division.

¹⁰⁴ Massie, T. H. (1993). *Design of a Three Degree of Freedom Force-Reflecting Haptic Interface*. BS Thesis. Massachusetts Institute of Technology.



Figura 3-19 – Sistema PHANTOM (Fonte: Sensable Technologies, Inc ¹⁰⁵)

Jon Hirschtick fundou a SolidWorks Corporation também em 1993 e em 1995 surgia uma aplicação de CAD 3D completamente baseada em Windows, com uma interface cuja imagem de marca era a facilidade em aprender (*easy-to-learn-and-use*) e de utilizar. As qualidades gráficas da interface, as capacidades inovadoras de modelação paramétrica e o preço, muito abaixo dos concorrentes tornaram o SolidWorks um marco fazendo emergir a importância do conceito de usabilidade em aplicações que até esta data se centravam exclusivamente na produtividade.

A interface do SolidWorks 1995 (figura 3-20) apresenta os ícones com uma alusão direta à tecnologia dos moldes com representações visuais de ferramentas muito específicas. A interface baseia-se na metáfora do estirador de desenho com uma área de projeto disponível mostrando o resultado das ações desenvolvidas e que se vai preenchendo com os diversos elementos de um projeto 3D. Menus com elementos de texto e barras de ferramentas com ícones complementam a metáfora, disponibilizando todo um arsenal de equipamentos virtuais necessários ao desenho e ao projeto 3D.

¹⁰⁵ Sistema Phantom [em linha]. Acedido janeiro 5, 2014 em <http://www.sensable.com/industries-design-model.htm>

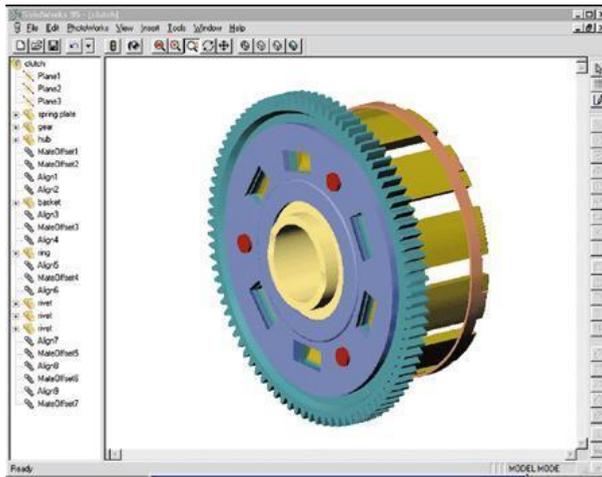


Figura 3-20 – Interface do *SolidWorks* 1995 (Fonte: Revista CGW¹⁰⁶)

Em Outubro de 1994 a Autodesk lança a versão 13 do *AutoCAD* com menus, ícones e diálogos totalmente adaptados ao sistema de janelas mas conservando a linha de comandos todo o aspeto das versões anteriores.

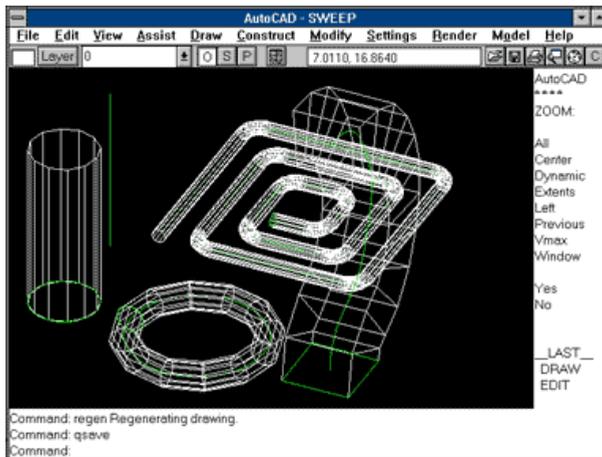


Figura 3-21 – Interface do *AutoCad* 13 (Fonte: História do AutoCAD¹⁰⁷)

¹⁰⁶ Yares, E. (1996, June). SolidWorks 95 Hits the Nail on the Head. *Computer Graphics World*, 19, 85.

¹⁰⁷ História do autoCAD [em linha]. Acedido maio 5, 2008 em <http://www.mundocad.com.br/publicacoes/historia.php>

Assistiu-se até finais de 1995 à preocupação de muitas empresas de CAD 3D em migrar os seus produtos para a plataforma Windows NT apostando em sistemas de média gama, dotando as suas aplicações com interfaces intuitivos e de fácil aprendizagem.

Foi nesta altura que surgiu o *Marketing Usability* nos sistemas CAD.

3.2.6 Depois de 1995 até aos dias de hoje

Passaram mais de 20 anos e o paradigma WIMP continua a imperar apesar da lei de Moore¹⁰⁸ continuar válida e investigadores apregoarem outros paradigmas como o SILK¹⁰⁹, interfaces multimodais e percetuais. Van Dam (1997)¹¹⁰ refere-se à lei do equilíbrio pontuado do biólogo Steven Jay Goulds para traduzir a evolução das interfaces:

Unlike the steady, predictable hardware price/performance improvement described by Moore's law, there has been no such year-to-year progress in user interface design. Instead, the history of user interfaces can be characterized using evolutionary biologist Steven Jay Gould's notion of punctuated equilibrium: long periods of stability interrupted by rapid change.

Se as interfaces das aplicações 3D não apresentam grandes diferenças, relativamente aos finais dos anos 90, o mesmo não se pode dizer das funcionalidades de prototipagem digital disponibilizadas em *software* de

¹⁰⁸ Em 1965 Gordon Moore tem a visão necessária para escrever na edição do 35º aniversário da revista Electronics a lei de Moore a qual, ao ser revista em 1975, definia que a complexidade dos processadores iria duplicar em cada dois anos enquanto os custos permaneceriam constantes.

¹⁰⁹ Interfaces que suportam voz (Speech), imagem (Image) e linguagem (Language) orientados por bases de conhecimento (Knowledge).

¹¹⁰ Dam, A. V. (1997). Post-Wimp User Interfaces. Communications of the ACM, 40(2).

modelação paramétrica 3D de gama média, como é o exemplo do SolidWorks¹¹¹ da *Dassault Systems*, com módulos específicos de simulação que permitem diversos tipos de análise de elementos finitos (figura 3-23) ou estudos de sustentabilidade (figura 3-24) que contribuem decisivamente para a otimização do projeto interferindo de forma inquestionável no processo de Design.

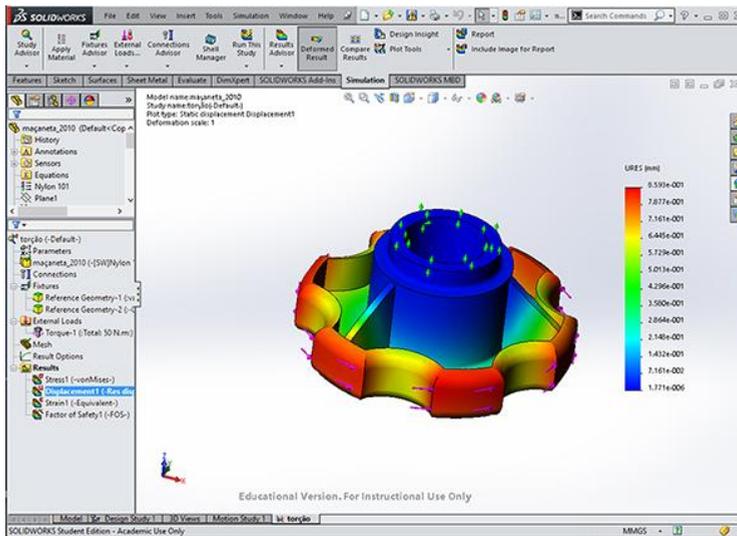


Figura 3-22 – Interface SolidWorks 2015 (Módulo de Simulação)

¹¹¹ Outras aplicações desta gama como o SolidEdge da Siemens ou o Inventor da Autodesk podiam também ser referidos como exemplos.

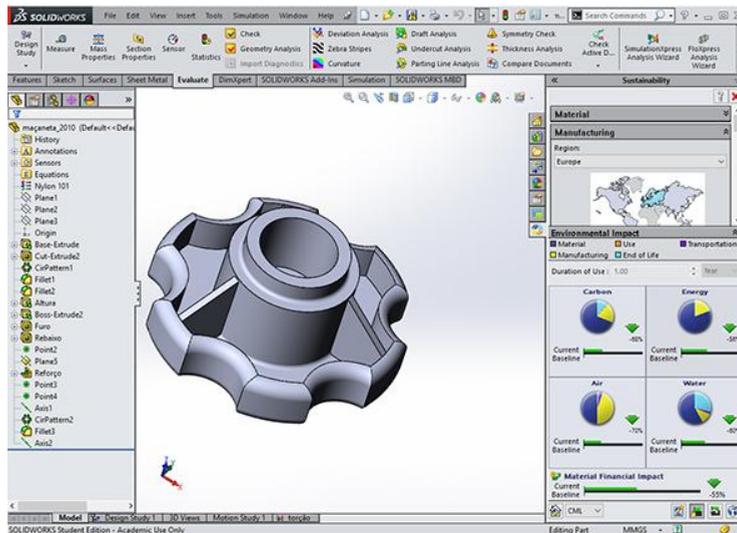


Figura 3-23 – Interface SolidWorks 2015 (Módulo de Sustentabilidade)

3.3 Fabricação Aditiva (*additive manufacturing*)

3.3.1 Definição

Apesar da expressão Impressão 3D (*3D Printing*) ser utilizada vulgarmente para definir este tipo de tecnologias o comité ASTM¹¹² (*International Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies*) define a fabricação aditiva como:

"...additive manufacturing as the process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methods. Synonyms include additive fabrication, additive processes, additive techniques, additive layer manufacturing, and freeform fabrication."

O termo Impressão 3D, mais específico, é definido pelo comité ASTM 42 como a fabricação de objetos através da deposição de material

¹¹² Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies [em linha]. ASTM International Web Site. Acedido setembro, 9, 2015 em <http://www.astm.org/COMMITTEE/F42.htm>

utilizando um cabeçote de impressão, um bocal ou outra tecnologia de impressão. É normalmente associado a sistemas de baixo custo e equipamentos com capacidades de fabricação aditiva limitada.

A FA é utilizada para construir modelos físicos, protótipos, madres, componentes de ferramentas e produzir diretamente peças em plástico, metal, cerâmica, vidro e materiais compósitos.

3.3.2 Processos

Todos os processos da FA apresentam semelhanças. O conceito base é o mesmo. Partindo de um modelo CAD 3D, a fabricação consiste na junção de materiais em sucessivas camadas. Hopkinson (2006)¹¹³ identificou mais de vinte sistemas de prototipagem rápida mas reconhece que parte deles não terão capacidade para fabricar diretamente objetos funcionais. Num estágio anterior da tecnologia, os processos de FA eram divididos em três categorias que dependiam do estado inicial da matéria-prima utilizada. Chua (2005)¹¹⁴ e Volpato (2007)¹¹⁵, separavam os processos em três grupos: os baseados em líquido, os baseados em sólido e os que utilizavam material pulverizado.

Em janeiro de 2012, o comitê ASTM F42 aprovou uma lista, definindo designações e especificações para cada processo, que denominou "*Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*"¹¹⁶.

¹¹³ Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. (2006). *Rapid manufacturing : an industrial revolution for the digital age*. Chichester, England: John Wiley. p. 56

¹¹⁴ Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2005). *Rapid prototyping : principles and applications* (2nd ed ed.). New Jersey: : World Scientific. pp. 33-233

¹¹⁵ Volpato, N., Ahrens, C., Ferreira, C., Petrush, G., Carvalho, J., Santos, J., et al. (2007). *Prototipagem Rápida. Tecnologias e Aplicações*. S. Paulo - Brasil: Editora Blücher. pp. 55-99

¹¹⁶ Wohlers, T. (2015). *Wohlers Report: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry*: Wohlers Associates Inc.

- Extrusão de materiais (*material extrusion*) - processo aditivo onde o material é seletivamente distribuído através de um bocal ou orifício;
- Ejeção de materiais (*material jetting*) - processo aditivo onde gotículas do material de construção são seletivamente depositadas;
- Ejeção de ligante (*binder jetting*) - processo aditivo onde o líquido ligante é seletivamente depositado para agregar materiais pulverizados;
- Laminação em folha (*sheet lamination*) - processo aditivo onde folhas de material são cortadas e ligadas por camada para formar o objeto;
- Foto polimerização em cuba (*vat photo polymerization*) - processo aditivo onde um líquido depositado numa cuba é seletivamente curado através de luz;
- Fusão em cama de pó (*powder bed fusion*) - processo aditivo onde energia térmica funde seletivamente regiões determinadas na cama de pó;
- Deposição por energia direcionada (*directed energy deposition*) - processo aditivo onde um foco de energia térmica é utilizado para fundir materiais que vão derretendo à medida que são depositados.

3.3.2.1 Extrusão de materiais (*material extrusion*)

Neste processo, o dispositivo força o material através de um bocal de extrusão móvel ou a plataforma de construção desloca-se no plano x-y. Quando

termina uma camada, a plataforma baixa ou a cabeça sobe, o processo repete-se e a camada seguinte adere à anterior.

Os materiais utilizados não se limitam aos termoplásticos. Líquidos viscosos ou pastas podem ser carregados em seringas ou funis de carga e distribuídos sem derreter e sem sofrer qualquer mudança do seu estado inicial. Segundo este processo há dispositivos de FA a funcionar com pastas cerâmicas, alimentares, betuminosas, materiais compósitos, e células vivas suspensas num hidrogel ou outra substância, como relata Lee (2014)¹¹⁷.

Este processo, no caso de serem usados filamentos de materiais termoplásticos foi patenteado por Crump (1992)¹¹⁸ como um dispositivo e método para criar objetos tridimensionais.

No sumário da invenção pode ler-se que a sua utilidade principal seria a obtenção rápida de protótipos ou modelos de produtos que poderiam ser de imediato analisados pelos designers. O processo de design beneficiaria com a deteção imediata de erros de projeto, em produtos com formas complexas, promovendo a conseqüente alteração da modelação CAD.

A figura 3-25 representa um dos esquemas apresentado na patente US 5121329.

¹¹⁷ Lee, J. M., & Yeong, W. Y. (2014). A preliminary model of time-pressure dispensing system for bioprinting based on printing and material parameters. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(1), 3-8.

¹¹⁸ Crump, S. S. (1992). Apparatus and method for creating three-dimensional objects: Google Patents.

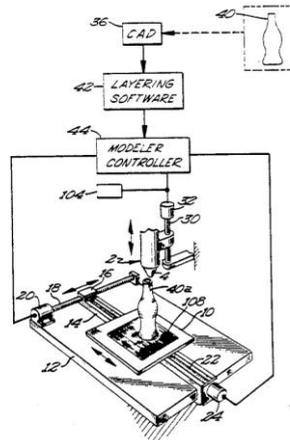


Figura 3-24 – Apparatus and method for creating three-dimensional objects¹¹⁹

Esta tecnologia tem o maior parque instalado de dispositivos FA. A patente foi apresentada em 1989 e a empresa Stratasys introduziu o sistema FDM (*fused deposition system*) em 1991. O projeto *open-source* RepRap¹²⁰ e outros similares, para desenvolvimento de impressoras 3D de secretária, contribuiu para a disseminação deste processo.

Em 2013, uma grande empresa alemã fabricante de moldes, a Arburg, introduziu uma variante no processo de extrusão. O APF (*Arburg Plastic Freeforming*) deposita gotículas de material a uma frequência de 60-200 hertz em vez de extrudir continuamente o termoplástico. Este equipamento utiliza termoplásticos em grão (*pellets*) que são mais económicos do que outros materiais para FA.

¹¹⁹ Crump, S. S. op. cit. (1992).

¹²⁰ Pearce, J. M., Blair, C. M., Laciak, K. J., Andrews, R., Nosrat, A., & Zelenika-Zovko, I. (2010). 3-D Printing of Open Source Appropriate Technologies for Self-Directed Sustainable Development. *Journal of Sustainable Development*, 3(4), 17-29.

3.3.2.2 Ejeção de materiais (*material jetting*)

Este processo aditivo utiliza cabeçotes de impressão a jacto de tinta para depositar gotículas do material de construção. As gotículas são distribuídas seletivamente por uma ou várias cabeças de impressão que se move sobre a área de construção criando uma camada. As camadas são curadas ou endurecidas por ação de luz ultravioleta. As substâncias usadas como material são, geralmente, foto polímeros ou tipos de cera que podem ser usadas para construir madres para fundição.

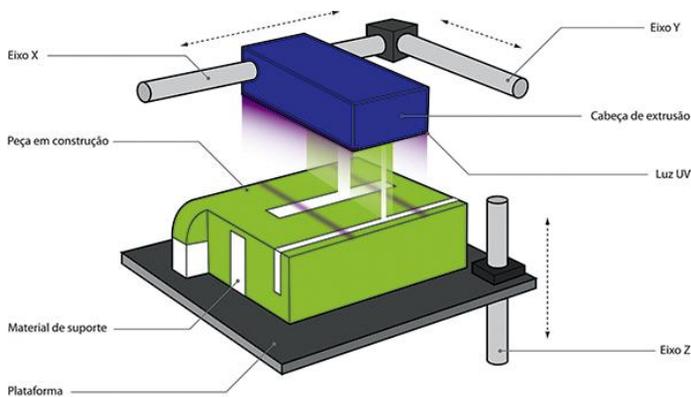


Figura 3-25 – Esquema do processo de ejeção de materiais (*material jetting*)¹²¹

Estes sistemas utilizam diversas cabeçotes de impressão para acelerar o processo ou ejetar diferentes materiais. Usualmente um material é usado para construir estruturas de suporte e os outros como material de construção. É possível imprimir peças em multimaterial ou com materiais de gradiente funcional¹²². A tecnologia Connex da empresa Stratasys cria "materiais digitais"¹²³ resultantes da ejeção de diferentes materiais em simultâneo.

¹²¹ Fonte: Felício, F. S. (2012). *Fabricação Rápida no Design. Uma abordagem na conceção de produto. Tese de mestrado*. Universidade de Lisboa, Lisboa.

¹²² Um material com gradiente funcional pode ser definido como o que se baseia no projeto de peças com variação, discreta ou contínua de composição, estrutura e propriedades ao longo de sua

A tecnologia "*direct-write*"¹²⁴ apresenta um tipo diferente de deposição de material, é usada para depositar "tintas" funcionais. O processo consiste na atomização de nano partículas dos materiais de impressão que, combinadas com um gás inerte, são projetadas com grande precisão numa linha muito fina. Os materiais usados podem ser metais ou não-metais, condutores ou dielétricos específicos para imprimir circuitos eletrônicos.

3.3.2.3 Ejeção de ligante (*binder jetting*)

Este processo aditivo de fabricação utiliza dois materiais; o pó de construção e o líquido ligante que é seletivamente depositado por cabeçotes de impressão para agregar os materiais pulverizados numa cama preenchida com o mesmo pó. O processo é semelhante ao anterior mas, enquanto na ejeção de material a peça é construída com o material ejetado, neste caso o líquido ligante distribuído vai combinar-se com o material pulverizado e originar a camada com a forma determinada.

Este processo, denominado 3DP (*3D printing*), foi originalmente desenvolvido pelo MIT e patentado por Sachs (1993)¹²⁵ com a designação de técnicas de impressão tridimensionais.

O sumário da invenção destaca dois objetivos fundamentais: a necessidade de proporcionar efetiva produtividade industrial e competitividade alcançada pela redução do tempo requerido para lançar novos produtos no

estrutura, com o objetivo de apresentarem propriedades superiores a materiais como composições homogêneas.

¹²³ Stratasy [em linha]. Acedido em setembro 9, 2015 em <http://www.stratasy.com/br/materiais/polyjet/materiais-digitais>

¹²⁴ Chrisey, D. B., & Piqué, A. (2002). Introduction to Direct-Write Technologies for Rapid Prototyping. In *Direct-Write Technologies for Rapid Prototyping* (pp. 1-13). San Diego: Academic Press.

¹²⁵ Sachs, E. M., Haggerty, J. S., Cima, M. J., & Williams, P. A. (1993). Three-dimensional printing techniques: Google Patents.

mercado, e a necessidade de flexibilizar a produção de pequenas séries de produtos. Mais uma vez, é focada a questão da redução do tempo entre o projeto e a fabricação, e a melhoria do processo de design proporcionado pelo rápido *feedback* ao designer. É ainda referida a possibilidade de produzir peças não-funcionais exclusivamente para questões estéticas:

"Rapid prototyping can shorten the product development cycle and improve the design process by providing rapid and effective feedback to the designer. Moreover, some applications require rapid prototyping of non-functional parts for use in assessing the aesthetic aspects of a design or the fit and assembly thereof."

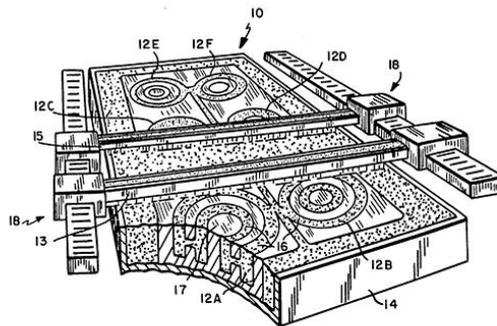


Figura 3-26 – Three-dimensional printing techniques¹²⁶

A utilização quase exclusiva desta tecnologia pertencia, até 2012, à empresa ZCorp que desenvolvia as impressoras ZPrinter. Atualmente é a empresa 3D Systems que comercializa estes dispositivos, integrados numa linha de produtos denominada ProJet. Recentemente foi lançada a impressora ProJet 4500 que utiliza um pó acrílico e pode produzir objetos com cor integral. Outras companhias como a Microjet Technology desenvolveram equipamentos com características semelhantes.

¹²⁶ Sachs, E. M., Haggerty, J. S., Cima, M. J., & Williams, P. A. op. cit. (1993).

A empresa Voxeljet fornece impressoras de grande dimensão, onde utiliza polímeros acrílicos pulverizados e areia de fundição. O ligante atua a uma temperatura ambiente, mas a cura demora algumas horas.

Os sistemas da companhia ExOne ejetam o ligante sobre uma superfície de metal ou areia. Após a primeira impressão, as peças produzidas em metal são sinterizadas e infiltradas com um segundo metal.

Dadas as potencialidades e rapidez deste processo estão a ser desenvolvidos tecnologias com algumas variantes. De referir a tecnologia HP Multi Jet Fusion¹²⁷ que se baseia no processo usual de imprimir camada a camada, usando um scanner e uma barra de impressão equipada com 30000 bocais que aplicam camadas de material de revestimento. Estes materiais são colocados no local com agentes fixadores e curados com uma fonte térmica. O sistema aplica 350 milhões de gotas por segundo, com uma precisão de 21microns. O processo será comercializado em 2016 e poderá revolucionar a produção industrial.

3.3.2.4 Laminação em folha (*sheet lamination*)

Neste processo de produção aditiva folhas de material são cortadas e ligadas por camada para formar o objeto. Inclui a tecnologia aditiva UAM (*ultrasonic additive manufacturing*) que usa folhas ou fitas de metal que são cortadas com *laser* e unidas através de técnicas de soldadura ultrassónica, e o LOM (*laminated object manufacturing*) que usa um processo idêntico mas utiliza papel como material de construção e adesivo em vez da soldadura.

¹²⁷HP Multi Jet Fusion [em linha]. Acedido setembro 9, 2015 em <http://www8.hp.com/h20195/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA5-5472ENW>

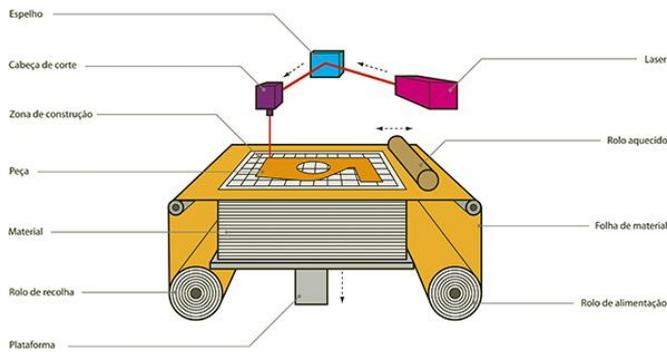


Figura 3-27 – Esquema do processo Laminação em folha (*sheet lamination*)¹²⁸

Esta tecnologia foi inicialmente comercializada pela empresa Helysis, em 1991, que usava um rolo de papel com adesivo de um dos lados e um rolo aquecido que ia compactando as diversas camadas à medida que iam sendo cortadas.

A empresa Mcor Technologies fabrica impressoras 3D que usam papel normalizado como material de construção. Um líquido adesivo solúvel, à base de água, cola as folhas depois de cortado o perfil de cada camada com uma lâmina de carboneto de tungsténio. O custo com materiais é o mais baixo do mercado.

3.3.2.5 Foto polimerização em cuba (*vat photopolymerization*)

Processo de produção aditiva onde um polímero líquido fotossensível depositado numa cuba é seletivamente curado através de luz.

A tecnologia de fabricação aditiva, conhecida como Estereolitografia (SL), foi a primeira a ser patenteada e comercializada pela empresa 3D Systems Inc. em 1968.

¹²⁸ Fonte: Felício, F. S. op. cit (2012).

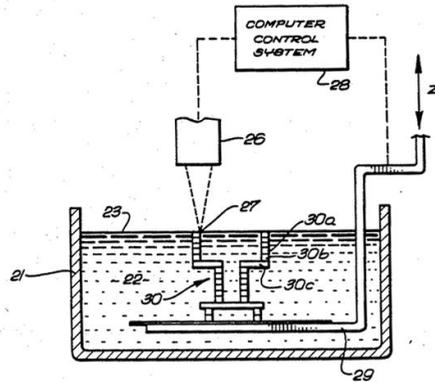


Figura 3-28 – Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography¹²⁹

A figura 3-28 esquematiza o processo SL que utiliza uma resina líquida fotossensível que pode ser curada pela aplicação de um laser com um comprimento de onda específico (UV)¹³⁰. O líquido é depositado num contentor que possui uma plataforma elevatória que vai baixando após cada camada solidificada. O feixe laser é controlado pelo dispositivo ótico que reproduz a secção 2D, obtida pelo software que divide o modelo CAD 3D em fatias com uma espessura determinada. O varrimento do feixe laser percorre a superfície do líquido solidificando a resina na zona da secção, criando uma das camadas da futura peça. O procedimento repete-se para a camada seguinte, que adere à anterior, até à construção total do objeto. A peça é removida da cuba para pós-processamento sendo curada numa estufa.

Atualmente existem outras tecnologias baseadas no processo de foto polimerização que utilizam lâmpadas ou LED's¹³¹ como fonte de energia e

¹²⁹ Hull, C. W. (1986). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography: Google Patents.

¹³⁰ Ultra-violeta

¹³¹ Light-emitting diodes

técnicas de processamento de luz digital (DLP)¹³². O DLP contém uma matriz de micro espelhos que projetam uma imagem no topo ou na base da cuba. Este processo solidifica toda a camada de uma só vez tornando o processo mais rápido que a estereolitografia. A tecnologia permite uma grande resolução e qualidade de pormenores. Como os sistemas DLP projetam a luz a partir de baixo, solidificam a resina fotossensível através da base transparente da cuba necessitando de menos líquido disponível.

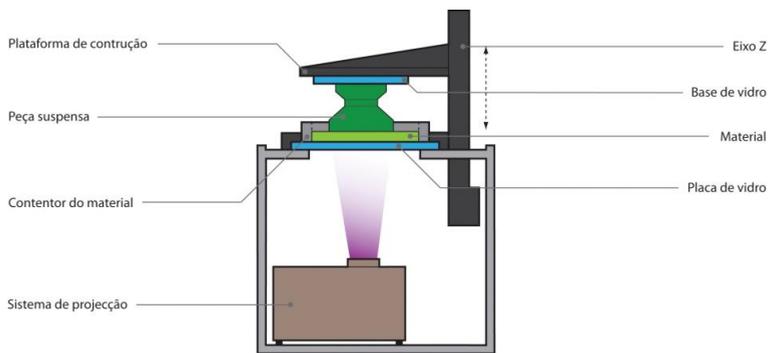


Figura 3-29 – Esquema do processo DLP (*Digital Light Processing*)¹³³

3.3.2.6 Fusão em cama de pó (*powder bed fusion*)

Processo de produção aditiva onde uma fonte de energia térmica funde seletivamente regiões determinadas numa cama de pó.

Uma das variantes desta tecnologia, patenteada em 1989, é a Sinterização Seletiva a Laser que foi desenvolvida por Carl Deckard, investigador na Universidade do Texas. Inicialmente foi comercializada pela empresa DTM Corporation e atualmente pela 3D Systems.

¹³² Digital Light Processing

¹³³ Fonte: Felício, F. S. op. cit. (2012).

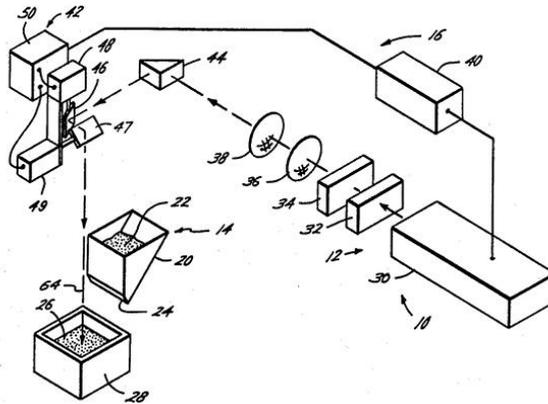


Figura 3-30 – Method and apparatus for producing parts by selective sintering¹³⁴

O processo SLS distingue-se da estereolitografia por usar material em estado sólido. Baseia-se num laser de média potência que funde o material na forma da secção 2D obtida pelo seccionamento do modelo 3D. Como no SL também utiliza uma plataforma elevatória que vai descendo, cerca de 100 µm por camada. A medida que o processo avança, a peça final vai-se formando na cuba completamente envolta no pó. O processo não necessita de suportes dado que o material da camada anterior sustenta sempre a camada seguinte.

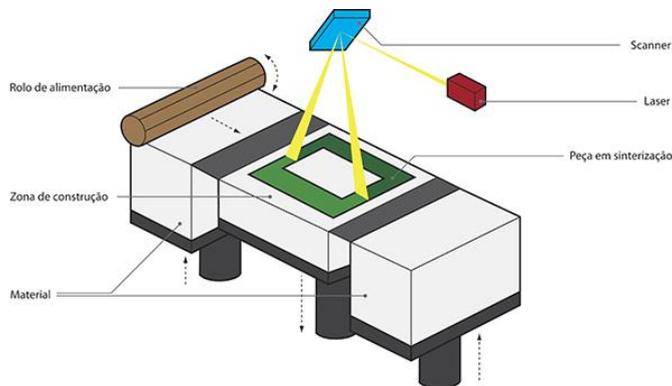


Figura 3-31 – Esquema do processo SLS (*Selective Laser Sintering*)¹³⁵

¹³⁴ Deckard, C. R. (1989). Method and apparatus for producing parts by selective sintering: Google Patents.

Atualmente, com a utilização de distintos polímeros e metais pulverizados, o processo de fusão de cama de pó originou diversas tecnologias de produção aditiva como: *Laser sintering* (LS), *selective laser sintering* (SLS), *selective laser melting* (SLM), *direct metal laser sintering* (DMLS) e *electron laser melting* (ELM).

Apesar desta tecnologia ser mais complexa e menos económica do que outros processos de produção aditiva, os produtos finais apresentam, com a evolução dos materiais utilizados, uma extrema qualidade final.

3.3.2.7 Deposição por energia direcionada (*directed energy deposition*)

Processo de produção aditiva onde um foco de energia térmica é utilizado para fundir materiais que vão derretendo à medida que são depositados.

Segundo Gibson (2010)¹³⁶, este é um dos processos mais complexos de produção aditiva. É normalmente usado para reparar ou adicionar material em componentes já existentes.

Um sistema DED é constituído por um braço robótico com diversos eixos equipado com um bocal que deposita material fundido numa zona específica, onde solidifica. O processo apresenta semelhanças com o método de extrusão, mas o bocal pode orientar-se em múltiplas direções e não apenas num eixo. Pode ser usado com polímeros e cerâmicos mas é mais comum a sua utilização com metais pulverizados ou em fio.

¹³⁵ Fonte: Felício, F. S. op. cit. (2012).

¹³⁶ Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. op. cit (2010).

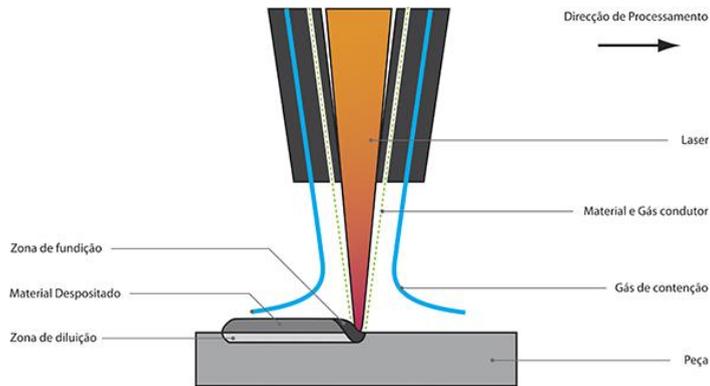


Figura 3-32 – Esquema do processo FMD (*Fused Metal Deposition Systems*)¹³⁷

A figura 3-34 esquematiza o processo *Laser Engineered Net Shaping* (LENS) da empresa Optomec que injeta metal em pó sobre uma plataforma de suporte onde lasers o fundem, formando o objeto.

Esta tecnologia, segundo HopKinson (2010)¹³⁸, apesar da baixa velocidade e acabamentos inferiores apresenta a vantagem de permitir usar, em simultâneo, diferentes materiais.



Figura 3-33 – Processo LENS da Optomec (*Laser Engineered Net Shaping*)¹³⁹

¹³⁷ Fonte: Felício, F. S. op. cit. (2012).

¹³⁸ Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. op. cit. (2006).

As tecnologias de deposição por energia direcionada são das mais caras na produção aditiva. Segundo Wohlers (2015)¹⁴⁰, o processamento dos materiais metálicos, as opções multimateriais, a complexidade do equipamento de eixos múltiplos e o controlo do processo contribuem para os custos elevados do sistema.

¹³⁹ Fonte: Optomec [em linha]. Acedido outubro 14, 2015, em <http://www.optomec.com/>

¹⁴⁰ Wohlers, T. op. cit. (2015).

CAPÍTULO 4
ESTADO DA ARTE
INTERFACES

4. ESTADO DA ARTE - INTERFACES

4.1 Interface de utilizador

Neste capítulo ao incluirmos aspetos do estado da arte no domínio das interfaces de utilizador, resultantes de pesquisas e publicações anteriores do autor¹⁴¹, que deram origem à primeira fase da presente investigação, pretendemos realçar o aspeto didático e o contributo pedagógico que interfaces bem estruturadas desempenham no processo ensino-aprendizagem no domínio das tecnologias de prototipagem digital.

4.1.1 Considerações gerais

Nos últimos 20 anos, a tecnologia de projeto 3D por computador tem beneficiado da evolução dos equipamentos informáticos e das possibilidades acrescidas de programação, com linguagens de alto nível orientadas a objetos.

Aplicações que só funcionavam em equipamentos com grande capacidade de processamento e com requisitos gráficos muito dispendiosos estão atualmente disponíveis para a maioria dos computadores pessoais. Grandes empresas que desenvolviam aplicações CAD, como a Autodesk, começaram a apostar em interfaces gráficas interativas que, segundo John

¹⁴¹ Mateus, J. (2007). *A Influência do Design da Interface Gráfica das Aplicações na Aprendizagem de Tecnologias de Projeto 3D*. Tese de mestrado. Universidade Aberta, Lisboa.

Walker (1988)¹⁴², permitiam um mais rápido entendimento da filosofia da aplicação. Este foi o início de uma preocupação das empresas em tornar as suas aplicações, ou as interfaces das mesmas, mais elaboradas em termos funcionais e pedagógicos.

Ao enquadrarmos esta primeira fase da investigação no campo das interfaces gráficas estamos a situar o estudo em domínios que se relacionam com perceção, modelos mentais e conceitos de interatividade e interação que, inevitavelmente, interpenetram as teorias do hipertexto em contexto de aprendizagem.

Faria sentido, num âmbito mais alargado, referenciar e analisar as teorias desenvolvidas sobre os aspetos psicológicos da interatividade em educação. Este assunto ainda é polémico e merecedor de uma reflexão mais cuidada, o que nos leva a assumir que a interatividade possa ser compreendida como um diálogo entre a pessoa e a máquina (neste caso baseado em tecnologias digitais) através de um espaço de contacto designado por interface gráfica. É a interface que possibilita a interatividade, é nesse espaço que acontece o fluxo de entrada/saída da informação baseado numa ordem mental, simbólica e imaginária que estrutura a relação do indivíduo com a realidade.

Para situar o nosso estudo, referimos Vannevar Bush¹⁴³ que, em 1945, abordou estas questões e relacionou a ideia fundamental do hipertexto/hipermédia e o seu potencial como extensão da cognição humana:

“The human mind (...) operates by association. With one item in its grasp, it snaps instantly to the next that is suggested by the association of thoughts, in accordance with some intricate web of trails

¹⁴² Walker, J. (1988). Through the Looking Glass [em linha]. Acedido em setembro 7, 2010, em http://www.fourmilab.ch/autofile/www/chapter2_69.html#lglass

¹⁴³ Bush, V. (1945). As We May Think [em linha]. Acedido em setembro 7, 2010 em http://www.citi.pt/estudos_multi/homepages/espaco/html/bush.html

carried by the cells of the brain. It has other characteristics, of course; trails that are not frequently followed are prone to fade, items are not fully permanent, memory is transitory. Yet the speed of action, the intricacy of trails, the detail of mental pictures, is awe-inspiring beyond all else in nature.”

Para Terry Winograd (1996)¹⁴⁴ uma interface digital opera no domínio da linguagem, opera na criação, na manipulação e transmissão de objetos simbólicos. A linguagem existe enquanto ação e é usada num processo de interpretação e de comunicação. Na publicação citada, em entrevista, David Liddle (1996)¹⁴⁵, especialista da IBM em interação pessoa-computador refere:

“Software design is the act of determining the user’s experience with a piece of software. It has nothing to do with how the code works inside, or how big or small the code is. The designer’s task is to specify completely and unambiguously the user’s whole experience.... The most important thing to design properly is the user’s conceptual model. Everything else should be subordinated to making that model clear, obvious, and substantial. That is almost exactly the opposite of how most software is designed.”

Encontramos nestas ideias uma analogia com as teses de Vigotsky sobre processos mentais também mediados por sistemas simbólicos, originando modelos mentais nos indivíduos. Atualmente os modelos mentais têm sido estudados por psicólogos especialistas em cognição, na tentativa de explicar como os humanos sabem, percebem, tomam decisões e como adaptam o seu comportamento aos variados ambientes a que são constantemente sujeitos.

¹⁴⁴ Winograd, T. (1996). *Bringing Design to Software*. Stanford: Addison-Wesley.

¹⁴⁵ Winograd, T. (1996). *Bringing Design to Software*. Stanford: Addison-Wesley [em linha]. Acedido setembro 9, 2010 em <http://hci.stanford.edu/bds/2-liddle.html>

Apesar de, no nosso estudo, não estarmos perante um tradicional produto educacional desenhado exclusivamente para esse fim, consideramos também as características hipertextuais das interfaces já que, neste contexto, de acordo com Morgado (1996)¹⁴⁶ ao citar Calvani (1990)¹⁴⁷, há atividade cognitiva envolvida na familiarização simbólica com o ambiente informático e a aprendizagem inicial implica a descodificação e interpretação de um “*mundo simbólico*” específico e a sua transferência para outros. As aplicações de projeto 3D por computador exigem dos alunos capacidades de manipulação e perceção espacial que as caracterizam como “*ferramentas cognitivas*”, estabelecendo um paralelismo entre “*utensílios do computador e utensílios do pensamento*”.

Morgado (1996)¹⁴⁸ refere ainda que, “ao descrever estes processos, Norman observa que na interação com a tecnologia é necessário considerar quatro aspetos diferentes: o sistema tecnológico propriamente dito, o modelo conceptual do sistema tecnológico, o modelo mental que o utilizador elabora em relação ao sistema tecnológico e a conceptualização que o investigador tem desse modelo mental do utilizador (trata-se do modelo de um modelo)”. Norman (1987)¹⁴⁹ “...distingue, ainda, neste contexto, a conceptualização ou modelo conceptual de um determinado sistema, do modelo mental que um utilizador pode ter de um sistema, sendo necessária a investigação adequada. Eles distinguem-se pelo facto de os primeiros se constituírem como

¹⁴⁶ Morgado, L. (1996). O lugar do hipertexto na aprendizagem: alguns princípios para a sua conceção, 1º Simpósio Investigação e Desenvolvimento de Software Educativo. Costa da Caparica.

¹⁴⁷ Calvani, A. (1990). Dal libro stampato al libro multimediale: Computer e Formazione. Firenze: La Nuova Italia.

¹⁴⁸ Morgado, L., ibidem (1996).

¹⁴⁹ Norman, D.A. (1987) - Some observations on Mental Models. Baeker, M.R.; Buxton, A.S.W.- *Readings in Human-Computer Interaction: A Multidisciplinary Approach*, Morgan Kaufman Publishers, California, pp. 241-244

instrumentos de compreensão dos sistemas físicos, enquanto os modelos mentais se referem aos indivíduos e àquilo que os orienta na sua utilização.”

Negroponete (1995)¹⁵⁰ atribui ao psicólogo Licklider a introdução do conceito design de interface quando, em 1960, publicou o artigo “*Man-Computer Symbiosis*” ao referir-se à simbiose pessoa-computador e à difusão especializada que só viriam a convergir nos anos 90, segundo o autor.

Encontramos na literatura distintos conceitos de interface que, segundo Negroponete (1995)¹⁵¹, resultam fundamentalmente das duas linhas de investigação que no início dos anos 60, se tratavam separadamente: a interatividade e a riqueza sensorial.

Laurel (1993)¹⁵² define a interface como um campo comum de interação atribuindo valor ativo aos agentes que a utilizam. A interface é um canal de comunicação entre a pessoa e o computador e para que a interação exista a interface deve oferecer a cada um dos agentes soluções para as suas necessidades. Não deve ser apenas um ecrã separador.

4.2 Gerações de interfaces

Baseado em estudos e levantamentos históricos da época, Nielsen (1993)¹⁵³ identificou seis gerações de interfaces relacionando a evolução tecnológica de hardware com o modo de operação, a linguagem de programação, a tecnologia de visualização, o tipo de utilizadores, a imagem pública e estabeleceu o paradigma da interface e cada uma das gerações. Ao período antes de 1945 denominou a pré-história dos computadores onde o conceito de interface não se aplicava. Ao período seguinte, entre 1945 e 1955,

¹⁵⁰ Negroponete, N. (1995). Ser digital. Lisboa: Editorial Caminho. pp 104-105

¹⁵¹ Negroponete, N. ibidem (1995).

¹⁵² Laurel, B. (1993). *Computers as Theatre*. Massachusetts: Addison-Wesley. P.4.

¹⁵³ Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston ; London: Academic Press; pp 49-66

caracterizado pelo pioneirismo, seguiu-se a fase histórica, entre 1955 e 1965. Neste período imperaram as linguagens de comando que evoluíram com a utilização de menus e o aproveitamento integral do ecrã no período apelidado de tradicional, entre 1965 e 1980. Com a invenção do rato entrou-se na geração das interfaces gráficas WIMP¹⁵⁴, entre 1980 e 1995, considerada a época moderna. Com o conhecimento de trabalhos de investigação em curso, Nielsen (1993)¹⁵⁵, refere-se prospectivamente a uma eventual nova geração de interfaces centrados em sistemas não baseados em comandos.

Passaram 20 anos e a interface tipo WIMP continua a imperar apesar da lei de Moore¹⁵⁶ continuar válida e investigadores apregoarem outros paradigmas como o SILK¹⁵⁷, interfaces multimodais e perceptuais. Van Dam (1997)¹⁵⁸ refere-se à lei do equilíbrio pontuado do biólogo Steven Jay Goulds para traduzir a evolução das interfaces:

Unlike the steady, predictable hardware price/performance improvement described by Moore's law, there has been no such year-to-year progress in user interface design. Instead, the history of user interfaces can be characterized using evolutionary biologist Steven Jay Gould's notion of punctuated equilibrium: long periods of stability interrupted by rapid change.

¹⁵⁴ WIMP – Window – icons – menus – pointing device.

¹⁵⁵ Nielsen, J. (1993). *Noncommand user interfaces*. Paper presented at the Communications of the ACM, New York.

¹⁵⁶ Em 1965 Gordon Moore tem a visão necessária para escrever na edição do 35º aniversário da revista Electronics a lei de Moore a qual, ao ser revista em 1975, definia que a complexidade dos processadores iria duplicar em cada dois anos enquanto os custos permaneceriam constantes.

¹⁵⁷ Interfaces que suportam voz (Speech), imagem (Image) e linguagem (Language) orientados por bases de conhecimento (Knowledge).

¹⁵⁸ Dam, A. V. (1997). Post-Wimp User Interfaces. *Communications of the ACM*, 40 (2).

4.2.1 Interface gráfica de utilizador (GUI - *Graphic User Interface*)

Segundo Mandel (1997)¹⁵⁹ as características básicas de uma interface gráfica de utilizador consistem na integração de um conjunto de elementos que trazem as tarefas e o trabalho que efetuamos no computador para a vida. Em termos simples, para este autor, uma GUI é uma *representação gráfica de, e interação com, programas, dados, e objetos no ecrã de um computador.*

Quadro 4-1 – Características que definem uma interface gráfica GUI (Adaptado de Mandel)

- 1 Possui um ecrã de computador de alta resolução em mapa de *bits*
 - 2 Possui um dispositivo apontador, tipicamente um rato
 - 3 Promove uma adaptação consistente entre programas
 - 4 Os utilizadores podem visualizar gráficos e texto no ecrã como numa impressão
 - 5 Possui o paradigma de interação objeto-ação
 - 6 Permite transferir informação entre programas
 - 7 Permite manipulação direta da informação existente no ecrã e de objetos
 - 8 Fornece elementos de interface familiares como menus e diálogos
 - 9 Há exposição visual de informação e objetos (ícones e janelas)
 - 10 Fornece *feedback* visual para o utilizador das ações e tarefas
 - 11 Há exposição visual de utilizador/ações do sistema e modos (menus e paletas)
 - 12 Utiliza controladores gráficos (*widgets*) para seleção e entrada de dados
 - 13 Permite aos utilizadores personalizar a interface e as interações
 - 14 Flexibiliza o funcionamento entre o teclado e outros periféricos
-

As características fundamentais de uma GUI para um sistema de projeto 3D são as funcionalidade de permitir a manipulação direta dos objetos modelados e da informação gráfica no ecrã assim como a visualização do espaço 3D (ampliação, deslocamento e rotação).

¹⁵⁹ Mandel, T. (1997). *The elements of user interface design*. New York: Wiley.

4.3 Modelos de interação

4.3.1 Formas de interação

Preece (1994)¹⁶⁰ considera interação como sendo “*todos os intercâmbios que acontecem entre a pessoa e o computador*” e define estilo de interação como “*um termo genérico para agrupar as diferentes formas em que os utilizadores comunicam e interagem com o computador*”.

Também para Shneiderman (1998)¹⁶¹ os estilos de interação são as formas de comunicação ou interação entre os utilizadores e os sistemas informáticos e considera fundamentais a linha de comandos, os menus, os ícones, a manipulação direta e o preenchimento de formulários.

As interfaces das aplicações de projeto 3D por computador evoluíram desde a linha de comandos, passando pela integração de menus e formulários, introdução de técnicas de manipulação direta de objetos e aguardando a generalização do novo paradigma baseado em realidade aumentada.

4.3.2 Interface por linha de comandos

Desde as primeiras gerações de interfaces que a linha de comandos é o estilo de interação mais utilizado. É uma forma de dar instruções diretamente ao computador através de cadeias alfanuméricas que traduzem ordens ou procedimentos. Obriga a uma aprendizagem intensiva da linguagem e da gramática subjacente à aplicação. Para atingir níveis de eficiência razoáveis são necessárias muitas horas de contacto para a memorização de comandos. No entanto, utilizadores experientes atingem níveis de proficiência elevados.

¹⁶⁰ Preece J. (1994). *Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, Reading, MA

¹⁶¹ Shneiderman B. (1998). *Designing the User Interface*. Addison-Wesley, Reading, MA

Quadro 4-2 – Vantagens e inconvenientes da interface por linha de comandos. (Adaptado de Mandel¹⁶²)

Vantagens
Flexibilidade
Permite iniciativa do utilizador
Rapidez em tarefas complexas
Utiliza um espaço mínimo no ecrã
Permite abreviaturas e macros
Pode ser utilizada em conjunção com outros estilos de interfaces
Atrativa para utilizadores experientes

Inconvenientes
Memorização demorada
Aprendizagem demorada
Assume experiência de dactilografia
Apresenta comandos sem significado para novos utilizadores
Sintaxe difícil de compreender para novos utilizadores
Comandos e sintaxe não permitem personalização
Limitada na gestão dos erros
Específica da aplicação

Para programas de CAD específicos consideramos que a interface por linha de comandos permite flexibilizar determinados aspetos da operacionalidade do sistema. É exemplo deste facto uma das aplicações mais utilizadas em 2D, o *AutoCAD*. Ao longo de 30 anos, apesar da atualização constante da sua GUI, os utilizadores ainda preferem a introdução de comandos (que podem ser abreviados) através da sua digitação em vez de usarem menus ou outras técnicas mais interativas.

4.3.3 Interface por seleção de menus

Para Shneiderman (1998)¹⁶³, nestes sistemas os utilizadores visualizam uma lista de possibilidades, selecionam o que lhes parece mais adequado e observam o resultado.

¹⁶² Mandel, T. op. cit. (1997).

Foley (1996)¹⁶⁴ refere que uma das vantagens do uso de menus é a possibilidade dos utilizadores trabalharem com a memória de reconhecimento, associando imagens visuais a palavras com significados conhecidos.

Quadro 4-3 - Vantagens e inconvenientes da interface por seleção de menus. (Adaptado de Mandel¹⁶⁵)

Vantagens
Aprendizagem mais rápida
Diminui o uso do teclado
Melhora a tomada de decisão
Deteção de erros simplificada
Não exige memorização de comandos complexos
Estruturação da navegação facilita interação
Normalmente pode ser personalizado
Possui técnicas de seleção flexíveis (teclas e rato)
Pode ser utilizada em conjunção com outros estilos de interfaces
Permite a utilização de ferramentas para gestão do diálogo

Inconvenientes
Pode complicar-se com diferentes níveis de menus
Para determinadas tarefas não são eficientes
Não facilita necessariamente a utilização da aplicação
Utilizadores podem perder-se na hierarquia de menus
Nomes e termos podem não ser conhecidos dos utilizadores
Requer conhecimentos gerais sobre a aplicação
Utilizadores são obrigados a obedecer a hierarquias definidas
Pode limitar utilizadores experientes
Ocupa espaço no ecrã
Exige sistemas gráficos adequados

4.3.4 Interface por seleção de ícones

Os ícones são elementos pictóricos das interfaces que representam operações ou permitem desencadear ações particulares. São normalmente

¹⁶³ Shneiderman B. op. cit (1998).

¹⁶⁴ Foley, J. D., Dam, A. V., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (1996). *Computer Graphics: Principles and Practice, 2nd Edition in C*: Addison Wesley Professional.

¹⁶⁵ Mandel, T. op. cit. (1997)

caracterizados pela semelhança ou por analogia entre o símbolo escolhido e o que ele representa.

Segundo Mullet (1995)¹⁶⁶ a qualidade dos ícones está relacionada com a proximidade, a generalidade, a coerência, a caracterização e a comunicabilidade.

Quadro 4-4 - Características dos ícones gráficos

Características dos ícones

Legibilidade dos ícones gráficos
Consistência semiótica dos ícones gráficos (concreção)
Consistência semiótica dos ícones gráficos (distância semântica)
Consistência semiótica dos ícones gráficos (familiaridade)
Reforço com texto dos ícones gráficos

Um dos primeiros estudos que conhecemos sobre interfaces que conjugam os estilos referidos anteriormente, realizado pela Digital Equipment Corporation por Whiteside (1985)¹⁶⁷, entre outras conclusões, atesta que ao nível da aprendizagem não se verificou relação entre a facilidade de utilização e a facilidade de aprendizagem, e conclui afirmando que esta nova tecnologia de interface não resolve os problemas antigos relativos aos fatores humanos.

Mitta (1995)¹⁶⁸ centra o seu estudo em sistemas CAD, concretamente na interface do AutoCAD, e pretende definir uma medida para a produtividade dos operadores e investigar os potenciais efeitos da interface nessa produtividade.

¹⁶⁶ Mullet, K., & Sano, D. (1995). *Designing visual interfaces : communication oriented techniques*. Englewood Cliffs, NJ: SunSoft Press.

¹⁶⁷ Whiteside, J., Jones, S., Levy, P., & Wixon, D. (1985). *User performance with command, menu and iconic interfaces*. Paper presented at the In Proceedings of the Conference of Human Factors in Computer Systems, New York.

¹⁶⁸ Mitta, D., & Flores, P. (1995). User productivity as a function of AutoCAD interface *design*. *Applied Ergonomics*, 26(6), 387-395.

4.3.5 Interface por manipulação direta

Neste estilo, objetos e atributos são selecionados e manipulados com um dispositivo apontador; as ações realizadas sobre os elementos gráficos denotam operações que são ativadas implicitamente;

Quadro 4-5 - Vantagens e inconvenientes da interface por seleção de menus. (Adaptado de Shneiderman)

Vantagens
Aprendizagem mais rápida
Apresenta visualmente os conceitos das tarefas
Retenção mais fácil (memorização)
Permite evitar erros
Encoraja a exploração
Promove uma taxa elevada de satisfação subjetiva
Inconvenientes
Programação complexa
Pode exigir dispositivos específicos de visualização

4.3.6 Interface por preenchimento de formulários

Também designados por caixas de diálogo constituídas por campos (numéricos ou não) que o utilizador deve preencher. São importantes quando é necessário introduzir dados exatos. Os campos de texto são preenchidos pela movimentação de um cursor e com o auxílio de um teclado.

Quadro 4-6 - Vantagens e inconvenientes da interface por seleção de menus. (Adaptado de Shneiderman)

Vantagens
Simplifica a entrada de dados
Não necessita treino especial
Possui ferramentas para gerir diálogos
Possui assistência adequada
Inconvenientes
Espaço ocupado no ecrã

4.3.7 A interface ideal

Negroponte (1995)¹⁶⁹ remonta aos tempos em que se discutia se este ou aquele meio seria melhor que outro para determinado tipo de interação e refere:

“...a mentalidade do «ou/ou» era guiada pela falsa crença de que havia uma solução universal «melhor» para uma dada situação...”

e conclui dizendo que não existe a melhor solução dado que as pessoas são diferentes e as situações mudam:

“No design de interface o «melhor» não existe.”

4.4 Interação pessoa computador

Um campo de estudo denominado pelos anglófonos HCI (*Human Computer Interface*), adotou e tem adaptado o conceito de modelo mental e os seus pressupostos no desenvolvimento e construção de interfaces gráficas mais adequadas aos processos mentais desenvolvidos pelos utilizadores de aplicações informáticas numa fase de aprendizagem e na fase operacional.

Em termos gerais HCI, é um campo de pesquisa multidisciplinar abrangente, associado à ergonomia de interfaces pessoa-computador para o qual contribuem as áreas do conhecimento indicadas no quadro 4-7:

¹⁶⁹ Negroponte, N. op. cit. (1995). p 107

Quadro 4-7 – Áreas de conhecimento relacionadas com HCI

Ergonomia
Psicologia cognitiva
Engenharia
Design
Antropologia
Sociologia
Filosofia
Ciências da informação
Ciências da computação.
Linguística
Inteligência Artificial
Psicologia Social e Organizacional

Turró (2005)¹⁷⁰ traça uma panorâmica da evolução das correntes de interação pessoa-computador centrando-se nas tendências atuais e refere-se a um grupo alargado de investigadores que têm estudado este campo e proposto uma série de instrumentos que oferecem suporte para o desenvolvimento de sistemas computacionais mais ergonómicos e fáceis de usar, tais como guias de recomendações e normas internacionais.

Scapin e Bastien (1997)¹⁷¹, citados em muitos trabalhos sobre HCI, propuseram oito critérios ergonómicos para avaliação da qualidade ergonómica de sistemas interativos:

¹⁷⁰ Turró, M. R. (2005). Evolución y Tendencias en la Interacción Persona-Ordenador. *El Profesional de la Información*, 14(6), 414-422.

¹⁷¹ Critères ergonomiques de Scapin et Bastien [em linha]. Ergoweb Web Site Acedido em maio 20, 2010 em <http://www.ergoweb.ca/criteres.html>

Quadro 4-8 – Critérios ergonômicos de Scapin e Bastien

Condução

refere-se aos meios disponíveis para orientar, informar, instruir e guiar o utilizador na interação com o computador;

Carga de trabalho

refere-se a todos elementos da interface que contribuam para reduzir a carga de trabalho perceptiva e cognitiva e aumentar a eficiência do diálogo;

Controlo explícito

refere -se ao processamento de ações explícitas do utilizador pelo sistema e ao controlo que o utilizador possui sobre este processamento;

Adaptabilidade

refere-se à capacidade do sistema se comportar dentro do contexto e de acordo com as necessidades e preferências do utilizador;

Gestão de erros

refere -se aos recursos disponíveis para prevenir ou reduzir erros e corrigindo-os quando eles ocorrerem;

Homogeneidade/Coerência

pressupõe que o modelo conceptual da interface deve manter as mesmas características num mesmo contexto e diferenciá-las em contextos diferentes;

Consistência

refere-se à padronização de códigos, nomes, formatos, procedimentos, etc. ... em contextos similares, e à diferenciação destes em contextos diferentes;

Compatibilidade

refere-se à adequação das características do utilizador (memória, percepção, habilidades, hábitos, idade, expectativas, etc.) e da tarefa, e a organização do sistema (entradas, saídas, diálogo).

Souza (1999)¹⁷², citando Dix (1993)¹⁷³, encontra nestes critérios quatro elementos distintos: o sistema, os utilizadores, os designers de interfaces

¹⁷² Souza, C.S., Leite, J.C., Prates, R.O., Barbosa, S.D.J.(1999) *Projeto de Interfaces de Usuário: Perspectivas Cognitiva e Semiótica*. Anais da Jornada de Atualização em Informática, XIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Rio de Janeiro.

e o ambiente de utilização. São elementos que se combinam através de dois processos fundamentais: o desenvolvimento do sistema e a interação pessoa-computador. Enumera para cada um destes focos as diferentes disciplinas que proporcionam os estudos teóricos que podem ser aplicados ao desenvolvimento da interface:

- Design e desenvolvimento do *hardware* e *software*: estudo de tecnologias de dispositivos de entrada e saída e de tecnologias de software tipo ambientes gráficos e virtuais;
- Estudo da capacidade e limitação física e cognitiva dos utilizadores: considera estudos de ergonomia para avaliar limites de esforço físico do utilizador, e estudos de psicologia e ciência cognitiva sobre a capacidade humana de memorização, raciocínio e aprendizagem;
- Instrumentação teórica e prática para o design e desenvolvimento de sistemas interativos: envolve o conhecimento teórico a respeito dos fenómenos envolvidos, modelos para o processo de desenvolvimento que descrevam as etapas necessárias e como devem ser conduzidas: diretrizes, técnicas, linguagens, formalismos e ferramentas de apoio a estas etapas;
- Modelos de interfaces e do processo de interação utilizador-sistema. Para desenvolver modelos abstratos do processo de interação compatíveis com as capacidades e limitações físicas e cognitivas dos utilizadores;

¹⁷³ Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. e Beale, R. (1993) *Human-Computer Interaction*. Prentice-Hall International.

- Análise do domínio e de aspetos sociais e organizacionais: para avaliar o impacto que o contexto onde está inserido o utilizador exerce sobre seus conhecimentos, sua linguagem e suas necessidades.

4.5 Métodos de avaliação de interfaces

4.5.1 Conceito de usabilidade

Importa também reconhecer o conceito de usabilidade, que determina uma área de investigação própria no estudo das interfaces do utilizador. Neste campo, a bibliografia disponível na Rede e publicada é vasta. Elegemos como autores de referência Nielsen, Norman, Preece, Sheiderman e Brenda Laurel, embora consideremos fundamental aprofundar as recentes teorias da engenharia semiótica propostas por Souza (2005)¹⁷⁴ que aponta a comunicabilidade da interface como um dos aspetos mais importantes da interação.

Nielsen (1993)¹⁷⁵ considera que para um sistema ter boa usabilidade é necessário que seja de fácil de aprender, eficiente na utilização, fácil de lembrar, ter poucos erros e provocar satisfação subjetiva. Estes cinco atributos traduzem a natureza multidimensional da usabilidade.

Também Santos (2000)¹⁷⁶ desenvolve o conceito de usabilidade com atributos que consideramos mais abrangentes e que se enquadram na metodologia deste estudo:

¹⁷⁴ Souza, C. S. (2005). *The semiotic engineering of human-computer interaction*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

¹⁷⁵ Nielsen, J. op. cit. (1993). pp 26-36

¹⁷⁶ Santos, R. L. (2000). *Ergonomização da Interação Homem-Computador - Abordagem Heurística para Avaliação da Usabilidade de Interfaces*. Tese de Mestrado. Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- Facilidade de aprendizagem: o sistema deve permitir que os utilizadores atinjam níveis de desempenho aceitáveis dentro de um período especificado;
- Efetividade: um desempenho aceitável deve ser alcançado por uma proporção definida da população utilizadora, em relação a um limite de variação de tarefas e num limite de variação de ambientes;
- Atitude: um desempenho aceitável deve ser atingido considerando custos humanos aceitáveis em termos de fadiga, *stress*, frustração, desconforto e satisfação;
- Flexibilidade: o produto deve ser capaz de lidar com um limite de variação de tarefas além daquelas inicialmente especificadas;
- Utilidade percebida do produto: observa-se que o maior indicador da usabilidade de um produto é a sua utilização;
- Adequação à tarefa: além dos atributos considerados, um produto “usável” deve apresentar uma adequação aceitável entre as funções oferecidas pelo sistema e as necessidades e requisitos dos utilizadores;
- Características da tarefa: a frequência com que uma tarefa pode ser desempenhada e o grau no qual a tarefa pode ser modificada, em termos da variabilidade dos requisitos de informação;
- Características dos utilizadores: um outro aspeto que deve ser incluído numa definição de usabilidade refere-se ao

conhecimento, habilidade e motivação da população utilizadora.

Grande parte dos ensaios de usabilidade têm com objetivo efetuar medições e baseiam-se em inquéritos¹⁷⁷ normalizados e validados, ou em propostas de inquéritos mais específicos como é o caso do método para comparar a relativa usabilidade de diferentes sistemas de software proposto por Lin (1997)¹⁷⁸.

Hornbæk (2005)¹⁷⁹ identificou 587 artigos com estudos de usabilidade e desenvolveu métodos de comparação numa abordagem, quanto a nós, original. O investigador alega que o conceito de usabilidade é demasiado abrangente para poder ser medido diretamente, baseando-se na quantidade de artigos que se referem às dificuldades em encontrar medidas válidas para muitos aspetos da usabilidade.

Na figura 4-1, resultante da análise de 180 estudos, onde Hornbæk traduz graficamente o que considera micro e macro medidas de usabilidade, observamos que a mesma medida foi classificada de forma diferente tendo em conta o nível da tarefa considerado. Da análise o autor refere que poucos estudos incidiram numa perspetiva macro das tarefas dada a sua complexidade optando pelo mais simples, resultando numa avaliação muito superficial de atributos fundamentais da usabilidade, como a estimulação da criatividade

¹⁷⁷ Usability Net [em linha]. Acedido outubro 3, 2010 em <http://www.usabilitynet.org/tools/questionnaire.htm>

¹⁷⁸ Lin, H., Choong, Y.-Y., & Salvendy, G. (1997). A proposed index of usability: a method for comparing the relative usability of different software systems. *Behaviour & Information Technology*, 16(4/5), 267-278.

¹⁷⁹ Hornbæk, K. (2005). Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. *Human-Computer Studies*, 64, 79-102.

proposta por Shneiderman (1998)¹⁸⁰ e outros que envolvam questões psicológicas e sociais.

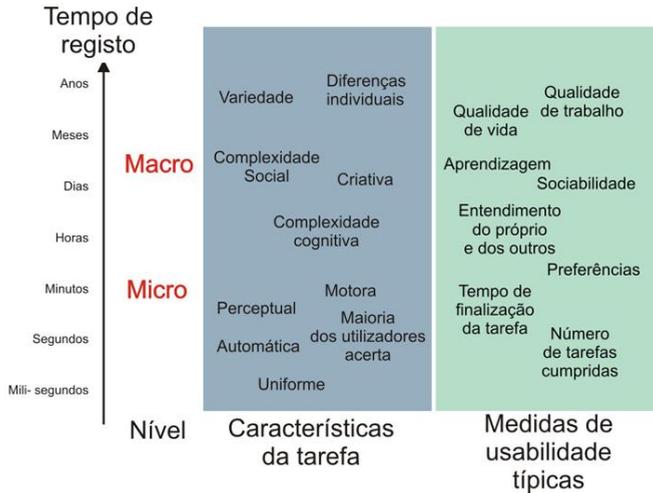


Figura 4-1 – Micro e macro medidas de usabilidade (Fonte: Adaptado de Hornbæk (2005))

Na figura 4-2, Hornbæk ¹⁸¹, representa de uma forma elucidativa o que entende como os desafios em medir a usabilidade.

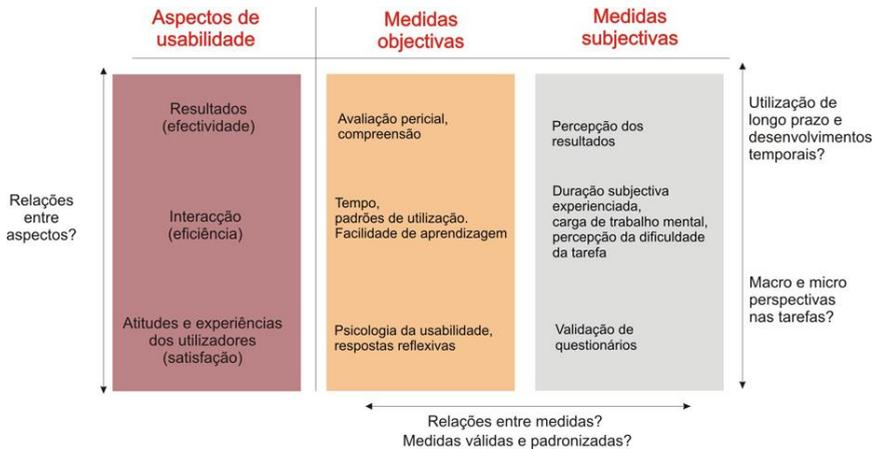


Figura 4-2 – Os desafios em medir a usabilidade (Fonte: Adaptado de Hornbæk (2005))

¹⁸⁰ Shneiderman B. op. cit. (1998).

¹⁸¹ Hornbæk, K. op. cit. (2005).

Hornbæk (2005)¹⁸² admite que a metodologia do seu estudo tem limitações mas conclui referindo, que apesar de mais de 20 anos de pesquisa neste campo, a prática corrente em medir a usabilidade sugere que a seleção das variáveis é complicada e as conclusões de muitos estudos de usabilidade são fracas pela escolha de medidas menos adequadas. O seu trabalho contém uma descrição pormenorizada da análise efetuada e as suas considerações conduzem a uma reflexão obrigatória, quando nos propomos investigar estes domínios. Há, segundo o autor, poucos estudos de usabilidade de produtos educacionais ou aplicados à educação e ensaios que contemplem o carácter estético das interfaces (beleza e usabilidade). Sobre o primeiro aspeto Squires e Preece (1999)¹⁸³ também têm a mesma opinião e apresentaram um conjunto de heurísticas, considerando uma visão sócio construtiva da aprendizagem, onde integram conceitos de usabilidade e aprendizagem. Sobre o segundo ponto encontramos em Tractinsky (2000)¹⁸⁴ uma experiência interessante onde, é testada a usabilidade de um sistema com foco nas perceções dos utilizadores em relação à estética da interface.

A primeira fase desta investigação não pretende ser explicitamente um estudo de usabilidade, mas a importância do conceito na conceção das interfaces obriga a uma metodologia de ensaio com relações implícitas.

4.5.2 Avaliação heurística de interfaces

A avaliação heurística é um método de análise da usabilidade de uma interface que recorre a avaliadores especialistas, ou não em usabilidade.

¹⁸² Hornbæk, K. op. cit. (2005).

¹⁸³ Squires, D., & Preece, J. (1999). Predicting quality in educational software: Evaluating for learning, usability and the synergy between them. *Interacting with Computers*, 11, 467-483.

¹⁸⁴ Tractinsky, N., Katz, A. S., & D. Icar. (2000). What is Beautiful is Usable. *Interacting with computers*, 13, 127-145.

Consiste em avaliar a conformidade da interface com parâmetros ergonómicos do tipo heurístico para eventualmente serem detetados problemas. Nielsen e Molich (1990)¹⁸⁵ propuseram inicialmente nove heurísticas e posteriormente Nielsen definiu mais uma, apresentadas no quadro 4-9.

Quadro 4-9 - As dez heurísticas segundo Nielsen e Molich

Heurísticas - Nielsen e Molich (1990)

1. Fornecer um diálogo simples e natural
 2. Empregar a linguagem do utilizador
 3. Minimizar a necessidade de memorização (*memory load*)
 4. Ser coerente
 5. Fornecer retroação (*feedback*)
 6. Fornecer meios explícitos de controlo de diálogo
 7. Fornecer atalhos (*shortcuts*)
 8. Fornecer mensagens de erro explicitas
 9. Prevenir erros
 10. Possuir um sistema de ajuda e documentação
-

Shneiderman (1998)¹⁸⁶ definiu oito “*regras de ouro*” para a avaliação de interfaces que apresentamos no quadro 4-10.

¹⁸⁵ Nielsen, J., & Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Empowering people Seattle, Washington, United States

¹⁸⁶ Shneiderman, B. op. cit. (1998).

Quadro 4-10 - As oito regras de ouro segundo Shneiderman

Regras de ouro – Shneiderman (1998)

1. Oferecer *feedback* informativo
 2. Oferecer diálogos após sequências de tarefas
 3. Reduzir a carga da memória de curto prazo
 4. Manter com o utilizador o foco de controlo
 5. Fornecer atalhos para utilizadores experientes
 6. Prevenir e tratar os erros de forma adequada
 7. Permitir fácil reversão de ações (*undo* 's)
 8. Manter a consistência
-

A avaliação heurística é realizada individualmente por cada avaliador. Nielsen (1994)¹⁸⁷ descreve o método para conduzir uma avaliação deste tipo, apontando todos os procedimentos a seguir.

4.5.3 Avaliação ergonómica de interfaces

A avaliação ergonómica consiste em verificar se as regras ergonómicas foram respeitadas para a aplicação em causa. Estas regras baseiam-se nas recomendações formuladas por Scapin (1991)¹⁸⁸ apresentadas no quadro 4-11.

¹⁸⁷ Nielsen, J. (1995). *How to Conduct a Heuristic Evaluation* [em linha]. Nielsen Norman Group Web site. Acedido maio 9, 2012 em <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>

¹⁸⁸ Scapin D. (1993). Validation des critères ergonomiques pour l'évaluation d'interfaces utilisateurs. (Rapport de Recherche No. 1427).INRIA.

Quadro 4-11 – Regras ergonómicas segundo Scapin

Regras ergonómicas – Scapin (1993)

1. Oferecer condução
 2. Minimizar a carga de trabalho
 3. Oferecer o controlo explícito
 4. Ser adaptável
 5. Permitir gestão de erros
 6. Manter a consistência
 7. Estabelecer um significado comum para códigos
 8. Ser compatível
-

Estas regras privilegiam uma lógica de utilização, ou seja, uma visão da aplicação do ponto de vista do utilizador que procura na aplicação um binómio interface-tarefa coerente, ao contrário da lógica de funcionamento verificada especialmente na estruturação dos sistemas elaborada a partir da visão dos engenheiros informáticos.

4.6 Ensino/aprendizagem das tecnologias CAD 3D

4.6.1 Antes do paradigma WIMP

Em Portugal, o ensino das tecnologias de projeto por computador, é relativamente recente. Não encontramos referências que nos permitissem estabelecer datas concretas, no entanto, o levantamento realizado por Beira e Menezes (2001)¹⁸⁹ e o testemunho do Engenheiro Queiroz da Fonseca na publicação Beira & Heitor (2004)¹⁹⁰, ao relatar a sua experiência no LNETI sobre a emergência do CAD/CAM e a instalação do primeiro sistema vocacionado para a demonstração e formação nesta tecnologia referem-se ao

¹⁸⁹ Beira, E., & Menezes, J. (2001). Inovação e indústria de moldes em Portugal: a introdução do CAD/CAM/CAE nos anos 80. *Mercados e negócios: Dinâmicas e estratégias* s(6b).

¹⁹⁰ Beira, E., & Heitor, M. (2004). *Memórias das tecnologias e dos sistemas de informação*. Braga: Associação Industrial do Minho; pp.227.

funcionamento de cursos de formação entre 1981 e 1988. A formação incidia essencialmente no projeto de circuitos eletrónicos 2D.

Como foi referido num capítulo anterior, em 1988, a convite do CENCAL¹⁹¹, o autor desenvolveu um projeto de implementação e formação em tecnologias CAD/CAM no sector cerâmico. Uma primeira fase passou pela identificação de semelhanças nos processos de conformação por moldes e madres na indústria dos plásticos, já com alguns sistemas CAD/CAM em funcionamento, para uma posterior transposição de tecnologias permitindo o aumento de produtividade através da redução dos ciclos de produção na fase de conceção dos moldes cerâmicos. Em 1988 foi estruturado um primeiro curso de “Operadores de CAD/CAM para a Indústria Cerâmica”, direcionado a jovens licenciados em engenharia onde a modelação 3D ocupava grande parte da carga horária.

Se situarmos a época na linha cronológica dos sistemas informáticos, apesar de já existirem no mercado computadores pessoais com as primeiras interfaces gráficas, o mundo do CAD 3D era outro. Necessitava de um poder de cálculo tal que só estações de trabalho bem apetrechadas permitiam o funcionamento das aplicações. O rato raramente se utilizava e as técnicas de manipulação direta de objetos eram muito rudimentares. A linha de comandos era o paradigma da interface de uma aplicação denominada DUCT, referida no capítulo anterior, desenvolvida pela empresa inglesa DELCAM. Baseado em algoritmos de Bézier, a complexidade era tal que, para desenhar uma circunferência, o operador deveria digitar os quatro pontos dos quadrantes e controlar os ângulos de entrada e saída para garantir a curvatura pretendida.

Para este tipo de aplicações, a aprendizagem inicial era demorada e apresentava aspetos complexos resultantes das limitações de uma interface que

¹⁹¹ Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica em Caldas da Rainha

exigia a memorização de uma quantidade significativa de comandos, dado a multiplicidade de operações a efetuar. A manipulação dinâmica dos objetos 3D já era possível mas pouco eficiente, o que exigia capacidades de abstração tridimensional e conhecimentos razoáveis de matemática e geometria que muitos alunos não possuíam no início dos cursos.

Poucos dos atributos de usabilidade propostos por Nielsen (1993)¹⁹² se aplicariam a esta interface concebida para apenas utilizadores experientes atingirem níveis de produtividade aceitáveis (gráfico 4-1).

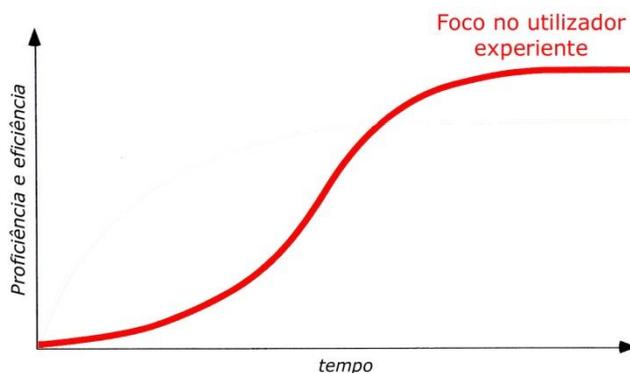


Gráfico 4-1 – Curva de aprendizagem para uma aplicação centrada no utilizador experiente. Adaptado de Nielsen (1993).

Que modelo educacional seria mais adaptado ao ensino de uma tecnologia tão particular?

A interface da aplicação e o paradigma de interação baseado em linha de comandos exigia, na fase inicial de aprendizagem, todos os inconvenientes descritos anteriormente no quadro 4-2:

- Memorização de comandos;

¹⁹² Nielsen, J. op. cit (1993). pp 115-163

- Aprendizagem demorada;
- Experiência de dactilografia;
- Compreensão de comandos sem significado para novos utilizadores;
- Compreensão de sintaxe particular difícil de compreender para novos utilizadores;
- Interpretação de mensagens de erro complexas.

Tudo isto, associado à especificidade da tecnologia, exigia projetos de instrução, materiais de apoio e recursos didáticos bem estruturados. Era fundamental a identificação das fases que caracterizavam a aprendizagem, para desenvolver tutoriais e estratégias de ensino sequenciais que a favorecessem.

Antes do paradigma WIMP, mesmo com um projeto de instrução bem elaborado, a aprendizagem era demorada e exigia muitas horas de prática para o aluno atingir níveis de autonomia considerados aceitáveis.

4.6.2 O paradigma de interface tipo WIMP

Lévy (1994)¹⁹³ considera que o aparecimento do computador Apple Macintosh, em 1984, desempenhou um papel fundamental na abrangência da informática ao referir que este:

“acelerou a integração da informática no mundo da comunicação, da edição e do audiovisual e permitiu a generalização do hipertexto e da multimédia interativa”.

Surgiu nesta época e com este modelo a primeira interface gráfica que permitia a qualquer utilizador interagir com a máquina de forma *“intuitiva e sensório-motora”*, dispensando em absoluto os códigos abstratos até então

¹⁹³ Lévy P. (1994). *As Tecnologias da Inteligência*. Lisboa. Instituto Piaget; pp. 61-70.

utilizados e que restringiam a técnicos especializados o uso das tecnologias informáticas.

Esta interface simulava no ecrã do computador o ambiente de um escritório. Fazendo deslizar o apontador eletrónico (o cursor do rato) sobre a superfície plana era possível indicar ideogramas (os ícones) que representavam os documentos, o caixote do lixo, pastas e instrumentos de desenho que ativados com uma ligeira pressão num botão desencadeavam ligações associativas, abrindo o interior das pastas, ou ações que permitiam desenhar e escrever. Enfim, o utilizador dispunha de diferentes vistas sobre as quais se desenrolava o seu trabalho, bastando-lhe abrir ou fechar as “janelas” visíveis no ecrã para passar de uma atividade para outra.

Esta lógica de interface remonta à década 60 quando Douglas Engelbart (1962)¹⁹⁴, diretor do Augmentation Research Center (ARC), menciona no relatório que:

"The system we want to improve can thus be visualized as a trained human being together with his artifacts, language, and methodology. The explicit new system we contemplate will involve as artifacts computers, and computer-controlled information-storage, information-handling, and information-display devices. The aspects of the conceptual framework that are discussed here are primarily those relating to the human being's ability to make significant use of such equipment in an integrated system."

O documento refere-se a uma filosofia de trabalho cooperativo que lançava as bases para uma estrutura de interface baseado em “janelas” de trabalho múltiplas, com símbolos gráficos que designariam complexos

¹⁹⁴ Engelbart, D. (1962). *Augmenting de Human Intellect: A Conceptual Framework*. Menlo Park, California: Stanford Research Institute.

informativos atuados por dispositivos eletrónicos e ligações associativas (hipertextuais) entre documentos. Outro aspeto fundamental era a utilização de gráficos dinâmicos para representar estruturas conceptuais que denotavam objetivos claros de articular entre si sistemas cognitivos humanos através de dispositivos eletrónicos.

Estas ideias, temos hoje a certeza, vinte anos depois, contribuíram para “*humanizar a máquina*”, tornar mais social a utilização da informática que se assumiu, segundo Lévy (1994)¹⁹⁵, como uma tecnologia intelectual deixando de ser apenas uma “*arte de automatização de cálculos*”.

4.6.3 Interfaces Gráficas de Utilizador

O projeto de interfaces de aplicações é hoje uma disciplina que envolve equipas multidisciplinares, a que Lévy (1994)¹⁹⁶ chamou arquitetos cognitivos (*cogníticos*), que têm em conta:

“as particularidades sensoriais e intelectuais da espécie humana, os hábitos adquiridos com as antigas tecnologias intelectuais, as práticas que se cristalizaram ao longo de séculos em torno de ordenamentos semióticos diversos, entre os quais se situa em primeiro lugar o idioma.”

Winograd (1996)¹⁹⁷ entende que a interface computacional atua no domínio da linguagem, operando a criação e manipulação de informação através de objetos simbólicos. A linguagem existe enquanto ação, enquanto é utilizada num processo de interpretação e comunicação. Há nestas ideias uma ligação com as teses de Vigotsky sobre os processos mentais que, segundo ele, são

¹⁹⁵ Lévy P. op. cit.(1994)

¹⁹⁶ Lévy P. ibidem (1994)

¹⁹⁷ Winograd, T. (1996). *Bringing Design to Software*. Stanford: Addison-Wesley.

mediados por sistemas simbólicos levando os indivíduos a agirem mentalmente com as representações simbólicas.

Uma interface bem concebida permite a compreensão rápida da sua interação e o utilizador desenvolve com facilidade o modelo mental da aplicação. A interface atua como um “*mediador cognitivo*”. Essa mediação dá-se através de uma ação global com múltiplos agentes, iniciada pelo utilizador com a manipulação direta da informação. Este termo “*direct manipulation*” foi introduzido por Shneiderman (1983)¹⁹⁸ que a define em três critérios:

- Uma representação contínua do objeto de interesse;
- Ações físicas através de botões e não por textos complexos;
- Impacto imediato na manipulação de “*objetos/ícones*”.

Estes “*objetos/ícones*” simulam objetos e ações reais e têm, por vezes, subjacentes conceitos complexos. A efetividade das interfaces gráficas depende muito da seleção e coerência na utilização dos signos visuais. Sobre esta questão Lévy (1997)¹⁹⁹ refere que:

“A imagem mental não pode ser limitada ao papel duma simples réplica da perceção. Ao permitir apreender sinteticamente um material complexo, e que se refira a objetos ausentes, desempenha uma função semiótica.”

Paivio (1969)²⁰⁰ analisa os processos simbólicos verbais e não verbais e considera que estes têm tanta importância, um como o outro, na aprendizagem associativa e memória de longo prazo. Aspeto que fundamenta a

¹⁹⁸ Shneiderman, B. (1983). Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages. *Computer* 16(8), 57-69.

¹⁹⁹ Lévy P. (1997). *Ideografia Dinâmica*. Lisboa. Instituto Piaget. p. 100

²⁰⁰ Paivio, A. (1969). Mental imagery in associative learning and memory. *Psychological review*, 76(3), 241-263.

necessidade de utilizar menus e indicações textuais como âncora para o utilizador.

Jolly (1999)²⁰¹, situando a análise da imagem no esquema proposto por Jacobson, refere que:

“... toda a mensagem requer primeiramente um contexto, também designado como referente; requer seguidamente um código pelo menos parcialmente comum ao destinador e ao destinatário; é também necessário um contacto, canal físico entre os protagonistas que permite estabelecer e manter a comunicação.”

Apesar da reconhecida iconicidade dos signos visuais das interfaces gráficas, com uma função denotativa (ou cognitiva, ou referencial) bem expressa que concentra o conteúdo da mensagem no essencial reconhece-se que, como refere Ernest Gombrich, citado por Jolly (1999)²⁰², os ícones podem ser também um instrumento de conhecimento porque servem para ver o próprio mundo e interpretá-lo. Alguns exemplos de ícones apresentam, intencionalmente, uma função expressiva dando um certo cariz subjetivo à mensagem. Neste estudo não se desenvolve esta questão, mas consideramos que esta situação pode permitir, ao nível da aprendizagem, aspetos positivos na construção do modelo mental facilitando posteriormente a operação em tarefas mais complexas.

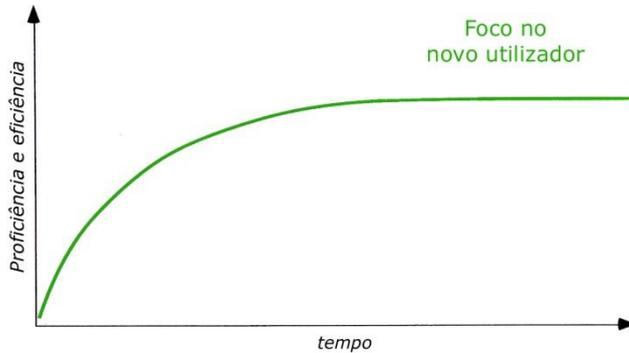
4.6.4 Enquadramento teórico do modelo “construtivista”

Atualmente as aplicações têm o mesmo grau, ou mais, de complexidade e a produtividade e proficiência continuam a ser os objetivos principais. As interfaces gráficas baseadas num modelo conceptual adequado

²⁰¹ Jolly M. (1999). *Introdução à análise da Imagem*. Lisboa. Edições 70; pp. 56-61.

²⁰² Jolly M. *ibidem* (1999).

são mais intuitivas e permitem, por isso, reduzir o tempo de aprendizagem na fase inicial.



**Gráfico 4-2 – Curva de aprendizagem para uma aplicação centrada no novo utilizador.
Adaptado de Nielsen (1993)**

Em design de produto o projeto 3D possui uma fase conceptual significativa. O designer não pretende usar a tecnologia apenas para introduzir dados. O seu fito é manipulá-los num processo iterativo de simulações até à convergência numa solução ótima de função e da forma.

Para dotar estes alunos de estruturas que permitam ir além da representação do conhecimento básico obtido por estímulos externos (aprendizagem tradicional), há que estimular o processamento cognitivo.

O aluno vai, numa fase inicial, utilizar individualmente a tecnologia. A interação é entre o estudante e a aplicação através da interface, e esta deve estar desenhada de modo a controlar e gerir a aprendizagem do aluno com pouca intervenção do professor. O paradigma educacional que sustenta este tipo de ensino é de inspiração cognitiva, com o foco na interação do aluno com as técnicas (conhecimento operacional) e nos ganhos cognitivos que daí advêm.

Podemos considerar o construtivismo como uma filosofia de aprendizagem fundamentada no cognitivismo, isto é, baseia-se na premissa de

que, ao refletir sobre as nossas experiências, construímos o nosso próprio conhecimento do mundo em que vivemos. Cada um de nós gera as regras e os modelos mentais que usa para tirar sentido da experiência. Aprender é simplesmente o processo de alterar os nossos modelos mentais para acomodar novas experiências. O modelo configura a componente prática do ensino das tecnologias de CAD 3D com a aplicação dos princípios e teorias construtivistas, orientadas pela psicologia cognitiva que enfatizam a exploração e a descoberta por parte de cada estudante durante o processo de aprendizagem.

O ensino à distância e as recentes abordagens à aprendizagem com base na interação têm encontrado fundamento nestas teorias. Swan (2005)²⁰³ questiona a importância do construtivismo cognitivo e considera-o essencial porque coloca a aprendizagem na mente do aluno e porque a define como um processo ativo da construção mental ligado às interações com o ambiente. Recorda-nos a teoria dos estádios de Piaget, em que o conhecimento é construído de formas muito diferentes por indivíduos em estádios diferentes de desenvolvimento. De facto, a experiência pessoal diz-nos que, na aprendizagem de tecnologias CAD 3D, os alunos principiantes constroem o significado de forma muito diferente dos mais experientes. Para o investigador, o construtivismo cognitivo também considera, como Piaget, a relação entre os processos de assimilação e acomodação na construção mental, ligando assim toda a nova aprendizagem ao conhecimento pré-existente nos aprendentes.

Na análise de Swan (2005)²⁰⁴ o construtivismo cognitivo dá-nos a noção do conhecimento organizado internamente como esquemas mentais

²⁰³ Swan, K. (2005). A constructivist model for thinking about learning online. In J. Bourne & J. C. Moore (Eds), *Elements of Quality Online Education: Engaging Communities*. Needham: Sloan-C [em linha]. Acedido outubro 12, 2007 em <https://www.d.umn.edu/~kriordan/documents/elementsofqualityinonlineeducation/sloanconsortium.pdf>

²⁰⁴ Swan, K. *ibidem* (2005).

peculiares ao ser humano. O investigador refere-se a Minsk, Shank, Johnson-Laird e Quilian quando caracteriza os esquemas mentais como quadros que representam cenas particulares, como scripts que representam ações complexas, como modelos mentais que representam casualidades e como redes semânticas que representam relações entre ideias. Considera que estas caracterizações dizem algo sobre as formas como os alunos organizam e constroem naturalmente o conhecimento.

Numa linha idêntica Papert (1993)²⁰⁵ criou o termo "constructionismo" para distinguir o seu foco particular do construtivismo que *“attaches special importance to the role of constructions in the world as a support for those in the head”*²⁰⁶ do construtivismo cognitivo o que torna as teorias de Papert e outros construcionistas como diSessa (2000)²⁰⁷ fundamentais, já que se relacionam especificamente com o tipo de construção suportado pelas tecnologias interativas.

Tal com Swan (2005)²⁰⁸, citamos o trecho de diSessa (2000)²⁰⁹ que traduz a ideia de que os construcionistas encontram nos computadores a capacidade original para representar ideias abstratas em modelos concretos e flexíveis.

“Computers can be the technical foundation of a new and dramatically enhanced literacy,...which will have penetration and depth of influence comparable to what we have already experienced in coming to achieve a mass, text-based literacy.”

²⁰⁵ Papert, S. (1993). *The Children's Machine*. New York: Basic Books. p. 142

²⁰⁶ Papert, S. *ibidem* (1993).

²⁰⁷ diSessa, A. (2000). *Changing Minds. Computers, Learning, and Literacy*. Cambridge: MIT Press; p. 4.

²⁰⁸ Swan, K. *ibidem* (2005).

²⁰⁹ diSessa, A. *ibidem* (2000).

Em design, as tecnologias de CAD 3D orientam-se para a construção do conhecimento através da realização de uma ação concreta, que resultará num produto palpável, baseada numa interação aluno-computador, mediada por uma interface. Há claramente uma motivação intrínseca nestes alunos, e Malone (1981)²¹⁰, defende que aquela motivação intrínseca é criada por três fatores: desafio, fantasia, e curiosidade. O desafio depende de atividades que envolvem resultados incertos, devido a níveis de complexidade variável, informação escondida ou comportamento aleatório. A fantasia depende das habilidades requeridas para a aprendizagem. A curiosidade pode ser despertada quando os aprendentes acreditam que as estruturas de conhecimento deles estão incompletas, em conflito ou são pouco consistentes. De acordo com Malone (1981)²¹¹, as atividades que motivam podem proporcionar aos estudantes um alcance mais vasto ou proporcionar um desafio com consequências recompensadoras.

Jonassen e Murphy (1993)²¹², quando se referem a ambientes de aprendizagem construtivistas, assumem que a construção de significado não depende da correspondência com o mundo mas estará dependente, isso sim, da compreensão do mundo por parte do aprendente. As suas estruturas mentais desempenharão assim um papel instrumental e essencial na interpretação de eventos, objetos e perspectivas do mundo externo e essas interpretações contêm uma base de conhecimento que é pessoal e individual.

²¹⁰ Malone, T. (1981). Towards a Theory of Intrinsically Motivating Instruction. *Cognitive Science*, 4, 333-369.

²¹¹ Malone, T. *ibidem* (1981).

²¹² Jonassen, D. H., & Roher-Murphy, L. (1999). Activity theory as a framework for *designing* constructivist learning environments. *ETR&D*, 47(1), 61-79.

Reeves (1998)²¹³ enumera uma série de considerações do uso dos computadores como instrumentos indutivos do processo cognitivo na educação e considera como vantagens destas ferramentas, que denomina cognitivas, quando aplicadas em ambientes construtivistas de aprendizagem, as seguintes:

- As tecnologias cognitivas permitem aos aprendentes desenhar representações próprias do conhecimento, em vez de se adaptarem a concepções concebidas por outros.
- As tecnologias cognitivas promovem uma aprendizagem ativa pelo próprio aprendente.
- As tecnologias cognitivas podem servir de suporte a profundos pensamentos reflexivos, necessários para uma aprendizagem efetiva.
- As tecnologias cognitivas apresentam duas espécies de efeitos cognitivos. Por um lado, aquele que se refere à relação cognitiva que resulta da parceria pessoa-computador: trata-se da aprendizagem com a tecnologia. Por outro lado, a aprendizagem a partir da tecnologia, que se refere ao potencial cognitivo que pode ser transferido posteriormente, sob a forma de capacidades e estratégias superiores.
- Em termos ideais, a resolução de problemas aplicando as tecnologias cognitivas, deve efetuar-se em contextos reais e os resultados esperados devem ser expressivos e motivadores para os alunos.
- Usar programas multimédia como tecnologias cognitivas, permite o desenvolvimento de muitas capacidades nos alunos, como é o caso

²¹³ Reeves, T. C. op. cit (1998).

do conhecimento da gestão de projetos e do pensamento ativo e reflexivo em cada situação.

- A pesquisa num ambiente construtivista, como se se tratasse de um grupo de trabalho real, com a contribuição e a partilha de saber de todos os elementos e com a tomada de consciência do próprio processo dinâmico de investigação, mostrou ter resultados muito positivos.

Encontram-se na Rede cada vez mais artigos que atestam a importância das teorias com ideal construtivista cognitivo no ensino das tecnologias CAD 3D. Referenciamos Clemons (2006)²¹⁴, Luo²¹⁵ (2006) e Powers (1999)²¹⁶ que revelam a preocupação e a necessidade dos professores em adotar novas abordagens neste tipo de ensino.

²¹⁴ Clemons, S. (2006). Constructivism pedagogy drives redevelopment CAD course: A case study. *Technology Teacher*, 65(5), 19-21.

²¹⁵ Luo, D. (2005). Using Constructivism as a teaching model for computer science. *The China Papers*.

²¹⁶ Powers, K. D., & Powers, D. T. (1999). *Making Sense of Teaching Methods in Computing Education*. Paper presented at the Frontiers in Education Conference.

CAPÍTULO 5

1ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - ANÁLISE DE

INTERFACES

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS

5. 1ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - ANÁLISE DE INTERFACES

5.1 Metodologia de análise de dados - Considerações gerais

Como se referiu no capítulo 4, esta 1ª fase da investigação consistiu no reaproveitamento dos dados de ensaios de interação realizados numa pesquisa anterior²¹⁷, onde o objetivo era determinar se a tipologia de modelação 3D e a interface conceptual do software CAD influenciava a curva de aprendizagem dos alunos. Como se pode constatar no artigo de Mateus (2008)²¹⁸, apesar dos resultados obtidos permitirem retirar algumas conclusões, por recurso à estatística descritiva, considerámos efetuar, no contexto do presente trabalho, estudos de inferência que nos garantissem a validação das hipóteses colocadas.

Para situar a análise, na primeira parte deste capítulo faz-se a recapitulação dos pontos fundamentais da metodologia seguida no estudo supramencionado.

5.2 Perfil da população

O processo de recolha de informação foi integralmente desenvolvido na Escola Superior de Artes e Design, em Caldas da Rainha, que disponibilizou as condições materiais e humanas exigidas ao projeto. Os laboratórios de informática, equipados com os recursos físicos e software 3D, permitiram manter os alunos dos cursos de design num ambiente que lhes era familiar.

²¹⁷ Mateus, J. op. cit. (2007).

²¹⁸ Mateus, J., & Ortuño, B. H. (2008). *Tecnologías CAD en Design. La interfaz gráfica y el aprendizaje*. Paper presented at the Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, València.

Seleccionámos como população as diversas licenciaturas de design a funcionar na escola.

A justificação desta escolha resulta de aspetos funcionais e de oportunidade temporal que possibilitaram gerir, sem condicionalismos operacionais, o caso em estudo:

- É nesta fase curricular que funcionam as disciplinas de projeto 3D por computador referidas no problema a investigar;
- É nestas turmas que o investigador é professor, estando naturalmente integrado nos grupos em análise;
- O estudo, pelos seus objetivos, inseriu-se nas disciplinas de Computação Gráfica e CAD I o que permitiu a sua realização quase sem acréscimo de tempo aos alunos, nem sessões extra que perturbassem o normal desenrolar das aulas;
- O facto dos alunos saberem que, mais tarde, utilizariam como ferramentas de projeto 3D as aplicações em teste funcionou como motivação adicional para a sua participação;
- O desenvolvimento programático destas disciplinas permitiu integrar e gerir temporalmente todas as atividades necessárias ao projeto;
- Todos os alunos se encontram numa fase idêntica de aprendizagem nas aplicações de projeto 3D.

Apesar de, numa primeira análise, a população constituída pelos alunos das licenciaturas referidas nos garantir, em termos de passado educacional, motivação para o design, idade e nível cultural muito semelhantes, para nos certificarmos da homogeneidade da amostra a seleccionar efetuámos a oitenta e oito alunos (cerca de 95% da totalidade dos alunos inscritos nas licenciaturas referidas) um inquérito sobre o percurso curricular e literacia informática.

5.3 Caracterização da população

Além da caracterização da população em termos de idade, sexo e formação base do ensino secundário, considerámos fundamental conhecer as competências e habilidades nos domínios da matemática, geometria e informática que eventualmente influenciariam o desempenho dos alunos durante a execução das tarefas programadas.

Face à situação que pretendíamos analisar considerámos como características de equidade para o nosso estudo as seguintes:

- Idade;
- Sexo;
- Percurso curricular na área da matemática e desenho;
- Percurso curricular na área da informática;
- Experiência com computadores e interfaces gráficas;
- Pouca experiência em projeto 3D por computadores;
- Motivação;
- Atitude.

A análise dos dados do inquérito levou-nos a concluir que a população, em estudo, não apresentava assimetrias em domínios que eventualmente provocassem enviesamento dos dados a obter, e admitimos que qualquer aluno estaria em condições de pertencer à amostra.

Solicitámos a participação voluntária de 30 alunos que, após as explicações necessárias, se comprometeram a participar em duas sessões com a duração de aproximadamente uma hora cada.

Caracterizamos a amostra como “de opinião” e admitimos à partida que poderia haver um ajustamento contínuo da amostra, garantindo sempre as condições definidas para as unidades de análise.

5.4 Desenho metodológico

5.4.1 Ensaios de interação

O modelo da investigação comportou a utilização de técnicas diretas para recolha de dados empíricos.

No teste foram utilizadas programas de CAD tipologicamente distintos: o SolidWorks direcionado para modelação paramétrica e o 3DStudio MAX caracterizado por técnicas de modelação direta²¹⁹.

O trabalho de campo consistiu em três sessões com cada grupo obedecendo a uma planificação estruturada da seguinte forma:

- Sessão de preparação dos alunos (30 minutos);
- 1ª Sessão de trabalho (1 hora) para aprendizagem da aplicação e execução de uma tarefa exploratória. Alternadamente cada grupo de 15 alunos trabalharia com o *3D Studio MAX*;
- 2ª Sessão de trabalho (1 hora) para aprendizagem da outra aplicação e execução de uma tarefa exploratória. Alternadamente cada grupo de 15 alunos trabalharia com o *SolidWorks*;

Com o decorrer do processo fomos obrigados a efetuar ajustamentos à planificação inicial, de forma a agilizar procedimentos e adaptá-los às condições reais de disponibilidade das salas, equipamentos e horário dos alunos.

Na sessão de preparação foram explicados os objetivos da investigação e todos os procedimentos operacionais e éticos inerentes ao projeto.

²¹⁹ Apesar do 3DStudio MAX também funcionar com parâmetros, neste estudo, apenas se testou a modelação através de primitivas simples e manipulação direta.

Na 1ª sessão, após uma breve explicação teórica levada a efeito pelo investigador abordando conceitos gerais de projeto 3D e de uma apresentação focalizada da interface da aplicação (30 minutos), cada aluno foi convidado a executar um projeto básico estruturado (uma composição tridimensional com formas geométricas formando um conjunto coerente) tentando atingir os objetivos operacionais:

- Reconhecer zonas específicas da interface;
- Reconhecer sistemas de coordenadas espaciais;
- Identificar tipos de primitivas;
- Criar objetos no espaço 3D;
- Orientar objetos nas diversas vistas 3D;
- Copiar objetos;
- Parametrizar e modificar objetos;
- Situar objetos coerentemente no espaço;
- Utilizar técnicas de visualização 3D;

No início da sessão, o investigador apresentou um objeto físico como base de trabalho.



Figura 5-1 – Modelo a executar pelos alunos

O modelo representado na figura 5-1 ficou acessível durante a sessão e todos os alunos o puderam manipular inteirando-se das formas a realizar. Foi ainda referido que este modelo serviria apenas como base de trabalho devendo, os alunos criar todos os elementos visíveis podendo, no entanto, alterar as formas e introduzir variantes.

Um anterior teste piloto, realizado pelo investigador, assegurou que 30 minutos seriam suficientes para a conclusão da tarefa e que as observações resultantes permitiriam uma análise efetiva dos dados.

Com base no artigo de Stone (2005)²²⁰ sobre usabilidade e estudos de Hamade (2005)²²¹ e Wiebe (1993)²²² com características idênticas ao nosso,

²²⁰ Stone, D., Jarret, C., Woodroffe, M., & Minocha, S. (2005). *User interface design and evaluation*. San Francisco: Morgan Kaufmann ,Elsevier Science.

optámos por utilizar a gravação do registo automático dos movimentos efetuados pelo utilizador durante a execução do projeto. Este método permitiria analisar posteriormente o comportamento interativo, sem necessitar de elementos estranhos para recolher os dados que, certamente, perturbariam as interações.

Durante a execução da tarefa o professor/investigador observou diretamente os grupos e registou os comportamentos relativos à não funcionalidade da interface, limitando a sua intervenção à resolução pontual de problemas operacionais.

O registo automático de movimentos de cada aluno foi codificado e guardado para posterior análise.

Os procedimentos da 2ª sessão foram idênticos aos da primeira, com uma apresentação focalizada da interface do *SolidWorks* (30 minutos) sem acentuar explicitamente as diferenças do modelo conceptual da interface em relação ao anterior.

Após a apresentação, cada aluno foi convidado a executar o mesmo projeto básico estruturado (uma composição tridimensional com formas geométricas formando um conjunto coerente) tentando atingir os mesmos objetivos operacionais da sessão anterior. Nesta sessão, o investigador forneceu um modelo digital do objeto como base de trabalho. Este modelo, identificador do objeto a modelar, foi disponibilizado a todos e podia ser acedido e

²²¹ Hamade, R. F., Artail, H. A., & Jaber, M. Y. (2005). Evaluating the learning process of mechanical CAD students. *Computers & Education*, 49, 640-661.

²²² Wiebe, E. (2003). Transfer of Learning Between 3D Modeling Systems. *Engineering Design Graphics Journal*, 67(3), 15-28.

manipulado dinamicamente sempre que o aluno o entendesse, facilitando a visualização das formas.

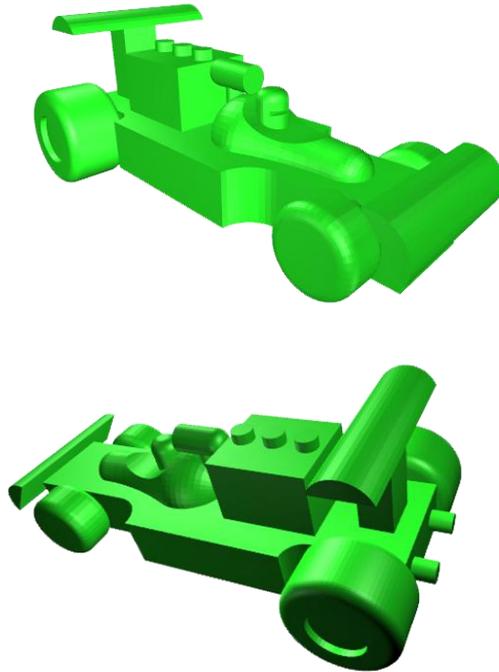


Figura 5-2 – Modelo digital interativo

Foi novamente referido que este modelo serviria apenas como base, devendo os alunos tentar criar todos os elementos visíveis podendo, no entanto, alterar as formas e introduzir variantes.

Como na primeira sessão, durante a execução da tarefa o professor/investigador observou diretamente o grupo, registou os comportamentos relativos à não funcionalidade da interface, limitando a sua intervenção à resolução pontual de problemas operacionais.

Como anteriormente, o registo automático de movimentos, de cada aluno ao executar a tarefa foi guardado para posterior análise.

5.5 Metodologia de análise de dados – registo automático de movimentos

Ao selecionarmos os registos automáticos de movimentos como instrumento fundamental de observação sabíamos que, embora este recurso nos possibilite verificar o que o utilizador faz, não permite analisar o motivo que desencadeou o procedimento sendo a vertente qualitativa particularmente importante para completar esses registos.

Neste estudo definimos eficiência da interface como o espaço de tempo entre o início da aprendizagem (utilização da aplicação) e um ponto onde o aluno adquiria autonomia suficiente para desenvolver projetos conceptuais não orientados. Centrámos-nos no período de tempo (30 minutos) que os alunos tiveram para executar a tarefa proposta e registámos uma série de ocorrências comportamentais, na tentativa de obter curvas de aprendizagem e intervalos de autonomia significativos.

As interfaces gráficas proporcionam ao utilizador diferentes níveis de interação. No caso dos programas 3D baseados na interface WIMP, considerámos operacionalidades distintas referentes à construção, modificação, manipulação e visualização dos objetos no espaço 3D. O nosso estudo consistiu em determinar a autonomia dos alunos em cada uma destas vertentes para cada uma das interfaces.

Para a construção de objetos, as interfaces gráficas dispõem de zonas específicas que o aluno teve de identificar para posteriormente aplicar conhecimentos geométricos e técnicas interativas que "materializassem" a forma pretendida no espaço tridimensional. Por exemplo, no *3D Studio MAX*, para criar uma esfera, após ativar uma vista 3D, o aluno teria de selecionar a operação (menu ou painel), posicionar o cursor no ecrã manipulando o dispositivo apontador, premir o botão adequado para referenciar o centro e

arrastá-lo para definir o raio. No caso do *SolidWorks* a mesma tarefa implica procedimentos distintos. O aluno deveria escolher um plano (selecionando-o no ecrã ou no painel), apontar a posição do centro premindo o botão esquerdo, criar em 2D um semicírculo e finalmente aplicar uma operação 3D de revolução onde teria de indicar o eixo de revolução. Este exemplo permite diferenciar a tipologia construtiva das aplicações e traduzir a complexidade das interações e a carga cognitiva envolvida mesmo num nível básico de modelação 3D.

Na modificação, a colocação coerente dos objetos, o dimensionamento e a visualização implicam interações constantes com a manipulação direta de objetos, o preenchimento de formulários e técnicas particulares de gestão do dispositivo apontador.

Cada registo automático de movimentos, além de mostrar os níveis de consecução da tarefa ao longo do tempo, apresentava uma quantidade tal de variáveis comportamentais possíveis de analisar que sentimos necessidade de compartimentar a observação, diferenciando aspetos relativos ao reconhecimento da interface, à operacionalidade na construção, modificação, manipulação e visualização.

Para cada uma destas vertentes foram estabelecidas grelhas de observação genéricas para cada uma das interfaces, apenas com variações pontuais exigidas pelo modelo conceptual das mesmas, e definidos os comportamentos a observar e registadas todas as ocorrências e consideradas relevantes para a investigação.

5.5.1 Operacionalidade na construção de objetos

O quadro 5-1 sintetiza o conjunto dos comportamentos mais significativos que diferenciámos aquando da análise do registo de movimentos, para esta vertente.

Quadro 5-1 – Comportamentos a observar na dimensão da construção de objetos

Comportamentos analisados

Seleciona plano de construção*

Tem dificuldade em perceber lógica de construção de objetos

Tem dificuldade em perceber lógica de construção de objetos 2D*

Tem dificuldade em perceber lógica de construção de objetos 3D*

Identifica e aplica as operações adequadas

Identifica e aplica as operações adequadas 2D*

Identifica e aplica as operações adequadas 3D*

Preenche parâmetros pedidos por formulários

Coloca valores coerentes nos formulários

Reajusta parâmetros

5.5.2 Operacionalidade na modificação de objetos

O quadro 5-2 sintetiza o conjunto dos comportamentos mais significativos que diferenciámos aquando da análise do registo de movimentos, para esta vertente.

Quadro 5-2 – Comportamentos a observar na dimensão de modificação de objetos

Comportamentos analisados

Utiliza painel para modificação de parâmetros
Preenche parâmetros pedidos por formulários
Coloca valores coerentes nos formulários
Efetua cópia de objetos
Revela preocupações com a colocação espacial dos objetos
Posiciona incorretamente os objetos
Retifica posição mais tarde
Revela dificuldade em apagar objetos
Dificuldade em perceber a lógica da modificação

5.5.3 Operacionalidade na manipulação dinâmica de objetos

O quadro 5-3 sintetiza o conjunto dos comportamentos mais significativos que diferenciámos aquando da análise do registo de movimentos, para esta vertente.

Quadro 5-3 – Comportamentos a observar na dimensão da manipulação de objetos

Comportamentos analisados

Realiza interactivamente translações
Tem dificuldade em escolher direcção adequada
Realiza interactivamente rotações
Tem dificuldade em escolher eixo adequado
Realiza corretamente alterações de escala
Tem dificuldade em ajustar escala

5.5.4 Recurso a técnicas de visualização 3D

O quadro 5-4 sintetiza o conjunto dos comportamentos mais significativos que diferenciámos aquando da análise do registo de movimentos, para esta vertente.

Quadro 5-4 – Comportamentos a observar na dimensão da visualização 3D

Comportamentos analisados

Utiliza vistas múltiplas de forma coerente na construção e modificação de objetos

Seleciona com facilidade vista de trabalho adequada

Revela dificuldade na seleção de vistas

Revela dificuldade na interpretação da posição dos objetos nas vistas

Cria objetos na vista 3D

Utiliza técnicas de visualização 3D de forma coerente

Utiliza técnicas de visualização (*zoom* e *pan*)

Utiliza botões do dispositivo apontador para operações de visualização

Revela sensação de perdido no espaço

5.6 Metodologia de registo e análise de dados

Para cada uma das grelhas de observação foram registadas todas as ocorrências e, em simultâneo, estabelecemos os pontos de autonomia que permitissem o desenho das curvas de aprendizagem para cada uma das vertentes de operacionalidade:

- Autonomia na construção de objetos (Acon);
- Autonomia na modificação de objetos (Amod);
- Autonomia na manipulação de objetos (Aman);
- Autonomia na visualização 3D (Avis).

A questão prendia-se com a determinação de um instante a partir do qual o aluno seria considerado autónomo, executando a tarefa ou utilizando técnicas interativas sem hesitações. Não nos pareceu possível quantificar exatamente o instante pelo que optámos por definir intervalos de cinco minutos, estabelecer competências chave em cada campo de observação, arbitrar um valor para o número de ações bem sucedidas e registar esse intervalo. Se mais tarde, durante a observação, se verificassem retrocessos o intervalo seria reformulado.

Como exemplo de aplicação, apresentamos os dados relativos à análise dos registos automáticos de movimentos de um grupo de 15 alunos com o *3D Studio MAX*.

Quadro 5-5 – Tabela de registo de intervalos de autonomia

	Alunos														
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
Autonomia na construção	15	20	15	15	20	20	25	20	15	15	20	20	25	15	20
Autonomia na modificação	15	20	10	15	20	20	30	25	15	10	20	20	25	15	20
Autonomia na manipulação	10	10	10	10	10	20	30	10	10	10	10	15	20	10	20
Autonomia na visualização	5	20	10	25	25	20	30	20	20	15	25	20	25	15	20

Por exemplo, verificamos que o aluno A2 atingiu a autonomia na construção aos 20 minutos, na modificação aos 20 minutos, na manipulação aos 10 minutos e na visualização aos 5 minutos.

O passo seguinte consistiu em reduzir, a tabela anterior determinando quantos alunos atingiram determinado tipo de autonomia em cada intervalo.

Quadro 5-6 – Tabela síntese de intervalos de autonomia

t	Acon	Amod	Aman	Avis
5	0	0	0	1
10	0	2	10	1
15	6	4	1	2
20	7	6	3	6
25	2	2	0	4
30	0	1	1	1

Do quadro 5-6 resulta que, aos 15 minutos, atingiram autonomia na construção 6 alunos, na modificação 4 alunos, na manipulação 1 aluno e na visualização 2 alunos.

Para determinar o número total de alunos que se situavam num patamar de autonomia houve que adicionar os que a tinham atingido antes. Então, efetuámos a tabela com os valores acumulados.

Quadro 5-7 – Tabela síntese de intervalos de autonomia com os valores acumulados

t	Acon	Amod	Aman	Avis
5	0	0	0	1
10	0	2	10	2
15	6	6	11	4
20	13	12	14	10
25	15	14	14	14
30	15	15	15	15

Do quadro 5-7 resulta que, aos 15 minutos atingiram autonomia na construção 6 alunos, na modificação 6 alunos, na manipulação 11 alunos e na visualização 4 alunos.

Quadro 5-8 – Tabela síntese de intervalos de autonomia com os valores acumulados em valores percentuais

t	Acon	Amod	Aman	Avis
5	0,0%	0,0%	0,0%	6,7%
10	0,0%	13,3%	66,7%	13,3%
15	40,0%	40,0%	73,3%	26,7%
20	86,7%	80,0%	93,3%	66,7%
25	100,0%	93,3%	93,3%	93,3%
30	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Do quadro 5-8 podemos inferir que aos 20 minutos mais de 80% dos alunos tinham atingido autonomia na modificação de objetos (**Amod**), na construção de objetos (**Acon**), na manipulação de objetos (**Aman**) e neste período 67% atingiram autonomia na visualização (**Avis**).

Da tabela referente ao quadro 5-8 resultou o gráfico 5-1:

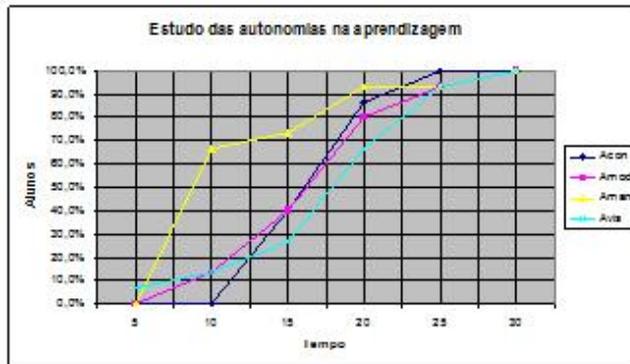


Gráfico 5-1 – Estudo gráfico das autonomias na aprendizagem com o 3D Studio MAX

A análise dos dados obtidos permitiram de uma forma qualitativa inferir aspetos da evolução da aprendizagem e domínio da interface ao longo do tempo e a comparação gráfica efetuada entre as duas interfaces testadas produziu conclusões que, quanto a nós, atestam a importância da comunicabilidade do modelo conceptual da interface e da filosofia construtiva neste tipo de aplicações.

5.7 Análise de resultados

5.7.1 Considerações iniciais

Recordamos que estudo foi integralmente desenvolvido na Escola Superior de Artes e Design em Caldas da Rainha que disponibilizou as condições materiais e humanas exigidas ao projeto.

Os ensaios de interação decorreram nos laboratórios de informática equipados com os recursos físicos necessários e foram selecionadas duas aplicações de projeto 3D: uma direcionada para a modelação paramétrica, o *SolidWorks*, e outra para a modelação mais flexível, o *3D Studio MAX*.

A amostra participante constituiu-se então por 30 alunos provenientes das licenciaturas dos cursos de Design.

No ensaio de interação com o *3D Studio MAX* compareceram os 30 alunos; com o *SolidWorks*, 24 alunos. No total foram realizados 54 ensaios de interação.

O desenho metodológico dos ensaios decorreu como o previsto. Optámos pela gravação do registo automático dos movimentos efetuados pelos alunos que, posteriormente, permitiu analisar o comportamento interativo sem necessitar de recorrer a elementos estranhos à investigação.

A análise proporcionou uma diversidade de situações que possibilitou efetuar um conjunto de estudos analíticos e gráficos que consideramos caracterizadores do caso em estudo facultando interpretações qualitativas que conduziram a resultados que, quanto a nós, clarificam as questões colocadas à partida e permitem abrir novas linhas de investigação, alargando a amostra e aumentando a complexidade do teste proposto..

5.7.2 Autonomias na aprendizagem

Ao iniciarmos este estudo interrogávamo-nos sobre a influência das interfaces na aprendizagem de tecnologias de projeto 3D cuja eficiência, apesar de apresentarem estruturas semióticas idênticas, em termos de aprendizagem parecia, numa observação casual, variar. Definimos eficiência como o período de tempo entre o início da aprendizagem e um ponto onde o aluno adquiria autonomia suficiente para desenvolver projetos conceptuais não orientados.

Apresentámos anteriormente, ao abordarmos o ensino das tecnologias, o conceito de curva de aprendizagem, proposto por Nielsen (1993)²²³, onde a autonomia de que falamos está bem definida nos gráficos 5-2 e 5-3.

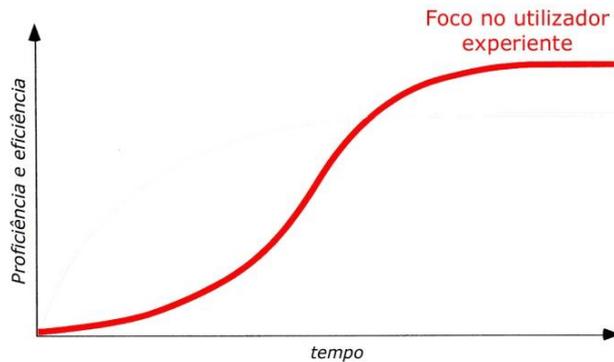


Gráfico 5-2 – Curva de aprendizagem para uma aplicação centrada no utilizador experiente. Adaptado de Nielsen (1993)²²⁴.

²²³ Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston ; London: Academic Press.

²²⁴ Nielsen, J. *ibidem* (1993).

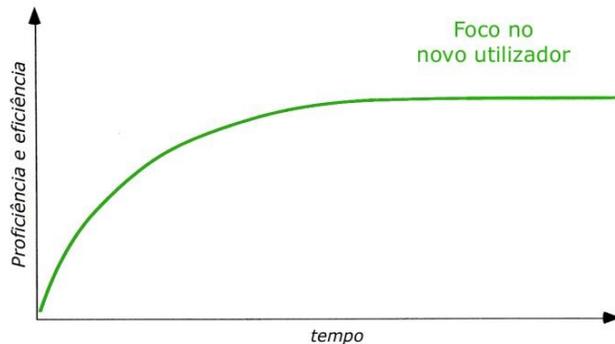


Gráfico 5-3 – Curva de aprendizagem para uma aplicação centrada no novo utilizador.
Adaptado de Nielsen (1993)²²⁵

Todo o desenho metodológico do estudo se dirige à questão da autonomia na aprendizagem. Da observação do registo automático de movimentos determinámos quatro autonomias distintas para este tipo de aplicações: na construção dos objetos (**Acon**), na modificação dos objetos (**Amod**), na manipulação dinâmica dos objetos (**Aman**) e na visualização (**Avis**).

5.7.3 Análise global

Após definição de categorias de análise e redução dos dados, processo descrito no ponto 5.6, obtivemos diferentes curvas de aprendizagem que procuramos interpretar recorrendo aos gráficos resultantes dos estudos efetuados.

Quadro 5-9 – Estudos gráficos efetuados

Autonomias - Análises gráficas efetuadas

Conjunto dos grupos - *3D Studio MAX*

Conjunto dos grupos - *SolidWorks*

²²⁵ Nielsen, J. op. cit. (1993).

5.7.3.1 Conjunto dos grupos - 3D Studio MAX

Durante os 30 minutos do teste, em intervalos de 5 minutos, determinámos a percentagem de alunos que atingiam a autonomia em cada vertente do estudo. Desta observação determinaram-se os valores apresentados no quadro 5-10 de onde resultaram as situações que passamos a reportar.

Quadro 5-10 – Conjunto dos grupos - 3D Studio MAX

t	CONJUNTO DOS GRUPOS			
	Acon	Amod	Aman	Avis
5	0,0%	0,0%	3,3%	3,3%
10	13,3%	23,3%	53,3%	16,7%
15	40,0%	43,3%	83,3%	30,0%
20	86,7%	70,0%	96,7%	76,7%
25	96,7%	93,3%	96,7%	96,7%
30	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Estudo das autonomias na aprendizagem (3DStudio MAX)

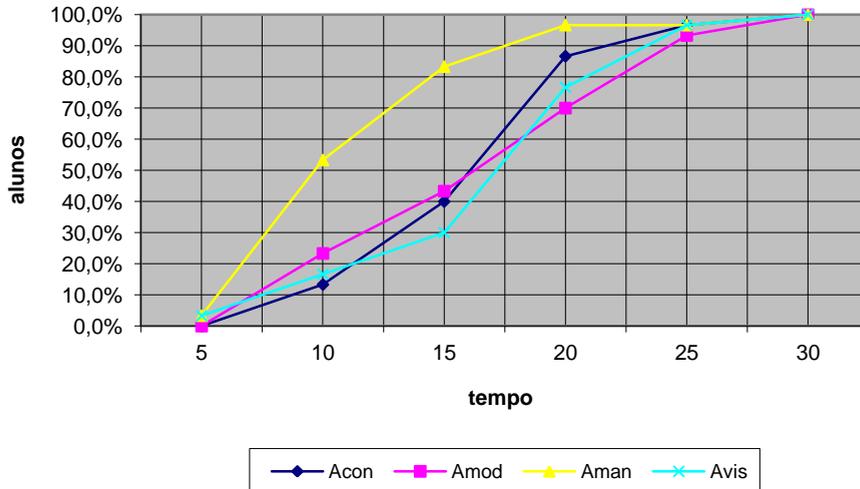


Gráfico 5-4 – Conjunto dos grupos - 3D Studio MAX

Da observação do gráfico 5-4, podemos considerar que a adaptação à interface foi muito boa, com mais de 70% dos alunos a utilizar regularmente todas as ferramentas (básicas) e a navegar naturalmente na interface antes dos 25 minutos.

As características de manipulação direta da interface permitiram autonomias consideráveis muito cedo. As curvas de aprendizagem refletem a facilidade com que os alunos se adaptaram ao funcionamento da interface.

Efetuada a analogia com o gráfico proposto por Nielsen (1993)²²⁶ podemos inferir que estamos perante uma interface centrada no utilizador se nos situarmos apenas na fase inicial de aprendizagem.

Neste caso, com o *3DStudioMAX*, temos de considerar que apenas testámos a técnica de modelação por primitivas simples e manipulação direta. A nossa experiência diz-nos que a exploração de técnicas mais complexas exigirá um maior domínio da aplicação e será normalmente demorada e exigindo muita prática.

5.7.3.2 Conjunto dos grupos– *SolidWorks*

Da mesma forma, durante os 30 minutos do teste, em intervalos de 5 minutos, determinámos a percentagem de alunos que atingiam a autonomia em cada vertente do estudo. Desta observação determinaram-se os valores apresentados no quadro 5-11 de onde resultaram as situações que passamos a reportar.

²²⁶ Nielsen, J. op. cit. (1993)

Quadro 5-11 –Conjunto dos grupos - *SolidWorks*

t	CONJUNTO DOS GRUPOS			
	Acon	Amod	Aman	Avis
5	0,0%	0,0%	0,0%	8,0%
10	8,0%	0,0%	0,0%	40,0%
15	20,0%	8,0%	8,0%	68,0%
20	52,0%	32,0%	20,0%	88,0%
25	92,0%	52,0%	56,0%	100,0%
30	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Estudo das autonomias na aprendizagem (*SolidWorks*)

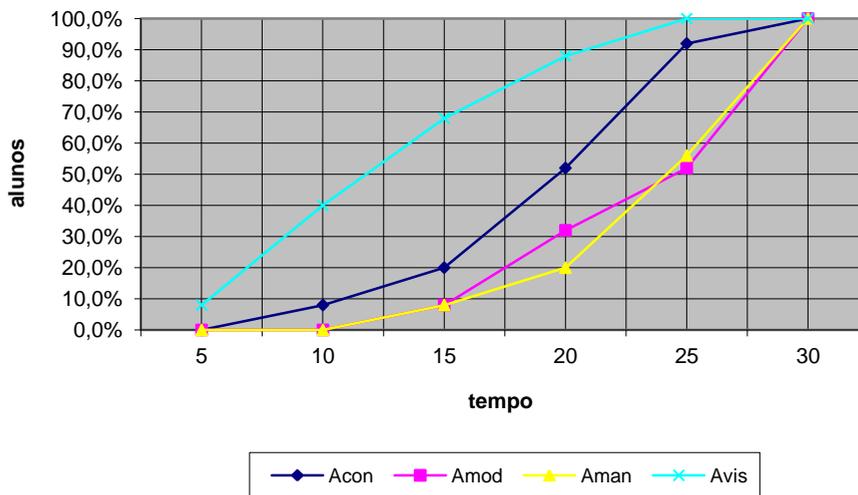


Gráfico 5-5 – Conjunto dos grupos– *SolidWorks*

Para o caso do *SolidWorks*, constatou-se uma adaptação à interface lenta, principalmente na modificação e manipulação de objetos. Aos 25 minutos pouco mais de 50% dos alunos atingiram níveis de autonomia nestas vertentes e muitos apresentaram dificuldades até ao final do teste.

Esta interface não possui características de manipulação direta tão evidentes o que, decerto, não permitiu as respetivas autonomias mais cedo. No caso da visualização dinâmica a curva de aprendizagem atinge os 90% aos 20 minutos.

Verificou-se, no entanto, uma progressão muito rápida entre os 25 e os 30 minutos provavelmente como resultado dum entendimento mais tardio da filosofia de construção de objetos.

Esta situação leva-nos a concluir que, além dos aspetos inerentes à interface, o modelo conceptual da aplicação também deve ser considerado na fase inicial de aprendizagem. Neste caso os alunos demoraram mais tempo a formar um modelo mental da aplicação que lhes permitisse executar as tarefas com tanta facilidade logo no início.

5.7.4 Tratamento dos dados

Após muitas horas de observação dos 54 registos automáticos de movimentos a determinar os tempos em cada um dos tipos de autonomia, codificámos as variáveis com o programa SPSS (versão 23) e efetuámos o seu tratamento estatístico respeitando todos os procedimentos exigidos para este tipo de investigação.

5.7.4.1 Verificação da fiabilidade dos dados

Para verificarmos a consistência interna dos nossos dados efetuámos o teste de fiabilidade, alfa de Cronbach, que determinou o valor de 0,78. Segundo Maroco (2006)²²⁷, este valor, para o nosso tipo de investigação, garante

²²⁷ Maroco, J., & Marques, T. G. (2006). Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas? *Laboratório de Psicologia*, 4(1), 65-90.

uma consistência aceitável dos resultados obtidos na determinação das autonomias na aprendizagem.

Quadro 5-12 – Matriz de correlação entre itens

	Autonomia na construção	Autonomia na modificação	Autonomia na manipulação	Autonomia na visualização
Autonomia na construção	1,000	,718	,562	,482
Autonomia na modificação	,718	1,000	,715	,364
Autonomia na manipulação	,562	,715	1,000	,090
Autonomia na visualização	,482	,364	,090	1,000

Como se verifica no quadro 5-12, as correlações entre as variáveis apresentam, na generalidade, valores superiores a 0,36 exceto para a "Autonomia na visualização" com um valor 0,09 com a "Autonomia na manipulação". A simulação de não inclusão desta variável no estudo não melhorava significativamente a fiabilidade dos dados, pelo que decidimos pela sua manutenção.

5.7.4.2 Verificação da normalidade da distribuição

Efetuada o teste de Kolmogorov-Smirnov (dimensão da amostra >20) verificou-se que nenhuma das variáveis seguia uma distribuição normal . A análise dos valores de significância (p-valores) presentes no quadro 5-13, obriga-nos a rejeitar as hipóteses correspondentes ao nível de significância 0.05.

Quadro 5-13 – Testes de normalidade das distribuições

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Autonomia na construção	,213	54	,000	,911	54	,001
Autonomia na modificação	,163	54	,001	,893	54	,000
Autonomia na manipulação	,188	54	,000	,871	54	,000
Autonomia na visualização	,220	54	,000	,921	54	,002

a. Correlação de Significância de Lilliefors

5.7.4.3 Estatísticas descritivas

Quadro 5-14 – Estatísticas descritivas

Software		Autonomia na construção	Autonomia na modificação	Autonomia na manipulação	Autonomia na visualização
3S STUDIO MAX	Média	18,17	18,50	13,33	18,83
	Mediana	20,00	20,00	10,00	20,00
	Desvio Padrão	4,822	6,318	4,971	5,676
	N	30	30	30	30
SOLIDWORKS	Média	21,46	25,21	25,83	15,00
	Mediana	22,50	25,00	25,00	15,00
	Desvio Padrão	5,413	5,209	4,815	5,898
	N	24	24	24	24
Total	Média	19,63	21,48	18,89	17,13
	Mediana	20,00	20,00	17,50	20,00
	Desvio Padrão	5,307	6,703	7,931	6,035
	N	54	54	54	54

Da análise dos valores das médias do quadro 5-14 podemos concluir que, como anteriormente se verificou, a interface do SolidWorks foi mais complicada, para os alunos exceto na visualização dinâmica. Nos processos de

construção, modificação e manipulação 3D, o *3DStudio MAX* permitiu melhores níveis de autonomia.

Registaram-se diferenças significativas nas médias e medianas entre as duas aplicações, principalmente na autonomia na modificação e manipulação de objetos.

5.7.4.4 Determinação do teste a utilizar

Segundo Maroco (2010)²²⁸, não estando garantidas as condições para efetuar testes paramétricos, o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis é o mais adequado para testar se duas ou mais amostras provém de populações com a mesma distribuição. No nosso caso pretendemos verificar se há relação entre os diversos tipos de autonomia, atingidos pelos alunos, em cada uma das aplicações de CAD 3D.

5.7.4.4.1 Teste de Kruskal-Wallis - Autonomia na Construção de Objetos

H0 - O nível de autonomia na construção de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 5-15 e 5-16:

Quadro 5-15 – Quadro de média das ordens (*Mean Ranks*)

	Software	N	Ordem Média
Autonomia na construção	3S STUDIO MAX	30	23,00
	SOLIDWORKS	24	33,13
	Total	54	

²²⁸ Maroco, J. (2010). *Análise Estatística: Com Utilização do SPSS* (3ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo.(p. 227)

Quadro 5-16 – Quadro de estatísticas de teste

	Autonomia na construção
Qui-quadrado	6,019
gl	1
Significância Assint.	,014

Perante o p-valor apresentado no quadro 5-16 (0.014), rejeitamos a hipótese nula de que o nível de autonomia na construção de objetos é o mesmo para as duas aplicações 3D.

5.7.4.4.2 Teste de Kruskal-Wallis - Autonomia na Modificação de Objetos

H0 - O nível de autonomia na modificação de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 5-17 e 5-18:

Quadro 5-17 – Quadro de média das ordens (*Mean Ranks*)

	Software	N	Ordem Média
Autonomia na modificação	3S STUDIO MAX	30	20,72
	SOLIDWORKS	24	35,98
	Total	54	

Quadro 5-18 – Quadro de estatísticas de teste

	Autonomia na modificação
Qui-quadrado	13,174
gl	1
Significância Assint.	,000

Perante o p-valor apresentado no quadro 5-18 (0.000), rejeitamos a hipótese nula de que o nível de autonomia na modificação de objetos é o mesmo para as duas aplicações 3D.

5.7.4.4.3 Teste de Kruskal-Wallis - Autonomia na Manipulação de Objetos

H0 - O nível de autonomia na manipulação de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 5-19 e 5-20:

Quadro 5-19 – Quadro de média das ordens (*Mean Ranks*)

	Software	N	Ordem Média
Autonomia na manipulação	3S STUDIO MAX	30	16,88
	SOLIDWORKS	24	40,77
	Total	54	

Quadro 5-20 – Quadro de estatísticas de teste

	Autonomia na manipulação
Qui-quadrado	32,221
gl	1
Significância Assint.	,000

Perante o p-valor apresentado no quadro 5-20 (0.000), rejeitamos a hipótese nula de que o nível de autonomia na manipulação de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D.

5.7.4.4.4 Teste de Kruskal-Wallis - Autonomia na Visualização de Objetos

H0 - O nível de autonomia na visualização de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 5-21 e 5-22:

Quadro 5-21 – Quadro de média das ordens (*Mean Ranks*)

	Software	N	Ordem Média
Autonomia na visualização	3S STUDIO MAX	30	31,87
	SOLIDWORKS	24	22,04
	Total	54	

Quadro 5-22 – Quadro de estatísticas de teste

	Autonomia na visualização
Qui-quadrado	5,562
gl	1
Significância Assint.	,018

Perante o p-valor apresentado no quadro 5-22 (0.018), rejeitamos a hipótese nula de que o nível de autonomia na visualização de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D.

5.7.5 Verificação de hipóteses

Na primeira fase da investigação analisámos o comportamento de alunos durante a execução de um projeto específico, numa etapa de aprendizagem inicial, perante duas aplicações com interfaces distintas: o *SolidWorks* e o *3DStudioMAX*. Concluímos que a hipótese que pretendíamos verificar implicava a análise de quatro diferentes aspetos de autonomias que influenciavam a proficiência dos alunos durante a execução do projeto: a construção, a modificação, a manipulação e a visualização de objetos.

H1. A interface das aplicações de CAD 3D influencia a curva de aprendizagem dos alunos.

Foram efetuadas quatro observações distintas para cada registo automático de movimentos, cada uma delas, incidindo no tipo de autonomia a estudar. Da hipótese principal resultaram quatro hipóteses relacionadas:

H1.1 - O nível de autonomia na construção de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D.

H1.2 - O nível de autonomia na modificação de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D.

H1.3 - O nível de autonomia na manipulação de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D.

H1.4 - O nível de autonomia na visualização de objetos é o mesmo para as duas aplicações CAD 3D.

Depois de verificadas as condições de aplicação de testes paramétricos, as características da distribuição, levaram-nos a realizar o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Este teste foi conduzido de forma a avaliar as diferenças entre os níveis de autonomia atingidos pelos alunos na utilização das duas aplicações de CAD 3D em estudo. O teste apresentou diferenças estatisticamente significativas para todos os tipos de autonomia.

Para a situação descrita, confirma-se a hipótese de que a interface das aplicações de CAD 3D influencia a curva de aprendizagem dos alunos.

CAPÍTULO 6

2ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - INQUÉRITO

PROTOTIPAGEM DIGITAL

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS

6. 2ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - INQUÉRITO

6.1 Metodologia de análise de dados - Considerações gerais

Com base em estudos já desenvolvidos, nomeadamente Westermeyer (2008)²²⁹ e Pache (2004)²³⁰ e informações resultantes de pesquisa bibliográfica, foi elaborado um inquérito abrangente que, após tratamento estatístico dos dados, permitiu efetuar a abordagem prevista sobre a importância e o papel da prototipagem digital no contexto do Design de Produto e a verificação das hipóteses colocadas.

Pretendia-se um instrumento claro e incisivo que permitisse medir os objetivos propostos e testar as hipóteses formuladas. Determinaram-se 19 questões que considerámos suficientes para permitir uma análise estatística consistente.

6.1.1 O inquérito

Como já foi referido, um dos objetivos centrais do presente estudo era conhecer a perceção e a valoração de alunos de design e designers sobre a importância e o papel da prototipagem digital no contexto do design de produtos industriais. Para coletar dados quantitativos sobre este tema, que abrangesse um número razoável e diversificado de inquiridos, utilizou-se a

²²⁹ Westermeyer, J. C. B. (2008). *La Metodología Sistemica y el Rol del Boceto en el Diseño Conceptual de Productos Industriales*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, València, España.

²³⁰ Pache, M. W. (2004). *Sketching for Conceptual Design – Empirical Results and Future Tool*. München: Verlag Dr. Hut.

plataforma de inquéritos do Instituto Politécnico de Leiria. Partilhou-se respetiva ligação com o Centro Português de Design e contactou-se pessoalmente com as direções de um conjunto significativo de instituições de ensino de Design em Portugal e no estrangeiro, solicitando-se que convidassem os seus alunos e ex-alunos a responder. Em simultâneo, o mesmo inquérito, foi respondido parcialmente por alunos finalistas da ESAD.CR dos cursos de Design Industrial e Produto. Parte destes alunos deram a sua contribuição nas diversas etapas do presente trabalho.

6.1.2 A amostra

O inquérito esteve disponível durante o período de tempo que definimos para o acompanhamento da unidade curricular que funcionou como objeto de análise nesta investigação e que caracterizamos, em pormenor, no capítulo 7. Com a divulgação na Internet e com os contactos efetuados esperávamos um maior número de respostas, principalmente de países com importantes escolas de Design.

Obtivemos um total de 615 respostas ao inquérito; seleccionámos 554 dado que considerámos, tendo em conta os objetivos do estudo, apenas respondentes de cursos com afinidades a Design Industrial e Design de Produto.

Como se poderá verificar pela apresentação dos dados, apesar da amostra se considerar significativa, a análise efetuada será apenas válida para este conjunto particular.

6.1.3 Caracterização da amostra global

Em primeiro lugar caracterizou-se a amostra populacional dos participantes na investigação. Para isso foi efetuada a análise global de frequências das variáveis indicadas no quadro seguinte:

Caraterização da amostra

Situação profissional

Género

Idade

País de origem

Nível de formação

6.1.3.1 Situação profissional

Relativamente à situação profissional, como se verifica pelo quadro 6-1, responderam ao inquérito 230 alunos (41,5%) e 324 designers (58,5%).

Quadro 6-1 – Situação profissional - aluno/designer

	Frequência	Percentagem
Aluno	230	41,5
Designer	324	58,5
Total	554	100,0

Considerando os objetivos do estudo, o equilíbrio entre alunos e designers é um fator importante para evitar tendências indesejadas e o consequente enviesamento dos resultados.

6.1.3.2 Género

Como se verifica pelo quadro 6-2, a amostra apresenta 252 mulheres (45,5%) e 302 homens (54,5%), considerando-se, pelos valores resultantes, a amostra equilibrada em termos do género dos participantes.

Quadro 6-2 – Género

		Frequência	Percentagem
Género	Mulher	252	45,5
	Homem	302	54,5
Total		554	100,0

6.1.3.3 Idade

Para a determinação dos intervalos de idades foi utilizado o método dos quartis. Como resultado, expresso no quadro 6-3, verifica-se que 45% da amostra apresenta idades entre os 22 e os 29 anos, 28% entre os 18 e os 21 anos e 26,9% mais de 29 anos.

Quadro 6-3 – Idade

		Frequência	Percentagem
Idade	[18-21]	155	28,0
	[22-29]	250	45,1
	>29	149	26,9
Total		554	100,0

6.1.3.4 País de origem

Recebemos respostas de 24 países diferentes. Considerando o volume de respostas de cada país efetuámos apenas 4 grupos. Constatou-se que cerca de 70% da amostra total provém de respondentes portugueses. Esta situação resulta do facto de todos os alunos inquiridos serem de escolas nacionais. Relativamente aos designers, há uma variação mais significativa com cerca de 50% de designers portugueses, 27% do Brasil, 8% de Espanha e 15% de outros países.

Quadro 6-4 – País de origem

		Nível de Formação		
		Aluno	Designer	Total
País	Portugal	230	160	390
		100,0%	49,4%	70,4%
Brasil		0	87	87
		0,0%	26,9%	15,7%
Espanha		0	27	27
		0,0%	8,3%	4,9%
Outros países		0	50	50
		0,0%	15,4%	9,0%
Total		230	324	554

Houve respostas de designers residentes em 5 continentes com mais de 20% dos inquiridos provenientes de fora da Europa.

Quadro 6-5 – Continente de origem

		Nível de Formação		
		Aluno	Designer	Total
Continente	Europa	230	195	425
		100,0%	60,2%	76,7%
América do Sul		0	101	101
		0,0%	31,2%	18,2%
América do Norte		0	18	18
		0,0%	5,6%	3,2%
África		0	5	5
		0,0%	1,5%	0,9%
Ásia		0	5	5
		0,0%	1,5%	0,9%
Total		230	324	554

6.2 Caracterização da amostra de designers

Para atestarmos a diversidade dos intervenientes no estudo, caracterizámos a amostra populacional dos designers através de questões específicas incluídas no inquérito para designers. Foi efetuada a análise de frequências para as variáveis indicadas no quadro seguinte:

Caraterização da amostra

Experiência como designer
Escola de proveniência
Curso
Currículo com formação em CAD 3D
Software aprendido no curso
Utilização de software 3D enquanto designer
Software usado como designer

6.2.1 Experiência como designer

Como se verifica no quadro 6-6, mais de 60% os inquiridos têm experiência como designer superior 2 anos e cerca de 33% com mais de 5 anos. Parte dos objetivos e das hipóteses formuladas estão relacionadas com o grau de experiência dos designers. Os estratos de experiência determinados garantem diversidade suficiente e permitem retirar conclusões com razoável consistência.

Quadro 6-6 – Experiência como designer

	Frequência	Percentagem
Designer há menos de 2 anos	124	38,3
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	29,0
Designer há mais de 5 anos	106	32,7
Total	324	100,0

Cerca de 50% dos designers são portugueses o que limitará a abrangência do estudo. A generalização dos resultados, a um nível global, terá de ser encarada com alguma reserva.

Quadro 6-7 – Experiência como designer por país

		País				Total
		Portugal	Brasil	Espanha	Outros países	
Experiência	Designer há menos de 2 anos	82 25,3%	18 5,6%	11 3,4%	13 4,0%	124 38,3%
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	37 11,4%	28 8,6%	11 3,4%	18 5,6%	94 29,0%
	Designer há mais de 5 anos	41 12,7%	41 12,7%	5 1,5%	19 5,9%	106 32,7%
Total		160 49,4%	87 26,9%	27 8,3%	50 15,4%	324 100,0%

6.2.2 Curso ou área de atividade

Como foi referido no início deste capítulo, apenas considerámos as respostas de designers com cursos e atividades em áreas afins ao design industrial e de produto. O quadro 6-8 mostra a distribuição por curso e revela que 43,5% são designers industriais, 18,8% designers de produto, 14,2% designers de equipamento, 26% designers de engenharia e 15,4% de outras áreas como mobiliário, joalheria, cerâmica, etc..

Quadro 6-8 – Curso frequentado

		Formação
		Designer
Curso	Design Industrial	141
		43,5%
	Design de Produto	61
		18,8%
	Design de Equipamento	46
		14,2%
	Design de Engenharia	26
		8,0%
	Outras especialidades	50
		15,4%
Total		324
		100,0%

6.2.3 Currículo com formação em CAD 3D

Uma das hipóteses que pretendemos analisar relaciona-se com o facto do designer ter frequentado disciplinas de CAD durante o curso. O quadro 6-9 revela que 65% realizaram formação em CAD 3D e 35% não.

Quadro 6-9 – Formação em CAD 3D

		Formação
		Designer
CAD3D no curso	Sem CAD3D	113
		34,9%
	Com CAD3D	211
		65,1%
Total		324
		100,0%

6.2.4 Escola de formação

Para atestarmos a diversidade da proveniência dos designers apresentamos, no quadro 6-10, as escolas de design que contribuíram mais significativamente para o presente estudo. Em Portugal, cerca de 20% dos inquiridos frequentaram a ESAD.CR das Caldas da Rainha, 11% a ESAD de Matosinhos, 6,5% o IADE e 4,6% a Faculdade de Belas Artes de Lisboa. No Brasil, três escolas representam perto de 10% da amostra e em Espanha, apesar de terem respondido designers de diversas entidades, foi a UPV que, com 4,6%, mais contribuiu. Apesar de não estarem discriminadas individualmente no quadro, mais de 43% dos inquiridos provêm das mais variadas escolas de design distribuídas pelo mundo.

Quadro 6-10 – Escola de proveniência

		Formação
		Designer
Escola	IPL-ESAD-Caldas da Rainha	64
		19,8%
	ESAD-Matosinhos	36
		11,1%
	IADE	21
		6,5%
	FBAUL	15
		4,6%
	UPV-Valência	15
		4,6%
	ESDI- Rio de Janeiro	18
		5,6%
	UDESC - Santa Catarina	10
		3,1%
	PUC - Rio de Janeiro	3
		0,9%
	Outras Escolas	142
		43,8%
Total		324
		100,0%

6.2.5 Software aprendido no curso

Apesar de não ser determinante para a análise final, considerámos interessante efetuar o levantamento do tipo de software usado nas escolas de design como ferramentas base de modelação 3D. No quadro 6-11, constata-se que os mais utilizados na formação de designers são os produtos da *Autodesk*. O *SolidWorks*, com 57,3%, é o modelador paramétrico mais usado²³¹.

Quadro 6-11 – Software CAD aprendido

		Respostas	
		N	Percentagem
Software_curso	AutoCAD	169	80,1%
	ProEngineer	3	1,4%
	SolidWorks	121	57,3%
	CATIA	17	8,1%
	Rhinoceros	54	25,6%
	StudioMAX	139	65,9%
	StudioTools	28	13,3%
	MAYA	14	6,6%
	Outro	17	8,1%
Total		562	

Verifica-se que, em relação a esta questão, os designers aprenderam mais do que uma aplicação de modelação 3D. Nos quadros I-1, I-2, I-3 e I-4 do anexo I, comparamos o *AutoCAD*, o *SolidWorks* e o *3DStudio Max* com as outras aplicações referenciadas. Podemos constatar que existe alguma complementaridade entre aplicações de modelação paramétrica, tipo *SolidWorks*, e modelação direta, tipo *3DStudio MAX*.

²³¹ Não será indiferente a este resultado o facto das políticas de educação que a *Autodesk* e a *Dassault Systems* têm desenvolvido nos últimos anos facultando, às escolas e alunos, licenças gratuitas ou por um valor simbólico.

6.2.6 Utilização de software 3D enquanto designer

Apesar de apenas 65% dos designers aprenderem software CAD durante o curso, perto de 74% afirmam que o utilizam regularmente como se verifica no quadro 6-12. Esta constatação mostra a importância que estas tecnologias têm na área do design de produto. A maioria dos que não utilizam referiram-se essencialmente a questões financeiras ou dificuldades no seu uso.

Quadro 6-12 – Utilização de software CAD 3D

		Formação
		Designer
Usa software 3D?	Não	85
		26,2%
	Sim	239
		73,8%
Total		324
		100,0%

6.2.7 Software usado como designer

Mais de 50% inquiridos utilizam mais do que um tipo de software CAD como se verifica no quadro 6-13. Os programas mais usados são o *3DStudio MAX*, o *SolidWorks* e o *AutoCAD*. O modelador de superfícies *Rhinoceros*, com perto de 28% dos utilizadores, é o quarto mais utilizado.

Quadro 6-13 – Tipo de software CAD utilizado

		Respostas	
		N	Porcentagem
Software_utilizado	AutoCAD	118	49,4%
	ProEngineer	5	2,1%
	SolidWorks	125	52,3%
	CATIA	16	6,7%
	Rhinoceros	66	27,6%
	StudioMAX	132	55,2%
	StudioTools	13	5,4%
	Outro	47	19,7%
Total		522	

Os quadros 6-14 e 6-15 apresentam a comparação das aplicações mais utilizadas com as outras também referenciadas.

Quadro 6-14 – Software CAD utilizado - SolidWorks/outros

		SolidWorks
Software_utilizado	AutoCAD	53
		42,4%
	CATIA	5
		4,0%
	Rhinoceros	33
		26,4%
	StudioMAX	64
		51,2%
StudioTools	8	
	6,4%	
Outro	13	
	10,4%	

Quadro 6-15 – Software CAD utilizado - 3DStudio MAX/outras

		StudioMAX
Software_utilizado	AutoCAD	84 24,1%
	ProEngineer	3 0,9%
	SolidWorks	64 18,3%
	CATIA	12 3,4%
	Rhinoceros	34 9,7%
	StudioTools	4 1,1%
	Outro	16 4,6%

Ao compararmos a utilização do *SolidWorks* com as outras aplicações verificamos que há uma complementaridade com o *3DStudio MAX*, o *AutoCAD* e o *Rhinoceros*.

Pelo contrário, ao compararmos o uso de *3DStudio MAX* com os outros programas, verificamos que a sua utilização é mais exclusiva. Eventualmente o *AutoCAD*, com 24% de utilizadores em comum, poderá complementar o uso de uma aplicação mais vocacionada para a visualização e menos para o projeto 2D. Mais uma vez, reforçamos a ideia de que o *AutoCAD* será mais utilizado na representação do projeto em 2D do que na modelação 3D.

6.3 Representações na fase conceptual de desenvolvimento de projeto

Como nas investigações anteriormente referenciadas de Westermeyer (2008)²³² e Pache (2004)²³³, dedicadas ao papel do esquiço em design, colocámos no inquérito uma questão que permitisse averiguar a frequência com que alunos e designers utilizavam as distintas técnicas de representação na fase conceptual de desenvolvimento de projeto:

Quadro 6-16 – Técnicas de representação de projeto

Técnicas de representação de projeto

Texto
Esquema
Esquiço
Maquetas
Modelos CAD 3D
Protótipos rápidos

6.3.1 Verificação da normalidade da distribuição

Efetuada o teste de Kolmogorov-Smirnov (dimensão da amostra >20) verificou-se que nenhuma das variáveis segue uma distribuição normal . A análise dos p-valores presentes no quadro 6-17, obriga-nos a rejeitar as hipóteses correspondentes ao nível de significância 0.05.

²³² Westermeyer, J. C. B. op. cit. (2008) Pág. 353-356

²³³ Pache, M. W. op. cit. (2005) Pág. 48-52

Quadro 6-17 – Testes de normalidade das distribuições

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Texto	,161	554	,000	,899	554	,000
Esquema	,193	554	,000	,901	554	,000
Esquisso	,294	554	,000	,757	554	,000
Maqueta	,183	554	,000	,900	554	,000
Modelo CAD 3D	,246	554	,000	,818	554	,000
Protótipo Rápido	,229	554	,000	,837	554	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

6.3.2 Determinação do teste a utilizar

Segundo Maroco (2010)²³⁴, não estando garantidas as condições para efetuar testes paramétricos, o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis é o mais adequado para testar se duas ou mais amostras provém de populações com a mesma distribuição. No nosso caso pretendemos verificar se as diversas formas de representação de projeto na fase conceptual é idêntico para alunos e designers com diferentes níveis de experiência.

6.3.3 Representação através de texto

Analisando os quadros 6-18 e o 6-19 assim como o gráfico 6-1 verificamos que o texto é usado com alguma frequência por cerca de 42% dos alunos e designers, 35% usam-no raramente e 23% por vezes, como método de representação do projeto na fase conceptual. Constata-se também que os designers com mais experiência usam texto 50% das vezes.

²³⁴ Maroco, J. op. cit. (2010). p 227.

Quadro 6-18 – Modos de representação - texto

		Formação		
		Aluno	Designer	Total
Texto	Nunca	38 16,5%	31 9,6%	69 12,5%
	Pouco	54 23,5%	70 21,6%	124 22,4%
	Por vezes	60 26,1%	65 20,1%	125 22,6%
	Com frequência	54 23,5%	64 19,8%	118 21,3%
	Sempre	24 10,4%	94 29,0%	118 21,3%
Total		230	324	554

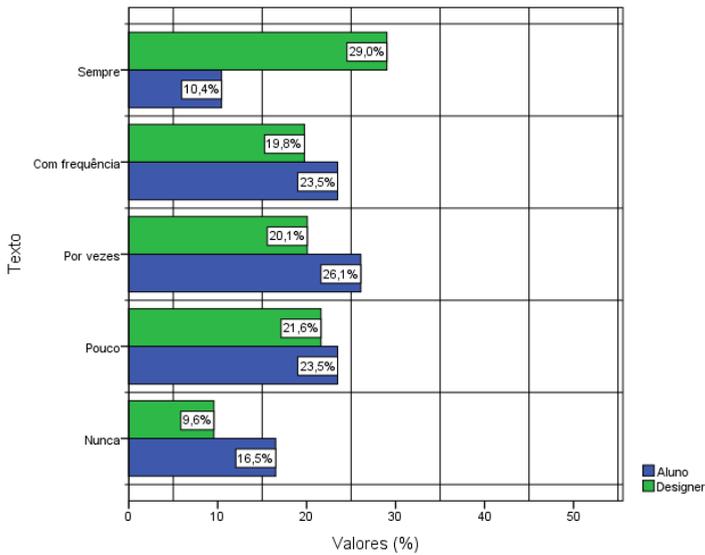


Gráfico 6-1 – Modos de representação - texto

Quadro 6-19 – Modos de representação - texto

		Experiência				Total
		Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Texto	Nunca	38 16,5%	11 8,9%	11 11,7%	9 8,5%	69 12,5%
	Pouco	54 23,5%	32 25,8%	16 17,0%	22 20,8%	124 22,4%
	Por vezes	60 26,1%	26 21,0%	19 20,2%	20 18,9%	125 22,6%
	Com frequência	54 23,5%	25 20,2%	15 16,0%	24 22,6%	118 21,3%
	Sempre	24 10,4%	30 24,2%	33 35,1%	31 29,2%	118 21,3%
Total		230	124	94	106	554

6.3.3.1 Teste de Kruskal-Wallis para texto

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 6-20 e 6-21.

H0 - A importância dada à utilização do texto como modo de representação de projetos na fase conceptual é a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-20 – Quadro de média das ordens(*Mean Ranks*)

Experiência		N	Posto Médio
Texto	Aluno	230	243,77
	Designer há menos de 2 anos	124	286,71
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	312,41
	Designer há mais de 5 anos	106	308,95
	Total	554	

Quadro 6-21 – Quadro de estatísticas de teste

	Texto
Qui-quadrado	20,066
gl	3
Significância Assint.	,000

Perante o p-valor apresentado no quadro 6-21 (0.000), rejeitamos a hipótese nula de que a importância dada à utilização do texto, como modo de representação de projetos na fase conceptual, seria a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Verifica-se ainda que, de acordo com a comparação múltipla de médias das ordens, obtidas pelo método descrito em Maroco (2010)²³⁵, há diferenças significativas entre os alunos e os designers (quadro E-1 do anexo E).

6.3.4 Representação através de esquema

Analisando o quadro 6-22 e o gráfico 6-2 verificamos que o esquema é usado com alguma frequência por cerca de 50% dos alunos e designers, 25% usam-no raramente e 25% por vezes, como método de representação do projeto na fase conceptual. Designers utilizam mais o texto e o esquema do que os alunos.

²³⁵ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 371

Quadro 6-22 – Modos de representação - esquema

		Formação		
		Aluno	Designer	Total
Esquema	Nunca	35	15	50
		15,2%	4,6%	9,0%
	Pouco	40	47	87
		17,4%	14,5%	15,7%
	Por vezes	74	68	142
32,2%		21,0%	25,6%	
Com frequência	59	100	159	
	25,7%	30,9%	28,7%	
Sempre	22	94	116	
	9,6%	29,0%	20,9%	
Total		230	324	554

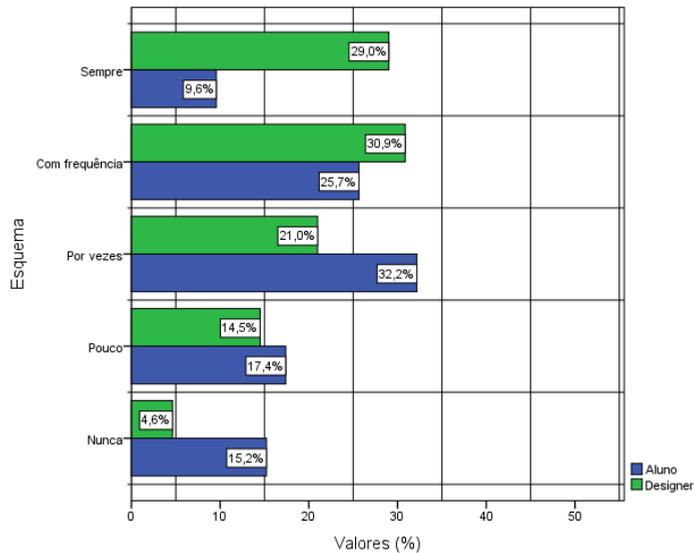


Gráfico 6-2 – Modos de representação - esquema

6.3.4.1 Teste de Kruskal-Wallis para esquema

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 6-23 e 6-24:

H0 - A importância dada à utilização do esquema como modo de representação de projetos na fase conceptual é a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-23 – Quadro de média das ordens(*Mean Ranks*)

	Experiência	N	Posto Médio
Esquema	Aluno	230	226,89
	Designer há menos de 2 anos	124	308,13
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	311,28
	Designer há mais de 5 anos	106	321,51
	Total	554	

Quadro 6-24 – Quadro de estatísticas de teste

	Esquema
Qui-quadrado	42,011
gl	3
Significância Assint.	,000

Perante o p-valor apresentado no quadro 6-24 (0.000), rejeitamos a hipótese nula de que a importância dada à utilização do esquema, como modo de representação de projetos na fase conceptual, seria a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Verifica-se ainda que, de acordo com a comparação múltipla de médias das ordens, obtidas pelo método descrito em Maroco (2010)²³⁶, há diferenças significativas entre os alunos e os designers (quadro E-2 do anexo E).

²³⁶ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 371

6.3.5 Representação através de esquiço

Analisando os quadros 6-25 e 6-26 assim como o gráfico 6-3 verificamos que o esquiço é usado com muita frequência por mais de 90% dos alunos e designers. Apenas 9% afirmam que o usam pouco ou nunca como método de representação do projeto na fase conceptual. Designers e alunos utilizam regularmente este modo de representação. De realçar que são os alunos e designers com menos experiência, mais de 80%, que indicam usar sempre ou com frequência o esquiço.

Quadro 6-25 – Modos de representação - esquiço

		Formação		Total
		Aluno	Designer	
Esquiço	Nunca	4	18	22
		1,7%	5,6%	4,0%
	Pouco	10	18	28
		4,3%	5,6%	5,1%
	Por vezes	28	46	74
		12,2%	14,2%	13,4%
	Com frequência	73	72	145
		31,7%	22,2%	26,2%
	Sempre	115	170	285
		50,0%	52,5%	51,4%
Total		230	324	554

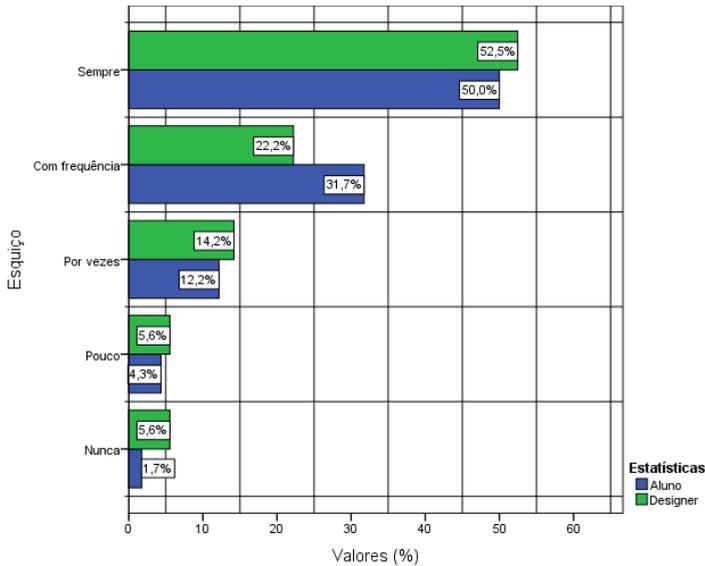


Gráfico 6-3 – Modos de representação - esquiço

Quadro 6-26 – Modos de representação - esquiço (diferentes graus de experiência)

		Experiência				Total
		Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Esquisso	Nunca	4 1,7%	4 3,2%	7 7,4%	7 6,6%	22 4,0%
	Pouco	10 4,3%	6 4,8%	7 7,4%	5 4,7%	28 5,1%
	Por vezes	28 12,2%	13 10,5%	17 18,1%	16 15,1%	74 13,4%
	Com frequência	73 31,7%	28 22,6%	16 17,0%	28 26,4%	145 26,2%
	Sempre	115 50,0%	73 58,9%	47 50,0%	50 47,2%	285 51,4%
Total		230	124	94	106	554

6.3.5.1 Teste de Kruskal-Wallis para esquiço

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 6-27 e 6-28:

H0 - A importância dada à utilização do esquiço como modo de representação de projetos na fase conceptual é a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-27 – Quadro de média das ordens(*Mean Ranks*)

	Experiência	N	Posto Médio
Esquiço	Aluno	230	280,97
	Designer há menos de 2 anos	124	298,34
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	258,93
	Designer há mais de 5 anos	106	262,07
	Total	554	

Quadro 6-28 – Quadro de estatísticas de teste

	Esquiço
Qui-quadrado	5,289
gl	3
Significância Assint.	,152

Perante o p-valor apresentado no quadro 6-28 (0.152), aceitamos a hipótese nula de que a importância dada à utilização do esquiço, como modo de representação de projetos na fase conceptual, seria a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

6.3.6 Representação através de maquete

Analisando o quadro 6-29 e o gráfico 6-4 verificamos que a maquete é usada com frequência ou sempre por mais de 42% dos alunos e designers. 33% afirmam que a usam pouco ou nunca como método de representação do projeto na fase conceptual.

Quadro 6-29 – Modos de representação - maqueta

		Formação		
		Aluno	Designer	Total
Maqueta	Nunca	53 23,0%	40 12,3%	93 16,8%
	Pouco	25 10,9%	66 20,4%	91 16,4%
	Por vezes	51 22,2%	82 25,3%	133 24,0%
	Com frequência	67 29,1%	81 25,0%	148 26,7%
	Sempre	34 14,8%	55 17,0%	89 16,1%
Total		230	324	554

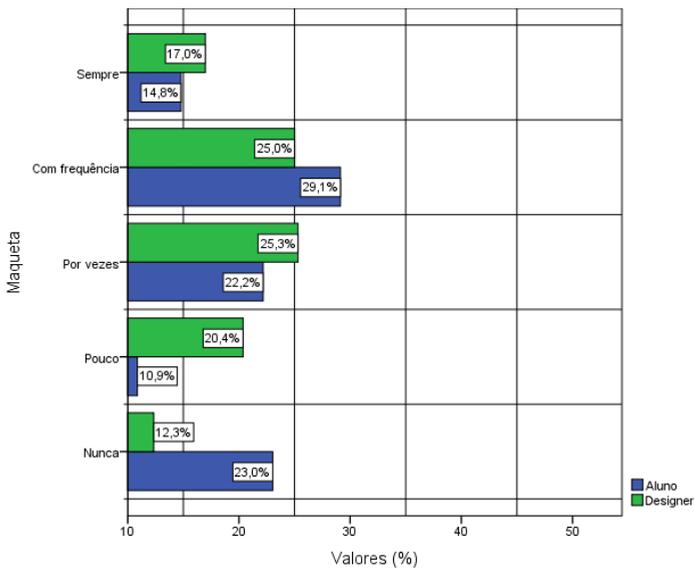


Gráfico 6-4 – Modos de representação - maqueta

6.3.6.1 Teste de Kruskal-Wallis para maqueta

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 6-30 e 6-31:

H0 - A importância dada à utilização da maquete como modo de representação de projetos na fase conceptual é a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-30 – Quadro de média das ordens (*Mean Ranks*)

	Experiência	N	Posto Médio
Maquete	Aluno	230	271,03
	Designer há menos de 2 anos	124	277,00
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	284,92
	Designer há mais de 5 anos	106	285,53
	Total	554	

Quadro 6-31 – Quadro de estatísticas de teste

	Maquete
Qui-quadrado	,887
gl	3
Significância Assint.	,829

Perante o p-valor apresentado no quadro 6-31 (0.829), aceitamos a hipótese nula de que a importância dada à utilização da maquete, como modo de representação de projetos na fase conceptual, seria a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

6.3.7 Representação através de Modelo CAD 3D

Analisando os quadros 6-32 e 6-33 assim como o gráfico 6-5 verificamos que o modelo CAD 3D é usado com muita frequência por mais de 85% dos alunos e designers. Apenas pouco mais de 15% afirmam que o usam pouco ou nunca como método de representação do projeto na fase conceptual. Designers e alunos utilizam regularmente este modo de representação.

De realçar ainda que mais de 40% dos designers indicam que usam sempre este método de representação.

Quadro 6-32 – Modos de representação - modelo CAD 3D

		Formação		
		Aluno	Designer	Total
Modelo CAD 3D	Nunca	6 2,6%	40 12,3%	46 8,3%
	Pouco	16 7,0%	24 7,4%	40 7,2%
	Por vezes	37 16,1%	46 14,2%	83 15,0%
	Com frequência	100 43,5%	73 22,5%	173 31,2%
	Sempre	71 30,9%	141 43,5%	212 38,3%
Total		230	324	554

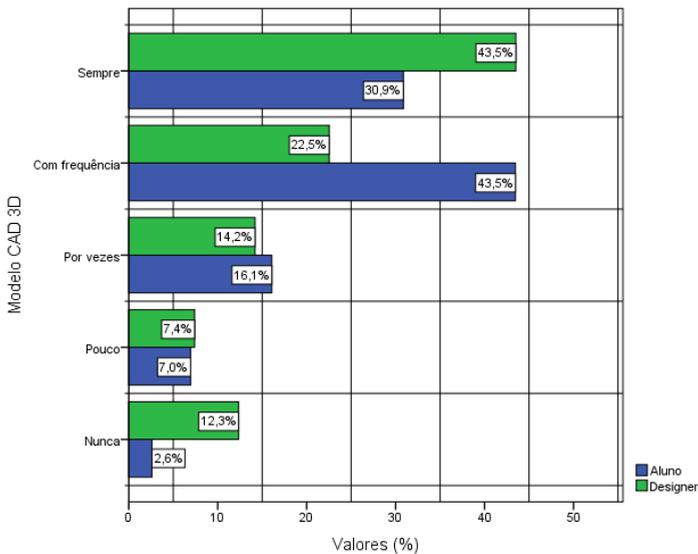


Gráfico 6-5 – Modos de representação - modelo 3D

Quadro 6-33 – Modos de representação - modelo CAD 3D (diferentes graus de experiência)

		Experiência				Total
		Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Modelo CAD 3D	Nunca	6 2,6%	14 11,3%	12 12,8%	14 13,2%	46 8,3%
	Pouco	16 7,0%	7 5,6%	6 6,4%	11 10,4%	40 7,2%
	Por vezes	37 16,1%	19 15,3%	17 18,1%	10 9,4%	83 15,0%
	Com frequência	100 43,5%	29 23,4%	15 16,0%	29 27,4%	173 31,2%
	Sempre	71 30,9%	55 44,4%	44 46,8%	42 39,6%	212 38,3%
Total		230	124	94	106	554

6.3.7.1 Teste de Kruskal-Wallis para modelo 3D

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 6-34 e 6-35:

H0 - A importância dada à utilização do modelo 3D como modo de representação de projetos na fase conceptual é a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-34 – Quadro de média das ordens (*Mean Ranks*)

		Experiência	N	Posto Médio
Modelo CAD 3D	Aluno		230	275,58
	Designer há menos de 2 anos		124	284,82
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos		94	281,18
	Designer há mais de 5 anos		106	269,83
	Total		554	

Quadro 6-35 – Quadro de estatísticas de teste

	Modelo CAD 3D
Qui-quadrado	,644
gl	3
Significância Assint.	,886

Perante o p-valor apresentado no quadro 6-35 (0.886), aceitamos a hipótese nula de que a importância dada à utilização do modelo 3D, como modo de representação de projetos na fase conceptual, seria a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

6.3.8 Representação através de Protótipo Rápido

Analisando os quadros 6-37 e 6-38 assim como o gráfico 6-6 verificamos que o protótipo rápido é usado com pouca frequência ou nunca por cerca de 60% dos alunos e designers. Apenas 20% afirmam que o usam sempre ou com frequência como método de representação do projeto na fase conceptual. De realçar ainda que mais de 27% dos designers com mais de 5 anos de experiência indicam que utilizam com frequência ou sempre este método de representação.

Quadro 6-36 – Modos de representação - protótipo rápido

		Formação		
		Aluno	Designer	Total
Protótipo Rápido	Nunca	104 45,2%	114 35,2%	218 39,4%
	Pouco	34 14,8%	78 24,1%	112 20,2%
	Por vezes	54 23,5%	59 18,2%	113 20,4%
	Com frequência	27 11,7%	30 9,3%	57 10,3%
	Sempre	11 4,8%	43 13,3%	54 9,7%
Total		230	324	554

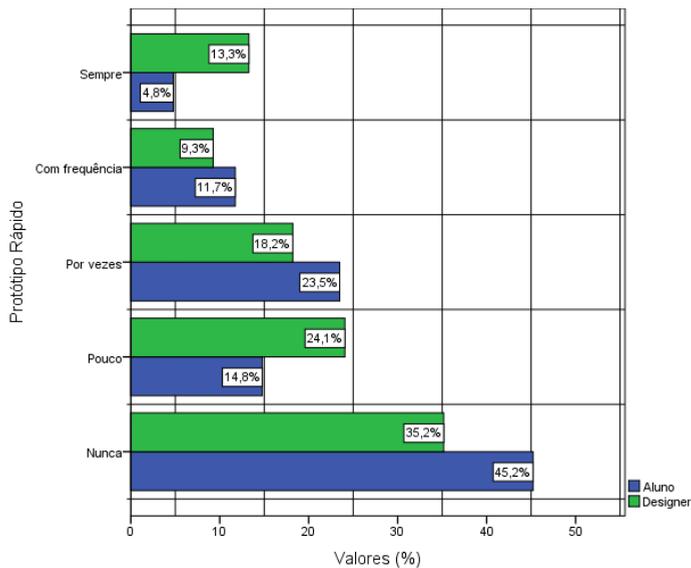


Gráfico 6-6 – Modos de representação - protótipo rápido

Quadro 6-37 – Modos de representação - protótipo rápido

		Experiência				Total
		Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Protótipo Rápido	Nunca	104 45,2%	45 36,3%	35 37,2%	34 32,1%	218 39,4%
	Pouco	34 14,8%	32 25,8%	21 22,3%	25 23,6%	112 20,2%
	Por vezes	54 23,5%	25 20,2%	16 17,0%	18 17,0%	113 20,4%
	Com frequência	27 11,7%	11 8,9%	9 9,6%	10 9,4%	57 10,3%
	Sempre	11 4,8%	11 8,9%	13 13,8%	19 17,9%	54 9,7%
Total		230	124	94	106	554

6.3.8.1 Teste de Kruskal-Wallis para protótipo rápido

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 6-38 e 6-39:

H0 - A importância dada à utilização do protótipo rápido como modo de representação de projetos na fase conceptual é a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-38 – Quadro de média das ordens (*Mean Ranks*)

	Experiência	N	Posto Médio
Protótipo Rápido	Aluno	230	261,59
	Designer há menos de 2 anos	124	277,27
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	286,11
	Designer há mais de 5 anos	106	304,66
	Total	554	

Quadro 6-39 – Quadro de estatísticas de teste

	Protótipo Rápido
Qui-quadrado	6,081
gl	3
Significância Assint.	,108

Perante o p-valor apresentado no quadro 6-39 (0.108), aceitamos a hipótese nula de que a importância dada à utilização do protótipo rápido, como modo de representação de projetos na fase conceptual, seria a mesma para alunos e designers com diferentes graus de experiência.

6.3.9 Considerações sobre a análise efetuada

No nosso estudo, como se pode constatar no gráfico 6-7, o conjunto de alunos e designers usam o esquiço com frequência ou sempre, 77,6 %, e o modelo 3D, 69,5% para representar o projeto na fase conceptual.

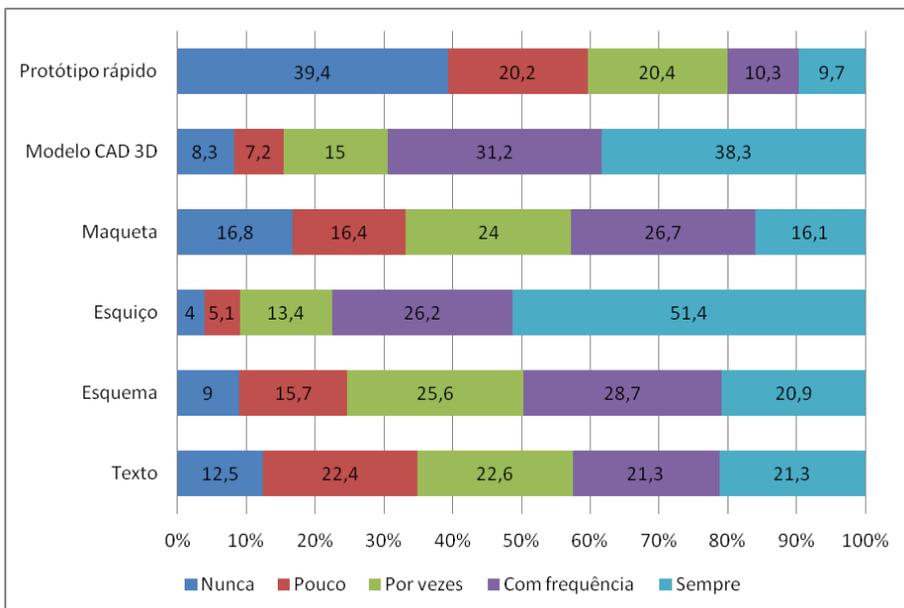


Gráfico 6-7 – Modos de representação - análise conjunta

Estes valores estão de acordo alguns dos resultados obtidos em estudos anteriores, nomeadamente os de Westermeyer (2008)²³⁷ e Pache (2004)²³⁸ que também determinaram a utilização do esquiço como o modo de representação mais utilizado pelos designers.

Westermeyer (2008)²³⁹ justifica a preferência pelo esquiço devido à facilidade e economia cognitiva da sua utilização e cita Ulman (1990)²⁴⁰ que também se refere à rapidez do esquiço e à inoperância do CAD na fase conceptual por ser lento e implicar um "filtro" que pode retardar o desenvolver da ideia. Como já referimos, em capítulos anteriores, as interfaces em 1990 eram muito pouco intuitivas tornando pouco natural e complexa a transposição das ideias para suporte digital.

Pache (2004)²⁴¹ tem uma abordagem interessante do problema em análise, subdividindo o processo de desenvolvimento de produto em atributos: geometria/forma, dimensões/tamanho, projeto/atrativo, conjunto, cinemática, produção, ergonomia, robustez e deformação. Para cada um destes atributos compara o esquiço com o modelo CAD concluindo que há complementaridade para maioria dos itens.

6.4 Utilização regular de tecnologias CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto

O quadro 6-40 apresenta os resultados da resposta à pergunta sobre a utilização de CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto. Verificaram-se 92,6% de respostas afirmativas dos alunos e 72,8% dos

²³⁷ Westermeyer, J. C. B. op. cit. (2008). p. 354

²³⁸ Pache, M. W. op. cit. (2004). p. 52

²³⁹ ibidem, p. 355

²⁴⁰ Ullman, D. G., Wood, S., & Craig, D. (1990). The Importance of Drawing in the Mechanical Design Process. *Computer & Graphics*, 14(2), 263-274.

²⁴¹ Pache, M. W. op. cit. (2004). p. 54

designers. O que significa que 81% da amostra afirma utilizar ferramentas CAD 3D nesta etapa inicial do processo de design. Por outro lado 7,4% dos alunos e 27,2% dos designers não utiliza regularmente CAD 3D.

Quadro 6-40 – Utilização de CAD 3D na fase conceptual - Formação base

		Formação		Total
		Aluno	Designer	
Utiliza CAD 3D?	Não	17 7,4%	88 27,2%	105 19,0%
	Sim	213 92,6%	236 72,8%	449 81,0%
Total		230	324	554

Da observação do quadro 6-41 concluímos que a percentagem de utilização pelos designers de CAD 3D, nesta fase, é praticamente a mesma independentemente do grau de experiência.

Quadro 6-41 – Utilização de CAD 3D - Experiência

		Utiliza CAD 3D?		Total
		Não	Sim	
Experiência	Aluno	17 7,4%	213 92,6%	230 100,0%
	Designer há menos de 2 anos	34 27,4%	90 72,6%	124 100,0%
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	24 25,5%	70 74,5%	94 100,0%
	Designer há mais de 5 anos	30 28,3%	76 71,7%	106 100,0%
	Total	105 19,0%	449 81,0%	554 100,0%

Ao questionarmos o facto da não utilização do CAD 3D, nesta fase do processo, obtivemos as respostas apresentadas no quadro 6-42.

Cerca de 46% dos respondentes que não utilizam CAD 3D preferem outras formas de representação, 37% afirmam ser pelo facto de terem pouca

experiência nestas tecnologias, 18% não julgam necessário e 17% tem pouca apetência para computadores.

Quadro 6-42 – Não utilização de CAD 3D

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Pouca experiência em CAD 3D	5 4,8%	17 16,2%	9 8,6%	8 7,6%	39 37,1%
Pouca apetência para computadores	4 3,8%	3 2,9%	3 2,9%	8 7,6%	18 17,1%
Não julga necessário	2 1,9%	8 7,6%	5 4,8%	4 3,8%	19 18,1%
Prefere outras formas de representação	7 6,7%	15 14,3%	12 11,4%	14 13,3%	48 45,7%
Outro	2 1,9%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2 1,9%
Total	17 16,2%	34 32,4%	24 22,9%	30 28,6%	105 100,0%

6.5 Utilização regular de tecnologias CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto

A fim de determinar o objetivo da utilização de CAD 3D na fase conceptual foram elencadas uma série de possibilidades e, através de seleção múltipla, os inquiridos que usavam CAD apontaram as diversas opções da sua aplicação nesta etapa inicial do processo de design.

Da análise do quadro 6-43 e do gráfico 6-8 concluímos que perto de 70% dos inquiridos, que declararam usar CAD 3D, o fazem para apoiar a criação do produto, testar e verificar soluções e ainda preparar apresentações digitais. Esta percentagem não é muito diferente entre alunos e designers. Outras formas de utilização, como a concretização de soluções com 46,3%, a representação de limitações com 27,6%, a preparação de documentação a longo prazo com 24,3% e a clarificação de tarefas com perto de 20% apresentam também uma aplicação significativa.

Podemos assumir que tanto os designers como os alunos têm uma rotina definida e utilizam efetivamente grande parte das possibilidades do uso de CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

Quadro 6-43 – Quadro de estatísticas de teste

	Formação		Total
	Aluno	Designer	
Comunicação/Difusão	137 30,5%	167 37,2%	304 67,7%
Apoiar criação do produto	144 32,1%	177 39,4%	321 71,5%
Testar soluções	153 34,1%	159 35,4%	312 69,5%
Concretizar soluções	107 23,8%	101 22,5%	208 46,3%
Verificação de soluções	135 30,1%	170 37,9%	305 67,9%
Documentação (longo prazo)	45 10,0%	64 14,3%	109 24,3%
Representar limitações	65 14,5%	59 13,1%	124 27,6%
Clarificação de tarefas	40 8,9%	49 10,9%	89 19,8%
Lembrete (curto prazo)	5 1,1%	14 3,1%	19 4,2%
Preparar apresentações digitais	143 31,8%	156 34,7%	299 66,6%
Outro	6 1,3%	6 1,3%	12 2,7%

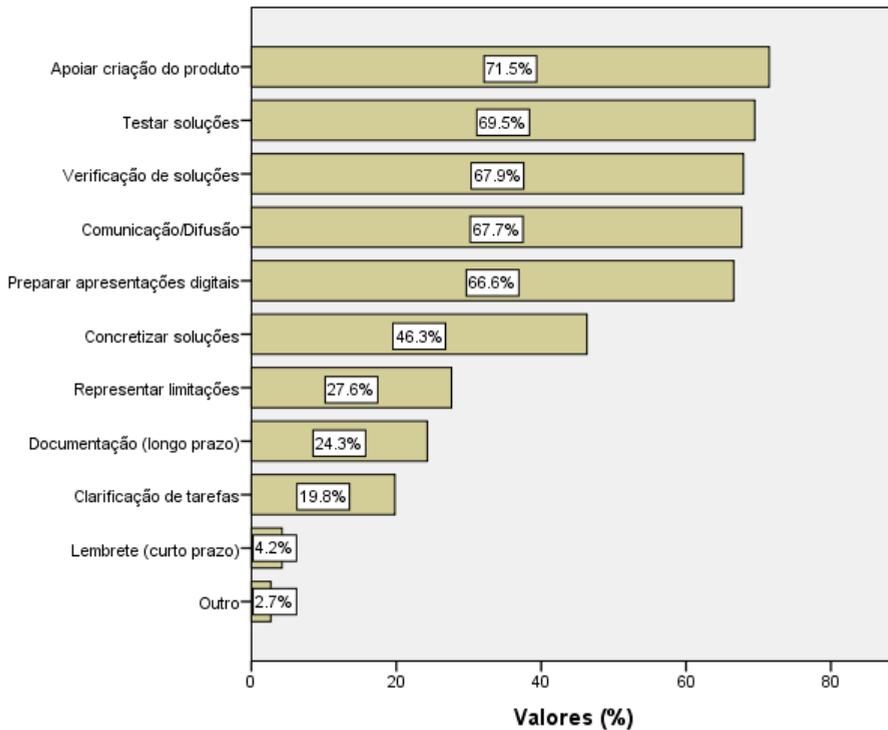


Gráfico 6-8 – Objetivos de usar CAD 3D

6.6 Valorização dos efeitos do uso das tecnologias de CAD 3D

Após verificarmos a importância dada, pelos designers e alunos, às tecnologias de CAD 3D no processo de design, são objetivos nesta fase do estudo a verificação estatística da existência de uma relação entre os efeitos do uso das referidas técnicas entre alunos e designers com diferentes níveis de experiência.

O CAD 3D como instrumento de projeto é útil tanto como recurso de apoio à criação do produto como na concretização de soluções. Assim, como na investigação de Westermeyer (2008)²⁴² que cita van der Lugt (2001)²⁴³ quando

²⁴² Westermeyer, J. C. B. op. cit. (2008).

se refere ao potencial do esboço como meio de comunicação visual e desenvolvimento de ideias, acreditamos que o uso do CAD 3D, nas etapas iniciais do processo, pode também contribuir para produzir um conjunto de efeitos com determinados aspetos cognitivos.

No inquérito foi solicitado aos inquiridos que valorizassem de 1 a 5 os possíveis efeitos do uso das tecnologias CAD 3D na fase conceptual do processo de desenvolvimento de produto, que indicamos no quadro seguinte:

Efeitos do uso de CAD 3D na fase conceptual

Apoiar a criatividade
Apoiar e melhorar a comunicação
Ocorrência de novas ideias
Simplificar através da comparação de soluções
Concretizar ideias mais rapidamente
Reconhecimento de falhas e erros
Simular soluções para facilitar modificação de conceitos
Melhorar a compreensão do produto
Reconhecimento de requisitos desconhecidos
Testar virtualmente funcionalidade do produto

6.6.1 Verificação da fiabilidade dos dados

Para verificarmos a consistência interna dos nossos dados efetuámos o teste de fiabilidade alfa de Cronbach, que determinou o valor de 0,821.

²⁴³ van der Lugt, R. (2001). *Sketching in Design Idea Generation Meetings*. Ph. D. Dissertation. Delft University of Technology. Delft.

Segundo Maroco (2006)²⁴⁴, este valor garante uma boa consistência dos resultados obtidos na determinação das relações a estabelecer.

Quadro 6-44 - Estatística de confiabilidade

Estatísticas de confiabilidade		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach com base em itens padronizados	N de itens
,821	,823	10

A matriz de correlação entre as variáveis apresenta valores positivos, na generalidade superiores a 0,3.

6.6.2 Seleção do teste estatístico a efetuar

Pelo facto das distribuições não serem normais nem homogéneas e ter sido usada uma escala de Likert, optámos por realizar o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis dado que este será o mais apropriado, segundo Maroco (2010)²⁴⁵, para testar se duas ou mais amostras provém de uma mesma população ou de populações diferentes ou se, de igual modo, as amostras provêm de populações com a mesma distribuição.

6.6.3 Efeito CAD 3D - "Apoiar a Criatividade" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-45 e 6-46, podemos concluir que são mais os alunos a considerar que o CAD 3D produz um efeito relativamente importante como apoio à criatividade do produto. A valorização que os designers com diferentes níveis de experiência atribuem, não é muito diferente da opinião dos alunos.

²⁴⁴ Maroco, J., & Marques, T. G. . op. cit. (2006).

²⁴⁵ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 227

Tanto a média como a mediana se situam em torno do valor 3 com coeficientes de variação superiores a 30% o que indicia uma distribuição não homogênea.

Quadro 6-45 - Efeito "Apoiar a Criatividade"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	18 3,2%	11 2,0%	12 2,2%	12 2,2%	53 9,6%
Pouco importante	27 4,9%	23 4,2%	22 4,0%	18 3,2%	90 16,2%
Importante	76 13,7%	47 8,5%	22 4,0%	37 6,7%	182 32,9%
Muito Importante	81 14,6%	23 4,2%	22 4,0%	21 3,8%	147 26,5%
Fundamental	28 5,1%	20 3,6%	16 2,9%	18 3,2%	82 14,8%

Quadro 6-46 – Estatísticas descritivas - Efeito "Apoiar a Criatividade"

Apoiar a criatividade				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,32	3,00	230	1,082
Designer há menos de 2 anos	3,15	3,00	124	1,167
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,09	3,00	94	1,292
Designer há mais de 5 anos	3,14	3,00	106	1,222
Total	3,21	3,00	554	1,167

6.6.3.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-47 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-48 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,201 > \alpha=0,05$ aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D no apoio à criatividade foi o mesmo entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-47 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	294,19
Designer há menos de 2 anos	124	266,38
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	262,17
Designer há mais de 5 anos	106	267,88
Total	554	

Quadro 6-48 – Quadro de estatísticas de teste

	Apoiar a criatividade
Qui-quadrado	4,635
gl	3
Significância Assint.	,201

6.6.4 Efeito CAD 3D - "Apoiar e melhorar a comunicação" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-49 e 6-50, podemos concluir que a valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem a este efeito é semelhante à opinião dos alunos. Mais de 80% dos inquiridos considera muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D para melhorar a comunicação. Tanto a média como a mediana se situam em torno do valor 4 com coeficientes de variação superiores a 20% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-49 - Efeito "Apoiar e melhorar a comunicação "

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	7 1,3%	1 0,2%	0 0,0%	2 0,4%	10 1,8%
Pouco importante	3 0,5%	3 0,5%	3 0,5%	6 1,1%	15 2,7%
Importante	23 4,2%	22 4,0%	17 3,1%	17 3,1%	79 14,3%
Muito Importante	94 17,0%	44 7,9%	34 6,1%	38 6,9%	210 37,9%
Fundamental	103 18,6%	54 9,7%	40 7,2%	43 7,8%	240 43,3%

Quadro 6-50 – Estatísticas descritivas - Efeito " Apoiar e melhorar a comunicação "

Apoiar e melhorar a comunicação				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,23	4,00	230	,908
Designer há menos de 2 anos	4,19	4,00	124	,868
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,18	4,00	94	,842
Designer há mais de 5 anos	4,08	4,00	106	,983
Total	4,18	4,00	554	,903

6.6.4.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-51 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-52 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,554 > \alpha=0,05$ aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D no apoio e melhoria da comunicação foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-51 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	287,10
Designer há menos de 2 anos	124	275,57
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	273,00
Designer há mais de 5 anos	106	262,91
Total	554	

Quadro 6-52 – Quadro de estatísticas de teste

	Apoiar e melhorar a comunicação
Qui-quadrado	2,091
gl	3
Significância Assint.	,554

6.6.5 Efeito CAD 3D - "Ocorrência de novas ideias" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-53 e 6-54, podemos concluir que a valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem a este efeito é semelhante à opinião dos alunos. No entanto, 40% dos inquiridos considera muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D na ocorrência de novas ideias, apesar de 17% dos designers o considerarem pouco ou nada importante. Tanto a média como a mediana se situam em torno do valor 3 com coeficientes de variação superiores a 30% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-53 - Efeito " Ocorrência de novas ideias "

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	16 2,9%	8 1,4%	6 1,1%	10 1,8%	40 7,2%
Pouco importante	29 5,2%	30 5,4%	19 3,4%	20 3,6%	98 17,7%
Importante	73 13,2%	41 7,4%	36 6,5%	33 6,0%	183 33,0%
Muito Importante	95 17,1%	31 5,6%	19 3,4%	28 5,1%	173 31,2%
Fundamental	17 3,1%	14 2,5%	14 2,5%	15 2,7%	60 10,8%

Quadro 6-54 – Estatísticas descritivas - Efeito "Ocorrência de novas ideias "

Ocorrência de novas ideias				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,30	3,00	230	1,015
Designer há menos de 2 anos	3,10	3,00	124	1,096
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,17	3,00	94	1,113
Designer há mais de 5 anos	3,17	3,00	106	1,175
Total	3,21	3,00	554	1,082

6.6.5.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-55 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-56 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,226 > \alpha=0,05$ aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D na ocorrência de novas ideias foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-55 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	293,00
Designer há menos de 2 anos	124	260,24
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	268,07
Designer há mais de 5 anos	106	272,42
Total	554	

Quadro 6-56 – Quadro de estatísticas de teste

	Ocorrência de novas ideias
Qui-quadrado	4,352
gl	3
Significância Assint.	,226

6.6.6 Efeito CAD 3D - "Simplificar através da comparação de soluções" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-57 e 6-58, podemos concluir que a valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem a este efeito é semelhante à opinião dos alunos. No entanto, 57% dos total dos inquiridos, com 32% dos designers, a considerar muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D na simplificação através da comparação de soluções. Apenas 14% consideram este efeito pouco ou nada importante. A média situa-se em torno do valor 3,5 e a mediana em 4. Os coeficientes de variação são superiores a 30% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-57 - Efeito "Simplificar através da comparação de soluções"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	20 3,6%	4 0,7%	2 0,4%	3 0,5%	29 5,2%
Pouco importante	8 1,4%	12 2,2%	10 1,8%	17 3,1%	47 8,5%
Importante	63 11,4%	38 6,9%	29 5,2%	30 5,4%	160 28,9%
Muito Importante	105 19,0%	43 7,8%	34 6,1%	37 6,7%	219 39,5%
Fundamental	34 6,1%	27 4,9%	19 3,4%	19 3,4%	99 17,9%

Quadro 6-58 – Estatísticas descritivas - Efeito "Simplificar através da comparação de soluções"

Simplificar através da comparação de soluções				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,54	4,00	230	1,068
Designer há menos de 2 anos	3,62	4,00	124	1,033
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,62	4,00	94	,996
Designer há mais de 5 anos	3,49	4,00	106	1,053
Total	3,56	4,00	554	1,044

6.6.6.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-59 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-60 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,792 > \alpha=0,05$ aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D na simplificação através da comparação de soluções foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-59 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	278,62
Designer há menos de 2 anos	124	283,52
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	281,46
Designer há mais de 5 anos	106	264,51
Total	554	

Quadro 6-60 – Quadro de estatísticas de teste

	Simplificar através da comparação de soluções
Qui-quadrado	1,038
gl	3
Significância Assint.	,792

6.6.7 Efeito CAD 3D - "Concretizar ideias mais rapidamente" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-61 e 6-62, podemos concluir que a valorização que os designers atribuem a este efeito é melhor, em todos os graus da escala, do que a opinião dos alunos apesar de , entre os diferentes níveis de experiência, se verificarem ligeiras diferenças. No entanto, 64% dos total dos inquiridos considera muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D para concretizar ideias mais rapidamente. Apenas 13% consideram este efeito pouco ou nada importante. A média situa-se em torno do valor 3,7 e a mediana em 4. Os coeficientes de variação são superiores a 30% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-61 - Efeito "Concretizar ideias mais rapidamente "

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	14 2,5%	5 0,9%	4 0,7%	6 1,1%	29 5,2%
Pouco importante	7 1,3%	15 2,7%	12 2,2%	8 1,4%	42 7,6%
Importante	38 6,9%	35 6,3%	24 4,3%	26 4,7%	123 22,2%
Muito Importante	96 17,3%	39 7,0%	28 5,1%	40 7,2%	203 36,6%
Fundamental	75 13,5%	30 5,4%	26 4,7%	26 4,7%	157 28,3%

Quadro 6-62 – Estatísticas descritivas - Efeito "Concretizar ideias mais rapidamente "

Concretizar ideias mais rapidamente				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,92	4,00	230	1,077
Designer há menos de 2 anos	3,60	4,00	124	1,104
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,64	4,00	94	1,144
Designer há mais de 5 anos	3,68	4,00	106	1,100
Total	3,75	4,00	554	1,105

6.6.7.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-63 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-64 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,009 < \alpha=0,05$ rejeitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D na concretização de ideias mais

rapidamente não é a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência em pelo menos um dos grupos.

Quadro 6-63 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	303,19
Designer há menos de 2 anos	124	252,51
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	260,87
Designer há mais de 5 anos	106	265,74
Total	554	

Quadro 6-64 – Quadro de estatísticas de teste

	Concretizar ideias mais rapidamente
Qui-quadrado	11,492
gl	3
Significância Assint.	,009

Na figura 6-1 é notória a diferença entre os alunos e designers há menos de 2 anos e mais de 5 anos, apesar da distribuição ser muito semelhante à dos designer que têm entre 2 anos e 5 anos de experiência.

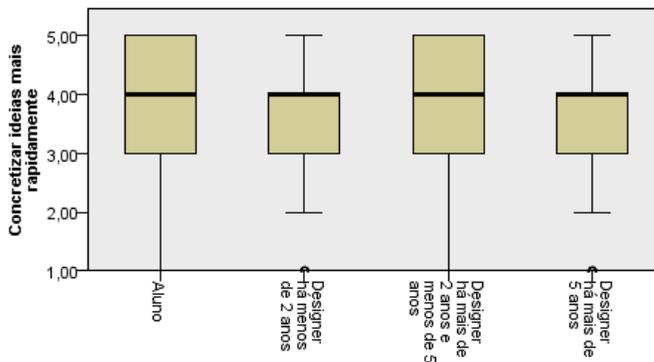


Figura 6-1 – Box Plot de comparação das medianas entre grupos

Verifica-se ainda que, de acordo com a comparação múltipla de médias das ordens obtidas pelo método descrito em Maroco (2010)²⁴⁶, há diferenças significativas entre os alunos e os designers (quadro F-1 do anexo F).

6.6.8 Efeito CAD 3D - "Reconhecimento de falhas e erros" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-65 e 6-66, podemos concluir que a valorização que os designers atribuem a este efeito é ligeiramente melhor do que a opinião dos alunos. Cerca de 71% do total dos inquiridos considera muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D para o reconhecimento de falhas e erros. Apenas 8,7% do total consideram este efeito pouco ou nada importante, com os designers a contribuir com 6,3% deste valor. A média situa-se em torno do valor 3,9 e a mediana em 4. Os coeficientes de variação são superiores a 25% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-65 - Efeito "Reconhecimento de falhas e erros"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	11 2,0%	3 0,5%	2 0,4%	4 0,7%	20 3,6%
Pouco importante	2 0,4%	9 1,6%	7 1,3%	10 1,8%	28 5,1%
Importante	40 7,2%	31 5,6%	18 3,2%	26 4,7%	115 20,8%
Muito importante	98 17,7%	43 7,8%	33 6,0%	29 5,2%	203 36,6%
Fundamental	79 14,3%	38 6,9%	34 6,1%	37 6,7%	188 33,9%

²⁴⁶ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 371

Quadro 6-66 – Estatísticas descritivas - Efeito "Reconhecimento de falhas e erros"

Reconhecimento de falhas e erros				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,01	4,00	230	,993
Designer há menos de 2 anos	3,84	4,00	124	1,023
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,96	4,00	94	1,026
Designer há mais de 5 anos	3,80	4,00	106	1,133
Total	3,92	4,00	554	1,034

6.6.8.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-67 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-68 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,265 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D no reconhecimento de falhas e erros é a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-67 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Ordem das médias
Aluno	230	290,32
Designer há menos de 2 anos	124	262,27
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	282,69
Designer há mais de 5 anos	106	262,89
Total	554	

Quadro 6-68 – Quadro de estatísticas de teste

	Reconhecimento de falhas e erros
Qui-quadrado	3,965
gl	3
Significância Assint.	,265

6.6.9 Efeito CAD 3D - "Simular soluções para facilitar modificação de conceitos" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-69 e 6-70, podemos concluir que a valorização que os designers atribuem a este efeito é melhor do que a opinião dos alunos. Cerca de 68,5% do total dos inquiridos considera muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D na simulação de soluções para facilitar modificação de conceitos. Apenas 11,6% do total consideram este efeito pouco ou nada importante. A média situa-se em torno do valor 3,9 e a mediana em 4. Os coeficientes de variação variam entre 25% e 30% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-69 - Efeito "Simular soluções para facilitar modificação de conceitos"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	21 3,8%	3 0,5%	2 0,4%	6 1,1%	32 5,8%
Pouco importante	10 1,8%	11 2,0%	5 0,9%	6 1,1%	32 5,8%
Importante	42 7,6%	31 5,6%	21 3,8%	16 2,9%	110 19,9%
Muito importante	98 17,7%	43 7,8%	34 6,1%	38 6,9%	213 38,4%
Fundamental	59 10,6%	36 6,5%	32 5,8%	40 7,2%	167 30,1%

Quadro 6-70 – Estatísticas descritivas - Efeito " Simular soluções para facilitar modificação de conceitos"

Simular soluções para facilitar a modificação de conceitos				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,71	4,00	230	1,165
Designer há menos de 2 anos	3,79	4,00	124	1,038
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,95	4,00	94	,988
Designer há mais de 5 anos	3,94	4,00	106	1,128
Total	3,81	4,00	554	1,104

6.6.9.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-71 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-72 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,182 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D para simular soluções para facilitar modificação de conceitos é a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-71 – Quadro de média das ordens (mean rank)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	265,99
Designer há menos de 2 anos	124	268,76
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	291,61
Designer há mais de 5 anos	106	300,19
Total	554	

Quadro 6-72 – Quadro de estatísticas de teste

	Simular soluções para facilitar a modificação de conceitos
Qui-quadrado	4,869
gl	3
Significância Assint.	,182

**6.6.10 Efeito CAD 3D - "Melhorar a compreensão do produto" -
 Estatísticas descritivas**

Dos quadros 6-73 e 6-74, podemos concluir que a valorização que os designers atribuem a este efeito é melhor do que a opinião dos alunos. Cerca de 88% do total dos inquiridos com 50,6% dos designers, a considerar muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D na melhoria da compreensão do produto. Apenas 3,4% do total consideram este efeito pouco ou nada importante. A média situa-se em torno do valor 4,4 e a mediana em 5. Os coeficientes de variação situam-se entre 17% e 20% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-73 - Efeito "Melhorar a compreensão do produto"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	6 1,1%	1 0,2%	1 0,2%	1 0,2%	9 1,6%
Pouco importante	4 0,7%	3 0,5%	1 0,2%	2 0,4%	10 1,8%
Importante	13 2,3%	16 2,9%	7 1,3%	12 2,2%	48 8,7%
Muito importante	93 16,8%	30 5,4%	33 6,0%	30 5,4%	186 33,6%
Fundamental	114 20,6%	74 13,4%	52 9,4%	61 11,0%	301 54,3%

Quadro 6-74 – Estatísticas descritivas - Efeito "Melhorar a compreensão do produto"

Melhorar a compreensão do produto				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,33	4,00	230	,868
Designer há menos de 2 anos	4,40	5,00	124	,863
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,43	5,00	94	,769
Designer há mais de 5 anos	4,40	5,00	106	,836
Total	4,37	5,00	554	,843

6.6.10.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-75 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-76 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,623 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D na melhoria da compreensão do produto é a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-75 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	267,98
Designer há menos de 2 anos	124	285,93
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	283,28
Designer há mais de 5 anos	106	283,16
Total	554	

Quadro 6-76 – Quadro de estatísticas de teste

	Melhorar a compreensão do produto
Qui-quadrado	1,763
gl	3
Significância Assint.	,623

6.6.11 Efeito CAD 3D - "Reconhecimento de requisitos desconhecidos" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-77 e 6-78, podemos concluir que a valorização que os designers e os alunos a este efeito é semelhante. Cerca de 47% do total dos inquiridos consideraram muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D para o reconhecimento de requisitos desconhecidos. Cerca de 20% do total consideram este efeito pouco ou nada importante. A média situa-se em torno do valor 3,3 e a mediana em 3. Os coeficientes de variação são superiores a 27% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-77 - Efeito "Reconhecimento de requisitos desconhecidos"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	35 6,3%	4 0,7%	1 0,2%	8 1,4%	48 8,7%
Pouco importante	12 2,2%	20 3,6%	14 2,5%	17 3,1%	63 11,4%
Importante	79 14,3%	50 9,0%	24 4,3%	30 5,4%	183 33,0%
Muito importante	79 14,3%	30 5,4%	36 6,5%	26 4,7%	171 30,9%
Fundamental	25 4,5%	20 3,6%	19 3,4%	25 4,5%	89 16,1%

Quadro 6-78 – Estatísticas descritivas - Efeito "Reconhecimento de requisitos desconhecidos"

Reconhecimento de requisitos desconhecidos				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,20	3,00	230	1,185
Designer há menos de 2 anos	3,34	3,00	124	1,035
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,62	4,00	94	1,006
Designer há mais de 5 anos	3,41	3,00	106	1,225
Total	3,34	3,00	554	1,139

6.6.11.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-79 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-80 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,061 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D no reconhecimento de requisitos desconhecidos é a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-79 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	263,58
Designer há menos de 2 anos	124	269,74
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	312,62
Designer há mais de 5 anos	106	285,62
Total	554	

Quadro 6-80 – Quadro de estatísticas de teste

	Reconhecimento de requisitos desconhecidos
Qui-quadrado	7,355
gl	3
Significância Assint.	,061

Ao considerarmos a significância marginal, entendemos que se justificava efetuar a comparação múltipla de médias das ordens, obtidas pelo método descrito em Maroco (2010)²⁴⁷. De facto, ao analisarmos o quadro F-2, do anexo F, registamos diferenças estatisticamente significativas entre os grupos de "alunos" e "designers há mais de 2 anos e menos de 5 anos" ($p=0,009$), e entre os grupos de "designers há menos de 2 anos" e "designers há mais de 2 anos e menos de 5 anos" ($p=0,042$).

6.6.12 Efeito CAD 3D - "Testar virtualmente funcionalidade do produto" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-81 e 6-82, podemos concluir que a valorização que os designers dão a este efeito é superior à dos alunos. Cerca de 71% do total dos inquiridos consideraram muito importante ou fundamental o contributo do CAD 3D para testar o funcionamento do produto. Cerca de 13% do total consideram este efeito pouco ou nada importante. A média situa-se em torno do valor 3,9 e a mediana em 4. Os coeficientes de variação são superiores a 29% o que indicia uma distribuição não homogénea.

²⁴⁷ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 371

Quadro 6-81 - Efeito "Testar virtualmente funcionalidade do produto"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	17 3,1%	5 0,9%	4 0,7%	3 0,5%	29 5,2%
Pouco importante	10 1,8%	18 3,2%	7 1,3%	10 1,8%	45 8,1%
Importante	30 5,4%	19 3,4%	18 3,2%	19 3,4%	86 15,5%
Muito importante	78 14,1%	42 7,6%	23 4,2%	28 5,1%	171 30,9%
Fundamental	95 17,1%	40 7,2%	42 7,6%	46 8,3%	223 40,3%

Quadro 6-82 – Estatísticas descritivas - Efeito "Testar virtualmente funcionalidade do produto"

Testar a funcionalidade do produto				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,97	4,00	230	1,178
Designer há menos de 2 anos	3,76	4,00	124	1,171
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,98	4,00	94	1,155
Designer há mais de 5 anos	3,98	4,00	106	1,121
Total	3,93	4,00	554	1,162

6.6.12.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-83 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-84 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,224 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação do CAD 3D para testar virtualmente a

funcionalidade do produto é a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-83 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Experiência	N	Média das ordens
Aluno	230	285,10
Designer há menos de 2 anos	124	252,38
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	285,14
Designer há mais de 5 anos	106	283,62
Total	554	

Quadro 6-84 – Quadro de estatísticas de teste

	Testar a funcionalidade do produto
Qui-quadrado	4,374
gl	3
Significância Assint.	,224

6.7 Valorização dos efeitos do uso das tecnologias de Prototipagem Rápida²⁴⁸

Da mesma forma que analisámos os efeitos do CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto, são objetivos nesta fase do estudo a verificação estatística da existência de uma relação entre os efeitos do uso da prototipagem rápida entre alunos e designers com diferentes níveis experiência.

No inquérito foi questionado se os inquiridos já tinham usado tecnologias PR no desenvolvimento de produto.

Quadro 6-85 – Utilização de tecnologias PR

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Não usou PR	106 19,1%	77 13,9%	36 6,5%	45 8,1%	264 47,7%
Usou PR	124 22,4%	47 8,5%	58 10,5%	61 11,0%	290 52,3%

Do quadro 6-85 verificamos que, no total, 52,35% dos alunos e designers usaram a tecnologia PR, respetivamente 22,38% e 29,96%.

Aos alunos e designers que usaram PR foi solicitado que valorizassem de 1 a 5 os possíveis efeitos do uso da utilização da Prototipagem Rápida (PR) na fase conceptual do processo de desenvolvimento de produto, que indicamos no quadro seguinte:

²⁴⁸ Utilizámos o termo Prototipagem Rápida em vez de Fabricação Aditiva pelo facto de ser mais familiar aos alunos e designers na altura da realização do inquérito.

Efeitos do uso da prototipagem rápida na fase conceptual

Apoiar e melhorar a comunicação
Estudar ergonomicamente o objeto
Encurtar etapas no desenvolvimento de produto
Proporcionar a otimização do produto
Concretizar ideias mais rapidamente
Reconhecimento de falhas e erros
Simular soluções para facilitar modificação de conceitos
Melhorar a compreensão do produto
Reconhecimento de requisitos desconhecidos
Testar funcionalidade do produto

6.7.1 Verificação da fiabilidade dos dados

Para verificarmos a consistência interna dos nossos dados efetuámos o teste de fiabilidade alfa de Cronbach, que determinou o valor de 0,875. Segundo Maroco (2006)²⁴⁹, este valor garante uma boa consistência dos resultados obtidos na determinação das relações a estabelecer.

Quadro 6-86 - Estatística de confiabilidade

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach com base em itens padronizados	N de itens
,875	,876	10

A matriz de correlação entre as variáveis apresenta valores positivos, na generalidade superiores a 0,3.

²⁴⁹ Maroco, J., & Marques, T. G. . op. cit. (2006).

6.7.2 Efeito PR - "Apoiar e melhorar a comunicação" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-87 e 6-88, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante como apoio e melhoraria da comunicação do produto. A valorização que os designers com diferentes níveis de experiência atribuem não é muito diferente da opinião dos alunos. Tanto a média como a mediana se situam em torno do valor perto de 4 com coeficientes de variação superiores a 20%, o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-87 - Efeito " Apoiar e melhorar a comunicação "

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	0 0,0%	0 0,0%	1 0,3%	3 1,0%	4 1,4%
Pouco importante	1 0,3%	4 1,4%	6 2,1%	7 2,4%	18 6,2%
Importante	15 5,2%	11 3,8%	9 3,1%	7 2,4%	42 14,5%
Muito Importante	48 16,6%	17 5,9%	17 5,9%	14 4,8%	96 33,1%
Fundamental	60 20,7%	15 5,2%	25 8,6%	30 10,3%	130 44,8%

Quadro 6-88 – Estatísticas descritivas - Efeito " Apoiar e melhorar a comunicação "

Apoiar e melhorar a comunicação				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,35	4,00	124	,722
Designer há menos de 2 anos	3,91	4,00	47	,952
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,02	4,00	58	1,084
Designer há mais de 5 anos	4,00	4,00	61	1,238
Total	4,14	4,00	290	,975

6.7.2.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-89 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-90 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,064 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR no apoio e melhoria da comunicação do produto foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-89 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Apoiar e melhorar a comunicação	Aluno	124	158,03
	Designer há menos de 2 anos	47	123,99
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	138,36
	Designer há mais de 5 anos	61	143,39
	Total	290	

Quadro 6-90 – Quadro de estatísticas de teste

	Apoiar e melhorar a comunicação
Qui-quadrado	7,262
gl	3
Significância Assint.	,064

Considerando a significância marginal foi aplicado o método de comparação múltipla das médias das ordens descrito em Maroco (2010)²⁵⁰ e determinaram-se as diferenças entre grupos representadas no quadro G-1 do anexo G.

²⁵⁰ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 233

É possível verificar que as diferenças significativas se registam entre o grupo dos "alunos" e o grupo "designers há menos de 2 anos" ($p=0,011$).

6.7.3 Efeito PR - "Estudar ergonomicamente o objeto" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-91 e 6-92, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante para o estudo ergonómico do objeto. A valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem é superior à dos alunos, correspondendo respetivamente a 33,4% e 30,3% a entenderem que este efeito é fundamental. Apenas 4,1% do total consideram-no nada ou pouco importante. A média anda em torno de 4,4 e a mediana em 5 com coeficientes de variação superiores a 20% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-91 - Efeito "Estudar ergonomicamente o objeto "

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	0 0,0%	0 0,0%	1 0,3%	0 0,0%	1 0,3%
Pouco importante	1 0,3%	1 0,3%	3 1,0%	6 2,1%	11 3,8%
Importante	3 1,0%	5 1,7%	5 1,7%	4 1,4%	17 5,9%
Muito Importante	32 11,0%	16 5,5%	13 4,5%	15 5,2%	76 26,2%
Fundamental	88 30,3%	25 8,6%	36 12,4%	36 12,4%	185 63,8%

Quadro 6-92 – Estatísticas descritivas - Efeito "Estudar ergonomicamente o objeto "

Estudar ergonomicamente o objecto				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,67	5,00	124	,566
Designer há menos de 2 anos	4,38	5,00	47	,768
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,38	5,00	58	,970
Designer há mais de 5 anos	4,33	5,00	61	,978
Total	4,49	5,00	290	,799

6.7.3.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-93 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-94 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assimpótica.

Sendo $p=0,053 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR ao estudo ergonómico do objeto foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-93 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Estudar ergonomicamente o objecto	Aluno	124	158,50
	Designer há menos de 2 anos	47	130,68
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	140,22
	Designer há mais de 5 anos	61	135,52
	Total	290	

Quadro 6-94 – Quadro de estatísticas de teste

Estudar ergonomicamente o objecto	
Qui-quadrado	7,675
gl	3
Significância Assint.	,053

Considerando a significância marginal foi aplicado o método de comparação múltipla das médias das ordens descrito em Maroco (2010)²⁵¹ e determinaram-se as diferenças entre grupos representadas no quadro G-2 do anexo G.

É possível verificar que as diferenças significativas se registam entre o grupo "alunos" e os grupos "designers há menos de 2 anos" ($p=0,022$) e "designers há mais de 5 anos" ($p=0,038$).

6.7.4 Efeito PR - "Encurtar etapas no desenvolvimento de produto" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-95 e 6-96, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante no encurtar etapas no desenvolvimento de produto. A valorização dos designers, com diferentes níveis de experiência, é semelhante à dos alunos, correspondendo respetivamente a 39,3% e 37,2% a entenderem que este efeito é fundamental. Apenas 5,9% do total o consideram nada ou pouco importante. Neste caso regista-se uma diferença significativa no parâmetro "importante" com 5,2% para os alunos e 12,4% para os designers. A média anda em torno de 4 e a mediana em 4 com coeficientes de variação entre os 15% e 25% o que indicia uma distribuição não homogénea.

²⁵¹ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 233

Quadro 6-95 - Efeito "Encurtar etapas no desenvolvimento de produto "

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	0 0,0%	1 0,3%	3 1,0%	2 0,7%	6 2,1%
Pouco importante	1 0,3%	3 1,0%	5 1,7%	2 0,7%	11 3,8%
Importante	15 5,2%	10 3,4%	13 4,5%	13 4,5%	51 17,6%
Muito Importante	56 19,3%	20 6,9%	18 6,2%	24 8,3%	118 40,7%
Fundamental	52 17,9%	13 4,5%	19 6,6%	20 6,9%	104 35,9%

Quadro 6-96 – Estatísticas descritivas - Efeito "Encurtar etapas no desenvolvimento de produto "

Encurtar etapas no desenvolvimento do produto				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,28	4,00	124	,705
Designer há menos de 2 anos	3,87	4,00	47	,969
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,78	4,00	58	1,155
Designer há mais de 5 anos	3,95	4,00	61	,990
Total	4,04	4,00	290	,935

6.7.4.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-97 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-98 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,011 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR ao encurtar etapas no desenvolvimento de produto não foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-97 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Encurtar etapas no desenvolvimento do produto	Aluno	124	162,90
	Designer há menos de 2 anos	47	130,21
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	128,55
	Designer há mais de 5 anos	61	138,03
	Total	290	

Quadro 6-98 – Quadro de estatísticas de teste

Encurtar etapas no desenvolvimento do produto	
Qui-quadrado	11,067
gl	3
Significância Assint.	,011

Na figura 6-2 podemos verificar a diferença da distribuição dos alunos com a dos designers.

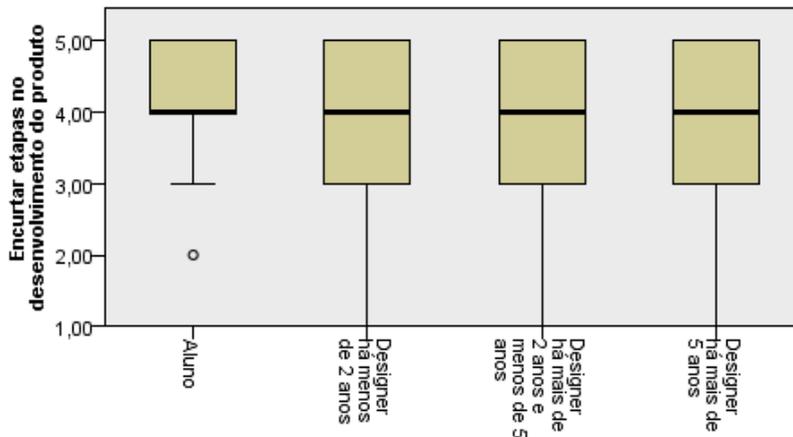


Figura 6-2 – Box Plot de comparação das medianas entre grupos

Considerando a significância inferior a 0,05 foi aplicado o método de comparação múltipla das médias das ordens descrito em Maroco (2010)²⁵² e determinaram-se as diferenças entre grupos representadas no quadro G-3 do anexo G.

É possível apurar que as diferenças significativas se registam entre o grupo "alunos" e todos os outros grupos. Entre os designers, com diferentes graus de experiência, não se verificaram diferenças significativas.

6.7.5 Efeito PR - "Proporcionar a otimização do produto" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-99 e 6-100, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante ao proporcionar a otimização do produto. A valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem, é superior à dos alunos, correspondendo respetivamente a 45,1% e 38,5% a entenderem que este efeito é muito importante ou fundamental. Apenas 4,9% do total o consideram nada ou pouco importante. A média anda em torno de 4,2 e a mediana em 4 com coeficientes de variação entre 15% e 30% o que indicia uma distribuição não homogénea.

²⁵² Maroco, J. op. cit. (2010). p. 233

Quadro 6-99 - Efeito "Proporcionar a otimização do produto"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	0 0,0%	1 0,3%	4 1,4%	1 0,3%	6 2,1%
Pouco importante	1 0,3%	1 0,3%	3 1,0%	3 1,0%	8 2,8%
Importante	12 4,1%	6 2,1%	7 2,4%	9 3,1%	34 11,7%
Muito importante	54 18,6%	19 6,6%	23 7,9%	21 7,2%	117 40,3%
Fundamental	57 19,7%	20 6,9%	21 7,2%	27 9,3%	125 43,1%

Quadro 6-100 – Estatísticas descritivas - Efeito "Proporcionar a otimização do produto"

Proporcionar a otimização do produto				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,35	4,00	124	,687
Designer há menos de 2 anos	4,19	4,00	47	,900
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,93	4,00	58	1,153
Designer há mais de 5 anos	4,15	4,00	61	,963
Total	4,20	4,00	290	,899

6.7.5.1 Aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-101 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-102 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,239 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR de proporcionar a otimização do produto foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-101 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Proporcionar a otimização do produto	Aluno	124	154,54
	Designer há menos de 2 anos	47	144,60
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	129,57
	Designer há mais de 5 anos	61	142,98
	Total	290	

Quadro 6-102 – Quadro de estatísticas de teste

	Proporcionar a otimização do produto
Qui-quadrado	4,215
gl	3
Significância Assint.	,239

6.7.6 Efeito PR - "Concretizar ideias mais rapidamente" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-103 e 6-104, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante na concretização de ideias mais rapidamente. A valorização que os designers com diferentes níveis de experiência atribuem não é muito diferente da opinião dos alunos com 70% do total dos intervenientes que usaram PR a considerar este efeito muito importante ou fundamental. Apenas 9% do total o consideram nada ou pouco importante. A média anda em torno de 3,9 e a mediana em 4 com coeficientes de variação entre 15% e 30% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-103 - Efeito "Concretizar ideias mais rapidamente "

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	0 0,0%	2 0,7%	2 0,7%	2 0,7%	6 2,1%
Pouco importante	1 0,3%	6 2,1%	8 2,8%	5 1,7%	20 6,9%
Importante	20 6,9%	12 4,1%	12 4,1%	16 5,5%	60 20,7%
Muito Importante	61 21,0%	9 3,1%	19 6,6%	14 4,8%	103 35,5%
Fundamental	42 14,5%	18 6,2%	17 5,9%	24 8,3%	101 34,8%

Quadro 6-104 – Estatísticas descritivas - Efeito "Concretizar ideias mais rapidamente "

Concretizar ideias mais rapidamente				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,16	4,00	124	,714
Designer há menos de 2 anos	3,74	4,00	47	1,224
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,71	4,00	58	1,140
Designer há mais de 5 anos	3,87	4,00	61	1,132
Total	3,94	4,00	290	1,009

6.7.6.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-105 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-106 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,091 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR para concretizar ideias mais rapidamente foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-105 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Concretizar ideias mais rapidamente	Aluno	124	158,42
	Designer há menos de 2 anos	47	135,02
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	129,64
	Designer há mais de 5 anos	61	142,39
	Total	290	

Quadro 6-106 – Quadro de estatísticas de teste

	Concretizar ideias mais rapidamente
Qui-quadrado	6,460
gl	3
Significância Assint.	,091

Considerando a significância marginal foi aplicado o método de comparação múltipla das médias das ordens descrito em Maroco (2010)²⁵³ e determinaram-se as diferenças entre grupos representadas no quadro G-4 do anexo G.

É possível verificar que as diferenças significativas se registam entre o grupo "alunos" e o grupo "designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos"(p=0,023).

6.7.7 Efeito PR - "Reconhecimento de falhas e erros" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-107 e 6-108, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante no reconhecimento de falhas e erros. A valorização que os designers, com

²⁵³ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 233

diferentes níveis de experiência, atribuem é superior à dos alunos correspondendo respetivamente a 47,3% e 39,3% a entenderem que este efeito é fundamental. Apenas 4,5% do total o consideram- nada ou pouco importante. A média anda em torno de 4,3 e a mediana em 5 com coeficientes de variação entre 15% e 25% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-107 - Efeito "Reconhecimento de falhas e erros"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	1 0,3%	0 0,0%	2 0,7%	1 0,3%	4 1,4%
Pouco importante	0 0,0%	3 1,0%	3 1,0%	3 1,0%	9 3,1%
Importante	9 3,1%	4 1,4%	5 1,7%	8 2,8%	26 9,0%
Muito Importante	56 19,3%	16 5,5%	10 3,4%	20 6,9%	102 35,2%
Fundamental	58 20,0%	24 8,3%	38 13,1%	29 10,0%	149 51,4%

Quadro 6-108 – Estatísticas descritivas - Efeito "Reconhecimento de falhas e erros"

Reconhecimento de falhas e erros				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,37	4,00	124	,692
Designer há menos de 2 anos	4,30	5,00	47	,883
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,36	5,00	58	1,071
Designer há mais de 5 anos	4,20	4,00	61	,963
Total	4,32	5,00	290	,867

6.7.7.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-109 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-110 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assimptótica.

Sendo $p=0,381 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR no reconhecimento de falhas e erros foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-109 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Reconhecimento de falhas e erros	Aluno	124	143,85
	Designer há menos de 2 anos	47	143,94
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	159,96
	Designer há mais de 5 anos	61	136,32
	Total	290	

Quadro 6-110 – Quadro de estatísticas de teste

	Reconhecimento de falhas e erros
Qui-quadrado	3,072
gl	3
Significância Assint.	,381

6.7.8 Efeito PR - "Simular soluções para facilitar modificação de conceitos" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-111 e 6-112, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante na simulação de soluções a fim de facilitar modificação de conceitos. A valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem é superior à dos alunos correspondendo respetivamente a 37,9% e 31,7% a entenderem que este efeito é muito importante ou fundamental. Apenas 8% do total o consideram nada ou pouco importante. A média anda em torno de 3,9 e a mediana em 4 com coeficientes de variação entre 19% e 30% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-111 - Efeito " Simular soluções para facilitar modificação de conceitos"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	0 0,0%	0 0,0%	3 1,0%	1 0,3%	4 1,4%
Pouco importante	2 0,7%	7 2,4%	7 2,4%	3 1,0%	19 6,6%
Importante	30 10,3%	10 3,4%	7 2,4%	15 5,2%	62 21,4%
Muito Importante	62 21,4%	18 6,2%	23 7,9%	20 6,9%	123 42,4%
Fundamental	30 10,3%	12 4,1%	18 6,2%	22 7,6%	82 28,3%

Quadro 6-112 – Estatísticas descritivas - Efeito " Simular soluções para facilitar modificação de conceitos"

Simular soluções para facilitar a modificação de conceitos				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,97	4,00	124	,743
Designer há menos de 2 anos	3,74	4,00	47	1,010
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,79	4,00	58	1,166
Designer há mais de 5 anos	3,97	4,00	61	,983
Total	3,90	4,00	290	,935

6.7.8.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-113 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-114 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,664 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR na simulação de soluções a fim de facilitar modificação de conceitos foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-113 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Simular soluções para facilitar a modificação de conceitos	Aluno	124	147,27
	Designer há menos de 2 anos	47	133,68
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	144,12
	Designer há mais de 5 anos	61	152,31
	Total	290	

Quadro 6-114 – Quadro de estatísticas de teste

	Simular soluções para facilitar a modificação de conceitos
Qui-quadrado	1,579
gl	3
Significância Assint.	,664

6.7.9 Efeito PR - "Melhorar a compreensão do produto" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-115 e 6-116, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante na melhoria da compreensão do produto. A valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem é superior à dos alunos correspondendo respetivamente a 49,3% e 40,0% a entenderem que este efeito é muito importante ou fundamental. Apenas 2,1% do o total consideram nada ou pouco importante. A média anda em torno de 4,4 e a mediana em 5 com coeficientes de variação entre 14% e 21% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-115 - Efeito "Melhorar a compreensão do produto"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Pouco importante	0 0,0%	0 0,0%	4 1,4%	2 0,7%	6 2,1%
Importante	8 2,8%	6 2,1%	4 1,4%	7 2,4%	25 8,6%
Muito Importante	53 18,3%	15 5,2%	18 6,2%	16 5,5%	102 35,2%
Fundamental	63 21,7%	26 9,0%	32 11,0%	36 12,4%	157 54,1%

Quadro 6-116 – Estatísticas descritivas - Efeito "Melhorar a compreensão do produto"

Melhorar a compreensão do produto				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,44	5,00	124	,616
Designer há menos de 2 anos	4,43	5,00	47	,715
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,34	5,00	58	,890
Designer há mais de 5 anos	4,41	5,00	61	,824
Total	4,41	5,00	290	,736

6.7.9.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-117 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-118 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,978 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR na melhoria da compreensão do produto foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-117 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Melhorar a compreensão do produto	Aluno	124	144,20
	Designer há menos de 2 anos	47	146,03
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	144,12
	Designer há mais de 5 anos	61	149,05
	Total	290	

Quadro 6-118 – Quadro de estatísticas de teste

	Melhorar a compreensão do produto
Qui-quadrado	,197
gl	3
Significância Assint.	,978

6.7.10 Efeito PR - "Reconhecimento de requisitos desconhecidos" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-119 e 6-120, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante na melhoria da compreensão do produto. A valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem é superior à dos alunos correspondendo respectivamente a 36,2% e 30,4% a entenderem que este efeito é muito importante ou fundamental. Apenas 9,6% do total o consideram nada ou pouco importante. A média anda em torno de 3,8 e a mediana em 4 com coeficientes de variação entre 20% e 29% o que indicia uma distribuição não homogênea.

Quadro 6-119 - Efeito "Reconhecimento de requisitos desconhecidos"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	0 0,0%	1 0,3%	2 0,7%	2 0,7%	5 1,7%
Pouco importante	5 1,7%	8 2,8%	4 1,4%	6 2,1%	23 7,9%
Importante	31 10,7%	10 3,4%	14 4,8%	14 4,8%	69 23,8%
Muito Importante	64 22,1%	20 6,9%	22 7,6%	17 5,9%	123 42,4%
Fundamental	24 8,3%	8 2,8%	16 5,5%	22 7,6%	70 24,1%

Quadro 6-120 – Estatísticas descritivas - Efeito "Reconhecimento de requisitos desconhecidos"

Reconhecimento de requisitos desconhecidos				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	3,86	4,00	124	,769
Designer há menos de 2 anos	3,55	4,00	47	1,039
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	3,79	4,00	58	1,039
Designer há mais de 5 anos	3,84	4,00	61	1,128
Total	3,79	4,00	290	,955

6.7.10.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-121 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-122 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,382 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR no reconhecimento de requisitos desconhecidos foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-121 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Posto Médio
Reconhecimento de requisitos desconhecidos	Aluno	124	147,95
	Designer há menos de 2 anos	47	127,51
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	147,28
	Designer há mais de 5 anos	61	152,69
	Total	290	

Quadro 6-122 – Quadro de estatísticas de teste

	Reconhecimento de requisitos desconhecidos
Qui-quadrado	3,063
gl	3
Significância Assint.	,382

6.7.11 Efeito PR - "Testar funcionalidade do produto" - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-123 e 6-124, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que o uso de PR produz um efeito muito importante no teste da funcionalidade do produto. A valorização que os designers, com diferentes níveis de experiência, atribuem é superior à dos alunos correspondendo respetivamente a 49,4% e 36,2% a entenderem que este efeito é muito importante ou fundamental. Apenas 2,8% do total o consideram nada ou pouco importante. A média anda em torno de 4,3 e a mediana em 4 e 5 com coeficientes de variação entre 18% e 21% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-123 - Efeito "Testar funcionalidade do produto"

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	1 0,3%	0 0,0%	1 0,3%	0 0,0%	2 0,7%
Pouco importante	1 0,3%	1 0,3%	1 0,3%	3 1,0%	6 2,1%
Importante	17 5,9%	7 2,4%	7 2,4%	3 1,0%	34 11,7%
Muito importante	50 17,2%	16 5,5%	16 5,5%	16 5,5%	98 33,8%
Fundamental	55 19,0%	23 7,9%	33 11,4%	39 13,4%	150 51,7%

Quadro 6-124 – Estatísticas descritivas - Efeito "Testar funcionalidade do produto"

Testar a funcionalidade do produto				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,27	4,00	124	,787
Designer há menos de 2 anos	4,30	4,00	47	,805
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,36	5,00	58	,892
Designer há mais de 5 anos	4,49	5,00	61	,809
Total	4,34	5,00	290	,817

6.7.11.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis

O quadro 6-125 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-126 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,123 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que a valorização do efeito da aplicação de PR para testar a funcionalidade do produto foi a mesma entre alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Quadro 6-125 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Posto Médio
Testar a funcionalidade do produto	Aluno	124	136,03
	Designer há menos de 2 anos	47	140,52
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	58	151,05
	Designer há mais de 5 anos	61	163,30
	Total	290	

Quadro 6-126 – Quadro de estatísticas de teste

	Testar a funcionalidade do produto
Qui-quadrado	5,782
gl	3
Significância Assint.	,123

6.8 Valorização dos efeitos do uso das tecnologias de Prototipagem Digital

Da mesma forma que analisámos individualmente os efeitos do CAD 3D e da Prototipagem Rápida na fase conceptual de desenvolvimento de produto, são objetivos nesta fase do estudo a verificação estatística da existência de uma relação entre os efeitos do uso da Prototipagem Digital como um conjunto das técnicas, entre alunos e designers com diferentes níveis de experiência.

No inquérito foi proposto aos inquiridos que avaliassem, numa escala de 1 a 5, a importância das tecnologias de Prototipagem Digital na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

6.8.1 Importância da Prototipagem Digital - Estatísticas descritivas

Dos quadros 6-127 e 6-128, podemos concluir que tanto os alunos como os designers admitem que a Prototipagem Digital é muito importante na fase conceptual de desenvolvimento de produto. A valorização que os alunos

atribuem é inferior à dos designers, com diferentes níveis de experiência, correspondendo respetivamente a 37,1% e 47,1% a entenderem que a PD é muito importante ou fundamental. Apenas 3,2% do total consideram-na nada ou pouco importante. A média anda em torno de 4,2 e a mediana em 4 com coeficientes de variação entre 16% e 22% o que indicia uma distribuição não homogénea.

Quadro 6-127 - Importância da Prototipagem Digital

	Experiência				Total
	Aluno	Designer há menos de 2 anos	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Designer há mais de 5 anos	
Nada importante	0 0,0%	2 0,4%	1 0,2%	2 0,4%	5 0,9%
Pouco importante	3 0,5%	5 0,9%	2 0,4%	3 0,5%	13 2,3%
Importante	21 3,8%	18 3,2%	13 2,3%	17 3,1%	69 12,5%
Muito importante	108 19,5%	60 10,8%	43 7,8%	46 8,3%	257 46,4%
Fundamental	98 17,7%	39 7,0%	35 6,3%	38 6,9%	210 37,9%

Quadro 6-128 – Estatísticas descritivas - Importância da Prototipagem Digital

Importância PD3D				
Experiência	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Aluno	4,31	4,00	230	,690
Designer há menos de 2 anos	4,04	4,00	124	,878
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,16	4,00	94	,820
Designer há mais de 5 anos	4,08	4,00	106	,896
Total	4,18	4,00	554	,805

6.8.1.1 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis a toda a amostra

O quadro 6-129 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-130 apresenta o valor da estatística de teste

Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,036 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que se observaram diferenças estatisticamente significativas na importância atribuída à Prototipagem Digital entre alunos e designers com diferentes graus de experiência que utilizam ou não CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

Quadro 6-129 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Importância PD3D	Aluno	230	297,95
	Designer há menos de 2 anos	124	254,12
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	273,79
	Designer há mais de 5 anos	106	263,77
	Total	554	

Quadro 6-130 – Quadro de estatísticas de teste

	Importância PD3D
Qui-quadrado	8,568
gl	3
Significância Assint.	,036

6.8.1.2 Aplicação do método de comparação múltipla de média das ordens

No ponto anterior, usando o teste de Kruskal-Wallis, concluímos que o nível de importância atribuído à PD é influenciado significativamente pelo grau de experiência. Isto quer dizer que, em pelo menos um dos grupos, a distribuição dos valores da importância da PD, difere significativamente das distribuições observadas em pelo menos um dos outros grupos.

Aplicando o método de comparação múltipla das médias das ordens descrito em Maroco (2010)²⁵⁴ determinaram-se as diferenças entre grupos representadas no quadro H-1 do anexo H.

É possível verificar que as diferenças significativas se registam entre o grupo "alunos" e os grupos "designers há menos de 2 anos" ($p=0,007$) e "designers há mais de 5 anos" ($p=0,047$).

6.8.1.3 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis ao conjunto dos designers que usam CAD 3D

Para verificar se há diferenças entre as opiniões dos designers que utilizam CAD 3D foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis que forneceu os resultados:

Quadro 6-131 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Importância PD3D	Designer há menos de 2 anos	87	118,31
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	69	125,92
	Designer há mais de 5 anos	83	116,85
	Total	239	

Quadro 6-132 – Quadro de estatísticas de teste

	Importância PD3D
Qui-quadrado	,871
gl	2
Significância Assint.	,647

O quadro 6-131 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-132 apresenta o valor da estatística de teste

²⁵⁴ ²⁵⁴ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 233

Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,647 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que não se observaram diferenças estatisticamente significativas na importância atribuída à Prototipagem Digital entre os designers, com diferentes graus de experiência, que utilizam CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

6.8.1.4 Aplicação do teste não- paramétrico de Kruskal-Wallis ao conjunto de todos os designers

Para verificar se existem diferenças significativas entre as opiniões dos designers, com diferentes graus de experiência, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis que forneceu os resultados apresentados nos quadros 6-133 e 6-134:

Quadro 6-133 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Experiência	N	Média das ordens
Importância PD3D	Designer há menos de 2 anos	124	157,43
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	94	168,82
	Designer há mais de 5 anos	106	162,83
	Total	324	

Quadro 6-134 – Quadro de estatísticas de teste

	Importância PD3D
Qui-quadrado	,924
gl	2
Significância Assint.	,630

O quadro 6-133 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 6-134 apresenta o valor da estatística de teste

Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,630 > \alpha=0,05$, aceitamos H_0 e concluímos que não se observaram diferenças estatisticamente significativas na importância atribuída à Prototipagem Digital entre os designers, com diferentes graus de experiência.

6.8.1.5 Aplicação da ANCOVA não- paramétrica de Quade a todos os grupos

Recorreu-se a esta metodologia porque a variável que mede a importância da Prototipagem Digital pode ser afetada significativamente, pelo facto dos participantes usarem ou não CAD 3D. Sendo assim, considerou-se contabilizar este efeito (controlo estatístico) sobre a variável em análise. O procedimento utilizado de aplicação da ANCOVA está de acordo com o descrito em Maroco (2010)²⁵⁵ para uma probabilidade de erro tipo I de $\alpha=0,05$.

Quadro 6-135 – Anova

ANOVA					
Unstandardized Residual					
	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	75658,782	3	25219,594	1,189	,313
Nos grupos	11669255,62	550	21216,828		
Total	11744914,40	553			

Contrariamente ao que sucedeu com a aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para a mesma situação, agora demonstrou-se que não existem diferenças estatisticamente significativas para a importância da Prototipagem Digital entre os grupos depois de considerado o efeito da covariável que traduz o uso de CAD 3D:

²⁵⁵ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 371

($F_{\text{ANCOVA não-paramétrica}}(3,550)=1,189; p=0,313 > \alpha=0,05$)

6.8.2 Verificação de hipóteses

Neste ponto serão relacionados os resultados e as hipóteses levantadas com o propósito da sua verificação.

6.8.2.1 Hipóteses relacionadas com as opções de representação de projeto

Quanto às opções de representação de projeto, o gráfico 6-7 ilustra a forma como os 554 inquiridos manifestaram as suas preferências.

Relativamente às hipóteses colocadas:

H2. Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo as diversas opções de representação de projeto.

H2.1 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo o texto como opção de representação de projeto.

H2.2 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo o esquema como opção de representação de projeto.

H2.3 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo o esquiço como opção de representação de projeto.

H2.4 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo a maquete como opção de representação de projeto.

H2.5 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo os modelos CAD 3D como opção de representação de projeto.

H2.6 Alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizam de igual modo os protótipos rápidos como opção de representação de projeto.

Estas hipóteses foram colocadas para atestar até que ponto as tecnologias de PD, que incluem os modelos CAD 3D e os protótipos rápidos, são valorizadas pela comunidade de designers e alunos de design como meios de representação de projeto.

Como não se verificaram condições de normalidade na amostra, considerámos o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis o mais adequado para evidenciar diferenças, estatisticamente significativas, na valorização atribuída pelos grupos, com distintos graus de experiência, aos métodos de representação.

Nos métodos de representação através de texto e esquema, o teste aplicado revelou diferenças estatisticamente significativas com valores de significância (p-valor) inferiores a 0,05. Em ambos os casos, de acordo com a comparação múltipla de médias das ordens apresentada nos quadros E-1 e E-2, do anexo E, a valorização destes métodos pelos alunos é significativamente diferente da dos designers.

Por outro lado, no que se refere aos modos de representação através de esquiço, maquetas, modelos CAD 3D e protótipos rápidos, o teste de Kruskal-Wallis evidenciou valores de significância (p-valor) superiores a 0,05 donde se concluí que não há diferenças significativas relativamente à importância dada por alunos e designers a estes métodos.

6.8.2.2 Hipóteses relacionadas com os efeitos do uso das tecnologias de PD na fase conceptual

Relativamente às hipóteses colocadas:

H3. Os efeitos do uso de tecnologias de PD na fase conceptual de desenvolvimento de produto são reconhecidos pelos alunos e designers, com diferentes níveis de experiência.

H3.1 Há relação na valorização dos efeitos do uso de tecnologias de CAD 3D entre alunos e designers, com diferentes níveis de experiência.

H3.2 Há relação na valorização dos efeitos do uso de tecnologias de PR entre alunos e designers, com diferentes níveis de experiência.

H3.3 Há relação na atribuição da importância no uso de tecnologias de PD entre alunos e designers, com diferentes níveis de experiência.

H3.4 Há relação na atribuição da importância no uso de tecnologias de PD entre os designers que as utilizam regularmente e os que não utilizam.

Estas hipóteses foram colocadas para atestar até que ponto os designers e alunos reconheçam efeitos com forte cariz cognitivo na utilização do CAD 3D e da Fabricação Aditiva.

6.8.2.2.1 Efeitos do uso das tecnologias de CAD 3D

Neste caso foram elencados dez possíveis efeitos promovidos pelo uso das tecnologias CAD 3D sobre os quais, designers e alunos se pronunciaram.

Quadro 6-136 - Efeitos do uso do CAD 3D na fase conceptual

Efeitos do uso de CAD 3D na fase conceptual

Apoiar a criatividade
Apoiar e melhorar a comunicação
Ocorrência de novas ideias
Simplificar através da comparação de soluções
Concretizar ideias mais rapidamente
Reconhecimento de falhas e erros
Simular soluções para facilitar modificação de conceitos
Melhorar a compreensão do produto
Reconhecimento de requisitos desconhecidos
Testar virtualmente funcionalidade do produto

Como não se verificaram condições de normalidade na amostra, considerámos o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis o mais adequado para evidenciar diferenças, estatisticamente significativas, na valorização atribuída pelos grupos, com distintos graus de experiência, aos efeitos de utilização do CAD 3D.

Em nove dos dez efeitos listados no quadro 6-136 não se verificaram diferenças estatisticamente significativas sobre a valorização dos diversos efeitos pelos alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Para o efeito de concretizar ideias mais rapidamente, a aplicação do teste de Kruskal-Wallis resultou numa significância (p-valor) de 0,009 inferior a 0,05 levando-nos a rejeitar a hipótese nula e a admitir que há diferenças estatisticamente significativas, na valorização atribuída entre os grupos. Neste caso, de acordo com a comparação múltipla de médias das ordens apresentada no quadro F-1, do anexo F, as diferenças com significado estatístico

registaram-se entre os alunos e os designers. Entre os grupos de designers, com diferentes graus de experiência, não se observaram diferenças significativas.

Para o efeito de reconhecimento de requisitos desconhecidos, a aplicação do teste de Kruskal-Wallis resultou numa significância marginal (p-valor) de 0,061 superior a 0,05, levando-nos a aceitar a hipótese nula e a admitir que não há diferenças estatisticamente significativas na valorização atribuída entre os grupos.

Ao considerarmos a significância marginal, entendemos que se justificava efetuar a comparação múltipla de médias das ordens. De facto, ao analisarmos o quadro F-2, do anexo F, registamos diferenças estatisticamente significativas entre os grupos de "alunos" e "designers há mais de 2 anos e menos de 5 anos" e entre os grupos de "designers há menos de 2 anos" e "designers há mais de 2 anos e menos de 5 anos".

6.8.2.3 Efeitos do uso das tecnologias de Prototipagem Rápida

Neste caso foram elencados dez possíveis efeitos promovidos pelo uso das tecnologias de prototipagem rápida, sobre os quais designers e alunos se pronunciaram. Só os inquiridos que assumiram já ter utilizado prototipagem rápida foram considerados no estudo.

Quadro 6-137 - Efeitos do uso da prototipagem rápida na fase conceptual

Efeitos do uso da prototipagem rápida na fase conceptual

- Apoiar e melhorar a comunicação
 - Estudar ergonomicamente o objeto
 - Encurtar etapas no desenvolvimento de produto
 - Proporcionar a otimização do produto
 - Concretizar ideias mais rapidamente
 - Reconhecimento de falhas e erros
 - Simular soluções para facilitar modificação de conceitos
 - Melhorar a compreensão do produto
 - Reconhecimento de requisitos desconhecidos
 - Testar funcionalidade do produto
-

Em cinco dos dez efeitos listados no quadro 6-137 não se verificaram diferenças estatisticamente significativas na valorização dos diversos efeitos pelos alunos e designers com diferentes graus de experiência.

Para o efeito de encurtar etapas no desenvolvimento de produto, a aplicação do teste de Kruskal-Wallis determinou diferenças estatisticamente significativas ($p=0,011$). No entanto, aplicando o método de comparação múltipla das médias das ordens, foi possível apurar que essas diferenças se registaram entre o grupo "alunos" e todos os outros grupos.

Quanto aos três efeitos: apoiar e melhorar a comunicação, estudar ergonomicamente o objeto e concretizar ideias mais rapidamente, apesar do teste de Kruskal-Wallis apresentar significâncias superiores a 0,05, considerámo-las marginais e, com o método de comparação múltipla das médias das ordens, determinámos diferenças estatisticamente significativas entre o grupo dos alunos e outros grupos de designers.

6.8.2.4 A importância da Prototipagem Digital

As hipóteses H3.3 e H3.4 pretendiam verificar até que ponto, os designers e alunos reconheciam a importância da PD na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

Num primeiro estudo aplicado a toda a amostra e utilizando o teste de Kruskal-Wallis, concluímos que o nível de importância atribuído à PD é influenciado significativamente pelo grau de experiência. Isto quer dizer que, em pelo menos um dos grupos, a distribuição dos valores da importância da PD, difere significativamente das distribuições observadas em pelo menos um dos outros grupos. Obtivemos um valor de significância $p=0,036$ que nos obrigava a rejeitar a hipótese nula.

Aplicando o método de comparação múltipla das médias das ordens descrito em Maroco (2010)²⁵⁶, determinaram-se as diferenças entre grupos representadas no quadro H-1 do anexo H.

Foi então possível verificar, que as diferenças significativas se registam entre o grupo "alunos" e os grupos "designers há menos de 2 anos" ($p=0,007$) e "designers há mais de 5 anos" ($p=0,047$).

Não se encontraram diferenças significativas entre os grupos de designers com diferentes níveis de experiência. Este facto foi comprovado pela aplicação particularizada do teste de Kruskal-Wallis a todos os designers que utilizam CAD 3D e ao grupo de todos os designers. Os testes referidos apresentaram significâncias respetivamente de $p=0,647$ e $p=0,630$ permitindo a aceitar a hipótese de que há relação na importância dada pelos grupos de designers à PD na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

²⁵⁶ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 371

Finalmente, admitindo que a variável que mede a importância da PD, entre os diversos grupos, pode ser afetada pelo facto dos participantes não usarem CAD 3D aplicou-se o teste da ANCOVA não-paramétrica de Quade que resultou num $p=0,313$.

Os resultados obtidos permitem-nos validar as duas hipóteses relacionadas com a importância dada pelos alunos e designers à PD na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

CAPÍTULO 7

3ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - PRODUTO

CRIATIVO

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS

7. 3ª FASE DA INVESTIGAÇÃO - PRODUTO CRIATIVO

7.1 Considerações gerais

Um dos objetivos definidos para esta investigação passava por demonstrar que após uma aprendizagem avançada em tecnologias de PD, alunos finalistas dos cursos de Design estariam em condições de aplicar técnicas 3D e assim desenvolver produtos considerados criativos.

A unidade curricular de Prototipagem Digital 3D do curso de Design Industrial da Escola Superior de Artes e Design foi proposta, em 2007, quando se implementou o processo de Bolonha, e resultou da necessidade de proporcionar aos alunos finalistas conhecimentos avançados no domínio das tecnologias para desenvolvimentos digital de produto. Após iniciação anterior em técnicas de desenho digital 3D²⁵⁷, na ótica da representação do projeto, nesta unidade curricular, pretende-se que o aluno aplique as tecnologias, também, como uma ferramenta cognitiva de desenvolvimento de projeto. O programa da unidade foca-se na exploração da flexibilidade de construção e modificação 3D, permitida por software paramétrico/relacional, aliada à simulação/otimização digital e à produção rápida de modelos e protótipos. Integra também a utilização de tecnologias de análise de elementos finitos e de sustentabilidade que, aplicadas ao projeto virtual 3D, permitirão reconhecer restrições físicas que, após corrigidas, conduzirão à otimização reduzindo a fase conceptual de desenvolvimento do produto.

²⁵⁷ No currículo do curso existem, no 2º ano, unidades curriculares de técnicas de representação digital 2D e 3D.

A fabricação aditiva, atualmente reconhecida como método emergente de produção, complementará o processo. Esta tecnologia, explanada em capítulos anteriores, permite criar protótipos físicos e objetos finais a partir da informação digital do projeto. Os modelos obtidos constituirão um auxílio visual e tátil excelente para a análise ergonómica do projeto, fundamental no processo de design.

Como professor numa escola de design sempre preconizei o ensino das tecnologias digitais, integradas no processo de design, através de projetos. Knoll (1997)²⁵⁸, após apresentar um historial sobre o método de aprendizagem por projetos, refere nos comentários finais:

" ... the project method is not a matter of empirical, hermeneutical, or strategic studies, but of "construction" (i.e., designing a house, building a playground, or producing a machine)."

No capítulo anterior, um grupo abrangente de designers valorizou grande parte dos efeitos, alguns com aspetos fortemente cognitivos, produzidos pela utilização da PD integrada no processo de design na fase conceptual de desenvolvimento.

Em diversas publicações de sua autoria, Lawson (2002)²⁵⁹ tem manifestado a necessidade de mais estudos sobre os efeitos do CAD no Design.

7.2 Modelos de Avaliação do Produto Criativo

Encontrámos na literatura interpretações diferenciadas de produto criativo e diversos modelos para a sua avaliação. Oman (2013)²⁶⁰ refere que a

²⁵⁸ Knoll, M. (1997). The project method: Its vocational education origin and international development. *Journal of Industrial Teacher Education*, 34(3), 59-80.

²⁵⁹ Lawson, B. (2002). CAD and Creativity: Does the Computer Really Help. *Leonardo*, 35(3), 327-331.

criatividade pode ser repartida em quatro categorias (ambiente, produto, processo e pessoa) e efetua um levantamento com profundidade das métricas usadas para avaliação em cada uma destas categorias. Para Michael (2000)²⁶¹, os estudos sobre criatividade incidem essencialmente sobre a pessoa criativa, o processo criativo e também o produto criativo. Para este autor, o projeto de um aluno é um produto criativo, e cita Basemer e O'Quin (1993)²⁶² que consideram o produto criativo como único, combinando a pessoa criativa e o processo num objeto tangível, representando a verdadeira medida da capacidade criativa da pessoa.

A maior parte da investigação sobre criatividade centra-se essencialmente na pessoa criativa e no processo criativo. A diversidade de artefactos considerados produtos dificulta uma definição consensual de produto criativo e dos critérios que o devem caracterizar.

Dois investigadores, Basemer e Trefinger (1981)²⁶³, através da revisão de mais de 90 artigos, determinaram cerca de 125 parâmetros diferenciados usados na avaliação da criatividade. Depois de distinguirem as semelhanças entre esses critérios chegaram a três dimensões principais, sendo que cada uma delas se poderia dividir em categorias mais específicas. Esta pesquisa resultou na proposta de uma métrica para avaliação do produto criativo denominada CPAM (*Creative Product Analysis Matrix*).

²⁶⁰ Oman, S., Tumer, I., Wood, K., & Seepersad, C. (2013). A comparison of creativity and innovation metrics and sample validation through in-class design projects. *Research in Engineering Design*, 24(1), 65-92.

²⁶¹ Michael, K. Y. (2000). *A comparison of students' product creativity using a computer simulation activity versus a hands-on activity in technology education*. Doctoral Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA. p. 9

²⁶² Michael, K. Y. apud Besemer, S. P., & O'Quin, K. (1993). Assessing creative products: Progress and potentials. In S. G. Isaksen (Ed.), *Nurturing and developing creativity: The emergence of a discipline* (pp. 331-349). New Jersey: Ablex Publishing Corp.

²⁶³ Besemer, S. P., & Trefinger, D. (1981). Analysis of creative products: review and synthesis. *The Journal of Creative Behavior*, 15(3), 158-178.

Em síntese, este modelo de avaliação assentava em três dimensões principais que apresentamos em resumo:

1. A Dimensão Novidade define-se em termos de novas técnicas e processos, novos materiais ou conceitos utilizados. As subcategorias associadas além do caráter da novidade indiciam a possibilidade do produto poder influenciar novos produtos:

1.1 Germinal: o produto sugere a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos criativos.

1.2 Original: o produto é pouco usual ou infrequente.

1.3 Transformacional: o produto é de tal modo revolucionário que convida os utilizadores a encarar a realidade sob outras perspetivas.

2. A Dimensão Resolução reflete o grau em que o produto resolve o problema implícito na sua criação, isto é, a sua utilidade ou grau de satisfação da finalidade para que foi criado. Associadas a esta dimensão estão as subcategorias:

2.1 Adequada: o produto responde às necessidades do problema.

2.2 Apropriada: a solução encaixa e está bem aplicada à situação que pretendia resolver.

2.3 Lógica: o produto segue regras aceites e compreendidas no seu contexto.

2.4 Útil: o produto mostra a sua utilidade de forma clara e prática.

2.5 Valiosa: o produto é considerado digno pelos utilizadores porque satisfaz necessidades financeiras, físicas, sociais ou psicológicas.

3. A Dimensão Elaboração e Síntese qualifica o grau em que o produto refina e combina como um todo os seus atributos estéticos e a sua complexidade. Associadas a esta dimensão estão as subcategorias:

- 3.1 Atrativo: o produto chama a atenção dos utilizadores.
- 3.2 Complexo: o produto contém elementos em diversos níveis.
- 3.3 Elegante: o produto expressa-se de forma compreensivelmente refinada.
- 3.4 Expressivo: o produto é comunicativo e compreensível.
- 3.5 Orgânico: o produto apresenta um sentido de totalidade.
- 3.6 Elaborado: o produto foi trabalhado de forma a conseguir um alto nível de desenvolvimento.

Este modelo foi a base para o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação da criatividade do produto, denominada CPSS (*Creative Product Semantic Scale*) validado, por O'Quin e Basemer (1999)²⁶⁴.

Outro dos métodos de avaliação do produto criativo, bastante usado em estudos ligados à arte e ao design, foi proposto por Amabile (1982)²⁶⁵ que se centra na seguinte definição de produto criativo:

“A product or response is creative to the extent that appropriate observers independently agree it is creative. Appropriate observers are those familiar with the domain in which the product was created or the response articulated. Thus creativity can be regarded as the quality of products or responses judged to be creative by appropriate observers, and it can also be regarded as the process by which something so judged is produced.”

A autora considera que, aos olhos de um observador, o produto deve ser original, apropriado, útil, correto ou valioso. Este método de avaliação é

²⁶⁴ Besemer, S. P., & O'Quin, K. (1999). Confirming the Three-Factor Creative Product Analysis Matrix Model in an American Sample. *Creativity Research Journal*, 12(4), 287-296.

²⁶⁵ Amabile, T. M. (1983). The Social Psychology of Creativity: A consensual assessment technique. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43(5), 997-1013.

denominado por CAT (Consensual Assessment Technique) com cinco categorias: Novidade, adequação, tecnicismo, harmonia e qualidade artística.

Ao compararem os métodos CAT e CPSS, Horn e Salvendy (2006)²⁶⁶ admitiram que ambos revelaram pontes fortes e fracas. Entendem que a finalidade do CAT será ligar o produto criativo a condições sociais, dando à criatividade um papel de julgamento subjetivo. Por outro lado, referem que o CPSS não se centra na associação com a pessoa ou o processo envolvido, mas num juízo mais objetivo do produto criativo. Os autores citam o artigo de Christians (2002)²⁶⁷ que questiona a necessidade de integrar a criatividade como um critério para avaliar a qualidade do produto criativo. Este estudo conclui que, qualquer que seja o método usado, a avaliação da criatividade dependerá sempre de julgamentos subjetivos enquanto não forem definidos critérios objetivos para estimar determinados parâmetros. Eram esperados resultados diferentes no campo do design de produto dado a objetividade de aspetos como a funcionalidade e a qualidade técnica global do produto; no entanto como referem os autores:

In this study, however, judgments by people with different levels of design expertise show that, in this respect, design assessment does not differ from art assessment. Interrater agreement between design teachers with professional design experience is low, and experts judge no better than nonexperts. They are even less able to differentiate between the assessment attributes than judges with an intermediate level of expertise (design students).

²⁶⁶ Horn, D., & Salvendy, G. (2006). Consumer-based assessment of product creativity: A review and reappraisal. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 16(2), 155-175.

²⁶⁷ Christiaans, H. H. C. M. (2002). Creativity as a Design Criterion. *Creativity Research Journal*, 14(1), 41-54.

A investigação no campo da avaliação da criatividade no design é vasta e novos processos têm sido testados, como é o caso de Oman (2013)²⁶⁸ que propõe dois métodos para avaliação da criatividade do conceito numa fase inicial do projeto denominada CCA (*Comparative Creativity Assessment*) e MPCA (*Multi-Point Comparative Creativity Assessment*) e outro investigador, Battey (2012)²⁶⁹, com a introdução de uma nova estrutura heurística para medir a criatividade.

Considerando a pesquisa que efetuámos neste campo e o grau de profundidade que pretendíamos, optámos por usar os parâmetros da Matriz de Análise do Produto Criativo como base para a avaliação dos produtos desenvolvidos pelos alunos no contexto deste estudo.

7.3 Metodologia de análise de dados - Análise do Produto Criativo

No presente estudo, pretendemos verificar se 3 designers, professores de Projeto com experiência profissional, têm a mesma perceção sobre se o aluno, com a sua proposta, descreve bem o objeto segundo os parâmetros da Matriz de Análise do Produto Criativo desenvolvida por Besemer&Quin (1998)²⁷⁰ descrita no ponto 7.2.

O enunciado do projeto, proposto aos alunos, apenas sugeria a realização de uma interface para um periférico tipo *mouse*, e que deveriam explorar livremente técnicas de modelação 3D avançadas, usando um software

²⁶⁸ Oman, S., Tumer, I., Wood, K., & Seepersad, C. op. cit. (2013).

²⁶⁹ Batey, M. (2012). The Measurement of Creativity: From Definitional Consensus to the Introduction of a New Heuristic Framework. *Creativity Research Journal*, 24(1), 55-65.

²⁷⁰ Besemer, S. P. (1998). Creative Product Analysis Matrix: Testing the Model Structure and a Comparison Among Products--Three Novel Chairs. *Creativity Research Journal*, 11(4), 333-346.

paramétrico²⁷¹, sem constrangimentos relativamente ao processo de produção, considerando que o modelo seria posteriormente impresso em 3D.

O primeiro mouse de Douglas Engelbart, apresentado na figura 7-1, serviu como motivação para os alunos. Um dos aspetos fundamentais a considerar no projeto, seria a ergonomia da interface.



Figura 7-1 – O primeiro rato de Douglas Engelbart (Fonte: *Mouse Site*²⁷²)

Nesta fase da unidade curricular todos os alunos estavam num nível avançado da aplicação das técnicas de modelação 3D utilizando, neste caso, o software *SolidWorks* há mais de dois anos.

Todos os projetos apresentados faziam parte de um dos elementos para a avaliação periódica da unidade curricular de Prototipagem Digital 3D do 3º ano do Curso de Design Industrial da Escola Superior de Artes e Design das Caldas da Rainha.

Durante três anos, de 2008 a 2010, foi proposto o mesmo enunciado aos diferentes alunos. Neste período, foram reservados todos os protótipos executados pelos alunos (58 modelos), para que a avaliação, pelos designers especialistas, se efetuasse apenas numa sessão.

²⁷¹ Todos os projetos foram desenvolvidos com o *SolidWorks*.

²⁷² Mouse site [em linha]. Acedido em dezembro 10, 2009 em <http://sloan.stanford.edu/mousesite/>

Cada designer analisou e testou um protótipo físico de cada objeto (no anexo B apresentam-se todos os projetos) e apontou a sua avaliação, nas diferentes dimensões, numa grelha previamente distribuída (anexo D) e preparada para cada projeto. Por opção dos intervenientes na avaliação, não houve discussão preliminar entre os três designers sobre os parâmetros em análise.

Foi utilizada uma escala tipo Lickert, com parâmetros contínuos partindo de 1 (não descreve o objeto) a 5 (descreve muito bem o objeto), para classificar 58 projetos de uma interface para periféricos tipo *mouse* como exemplificamos na figura 7-2.



Figura 7-2 – Exemplo de um dos modelos avaliados²⁷³

Os dados obtidos foram codificados e introduzidos no programa SPSS (versão 20) de forma a poderem ser tratados com vista à verificação das hipóteses propostas nesta investigação. Atendendo à subjetividade de alguns parâmetros, confirmada pela literatura sobre esta temática, nesta etapa pretendíamos verificar se existia concordância na avaliação efetuada pelos designers nas distintas dimensões do produto criativo.

²⁷³ Projeto de aluno do 3º ano do curso de Design Industrial da ESAD.CR realizado em 2010 na unidade curricular de Prototipagem Digital 3D

Por processos descritos anteriormente, verificámos que não existia normalidade na distribuição e decidimos usar o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis dado que este será o mais apropriado, segundo Maroco (2010)²⁷⁴, para testar se duas ou mais amostras provêm de uma mesma população ou de populações diferentes ou se, de igual modo, as amostras provêm de populações com a mesma distribuição.

Considerámos uma probabilidade de erro tipo I não superior a 5%.

7.3.1 Dimensão Novidade

A dimensão novidade traduz-se em termos de novos processos, materiais ou conceitos utilizados.

7.3.1.1 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Novidade/Germinal

Esta subdimensão do produto criativo sugere a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos. A hipótese nula para esta análise será:

H0 - A avaliação da dimensão novidade/germinal atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-1 e 7-2:

Quadro 7-1 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Germinal	RB	58	89,08
	FB	58	73,66
	SG	58	99,77
	Total	174	

²⁷⁴ Maroco, J. (2010). *Análise Estatística: Com Utilização do SPSS* (3ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo. p. 227

Quadro 7-2 – Quadro de estatísticas de teste

	Geminal
Qui-quadrado	8,707
gl	2
Significância Assint.	,013

O quadro 7-1 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 7-2 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,013 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de produto germinal.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças consideráveis nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-3.

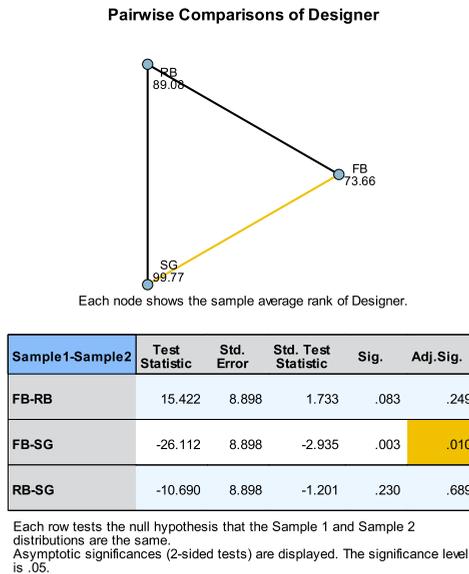


Figura 7-3 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas no par FB-SG o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.1.2 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Novidade/Original

Esta subdimensão do produto criativo aponta para o pouco usual ou infrequente. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão novidade/original atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-3 e 7-4:

Quadro 7-3 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Original	RB	58	94,42
	FB	58	74,86
	SG	58	93,22
	Total	174	

Quadro 7-4 – Quadro de estatísticas de teste

	Original
Qui-quadrado	6,007
gl	2
Significância Assint.	,050

Sendo $p=0,05 \leq \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes relativamente à noção de produto original.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças razoáveis nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-4.

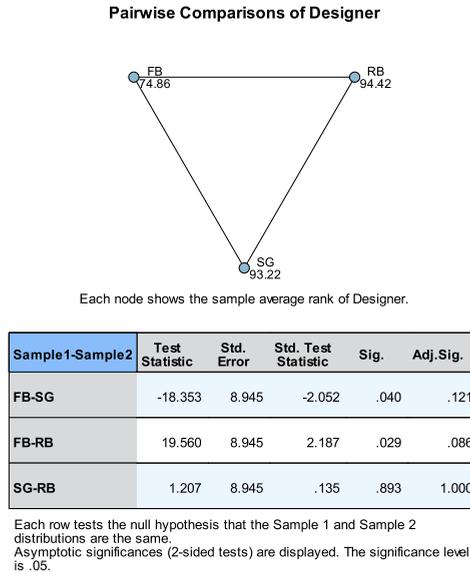


Figura 7-4 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que, curiosamente entre pares, o p-valor é superior a 0,05.

7.3.1.3 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Novidade/Transformacional

Esta subdimensão do produto criativo aponta para o caráter revolucionário e convida os utilizadores a encarar a realidade sob outras perspetivas. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão novidade/transformacional atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-5 e 7-6:

Quadro 7-5 – Quadro de média das ordens (mean rank)

	Designer	N	Posto Médio
Transformacional	RB	58	77,22
	FB	58	73,18
	SG	58	112,09
	Total	174	

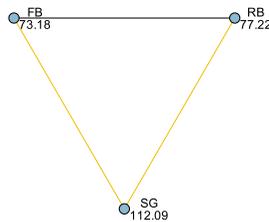
Quadro 7-6 – Quadro de estatísticas de teste

Transformacional	
Qui-quadrado	24,118
gl	2
Significância Assint.	,000

Sendo $p=0,00 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de produto transformacional.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças razoáveis nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-5.

Pairwise Comparisons of Designer



Each node shows the sample average rank of Designer.

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig.
FB-RB	4.043	8.713	.464	.643	1.000
FB-SG	-38.914	8.713	-4.466	.000	.000
RB-SG	-34.871	8.713	-4.002	.000	.000

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Figura 7-5 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares FB-SG e RB-SG o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.2 Dimensão Resolução

A dimensão resolução reflete o grau em que o produto resolve o problema implícito na sua criação, isto é, a sua utilidade ou grau de satisfação da finalidade para que foi criado

7.3.2.1 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Resolução/Adequada

Esta subdimensão do produto criativo aponta para a resposta do produto às necessidades do problema. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão resolução/adequada atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-7 e 7-8:

Quadro 7-7 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Adequada	RB	58	98,12
	FB	58	69,91
	SG	58	94,47
	Total	174	

Quadro 7-8 – Quadro de estatísticas de teste

	Adequada
Qui-quadrado	12,470
gl	2
Significância Assint.	,002

Sendo $p=0,002 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de resolução/adequada.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS na versão utilizada permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-6.

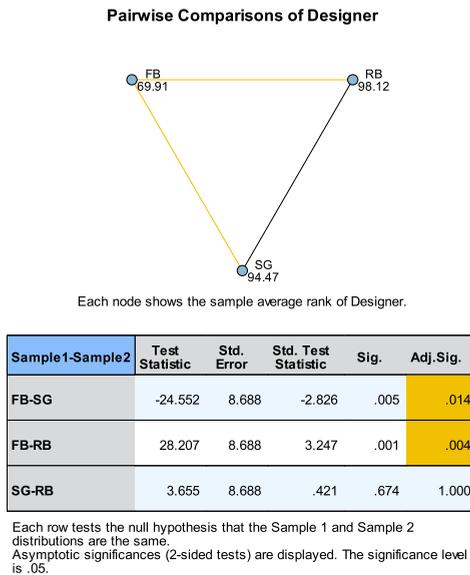


Figura 7-6 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares FB-SG e FB-RB o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.2.2 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Resolução/Apropriada

Esta subdimensão do produto criativo aponta para a aplicação correta ao problema que pretende resolver. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão resolução/apropriada atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-9 e 7-10:

Quadro 7-9 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Apropriada	RB	58	97,69
	FB	58	67,88
	SG	58	96,93
	Total	174	

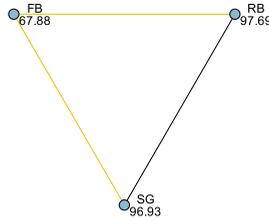
Quadro 7-10 – Quadro de estatísticas de teste

	Apropriada
Qui-quadrado	15,363
gl	2
Significância Assint.	,000

Sendo $p=0,000 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de resolução/apropriada.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-7.

Pairwise Comparisons of Designer



Each node shows the sample average rank of Designer.

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig.
FB-SG	-29.052	8.672	-3.350	.001	.002
FB-RB	29.810	8.672	3.437	.001	.002
SG-RB	.759	8.672	.087	.930	1.000

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Figura 7-7 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H0, constata-se que apenas entre os pares FB-SG e FB-RB o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.2.3 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Resolução/Lógica

Esta subdimensão do produto criativo verifica se este segue um esquema lógico e aceite como solução. A hipótese nula para esta análise será:

H0 - A avaliação da dimensão resolução/lógica atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-11 e 7-12:

Quadro 7-11 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Lógica	RB	58	96,82
	FB	58	69,45
	SG	58	96,23
Total		174	

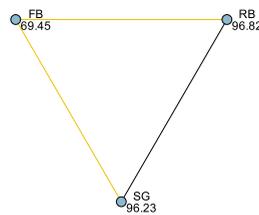
Quadro 7-12 – Quadro de estatísticas de teste

Lógica	
Qui-quadrado	12,766
gl	2
Significância Assint.	,002

Sendo $p=0,002 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de resolução/lógica.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-8.

Pairwise Comparisons of Designer



Each node shows the sample average rank of Designer.

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
FB-SG	-26.784	8.753	-3.060	.002	.007
FB-RB	27.371	8.753	3.127	.002	.005
SG-RB	.586	8.753	.067	.947	1.000

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Figura 7-8 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares FB-SG e FB-RB o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.2.4 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Resolução/Útil

Esta subdimensão do produto criativo mostra a sua utilidade de forma clara e prática. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão resolução/útil atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-12 e 7-13:

Quadro 7-13 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Útil	RB	58	82,62
	FB	58	76,31
	SG	58	103,57
	Total	174	

Quadro 7-14 – Quadro de estatísticas de teste

	Útil
Qui-quadrado	10,379
gl	2
Significância Assint.	,006

Sendo $p=0,006 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de resolução/útil.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-9.

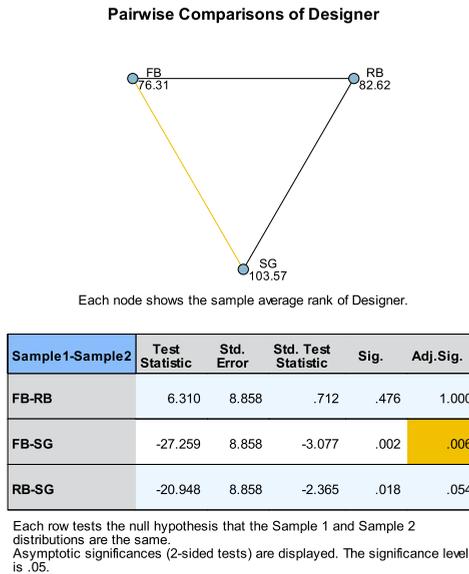


Figura 7-9 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares FB-SG o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.2.5 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Resolução/Valiosa

Esta subdimensão do produto considera-o adequado pelos utilizadores porque satisfaz necessidades físicas, sociais e psicológicas. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão resolução/valiosa atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-15 e 7-16:

Quadro 7-15 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Valiosa	RB	58	89,92
	FB	58	68,76
	SG	58	103,82
	Total	174	

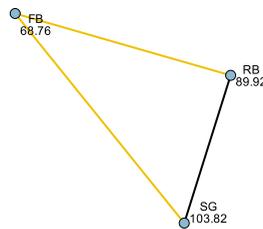
Quadro 7-16 – Quadro de estatísticas de teste

Valiosa	
Qui-quadrado	17,768
gl	2
Significância Assint.	,000

Sendo $p=0,000 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de resolução/valiosa.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-10.

Pairwise Comparisons of Designer



Each node shows the sample average rank of Designer.

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig.
FB-RB	21.164	8.377	2.526	.012	.035
FB-SG	-35.060	8.377	-4.185	.000	.000
RB-SG	-13.897	8.377	-1.659	.097	.291

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Figura 7-10 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares FB-SG e FB-RB o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.3 Dimensão Elaboração e Síntese

A Dimensão Elaboração e Síntese qualifica os atributos estéticos do produto, o seu grau de complexidade, refinamento, elegância e síntese.

7.3.3.1 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Elaboração/Atrativo

Esta subdimensão do produto criativo verifica se este chama a atenção dos utilizadores. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão elaboração/atrativo atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-17 e 7-18:

Quadro 7-17 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Atractivo	RB	58	104,59
	FB	58	75,53
	SG	58	82,37
Total		174	

Quadro 7-18 – Quadro de estatísticas de teste

	Atractivo
Qui-quadrado	12,021
gl	2
Significância Assint.	,002

Sendo $p=0,002 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de elaboração/atrativo.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS na versão utilizada permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-11.

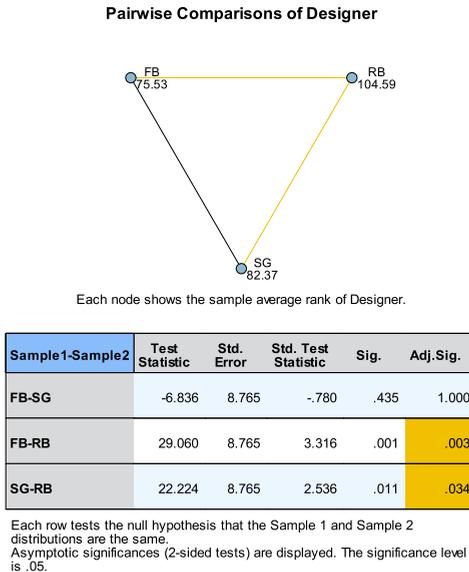


Figura 7-11 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H₀, constata-se que apenas entre os pares SG-RB e FB-RB o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.3.2 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Elaboração/Complexo

Esta subdimensão do produto criativo verifica se este contém muitos elementos em diversos níveis. A hipótese nula para esta análise será:

H₀ - A avaliação da dimensão elaboração/complexo atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-19 e 7-20:

Quadro 7-19 – Quadro de média das ordens (mean rank)

	Designer	N	Posto Médio
Complexo	RB	58	70,74
	FB	58	78,01
	SG	58	113,75
Total		174	

Quadro 7-20 – Quadro de estatísticas de teste

Complexo	
Qui-quadrado	27,230
gl	2
Significância Assint.	,000

Sendo $p=0,000 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de elaboração/complexo.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-12.

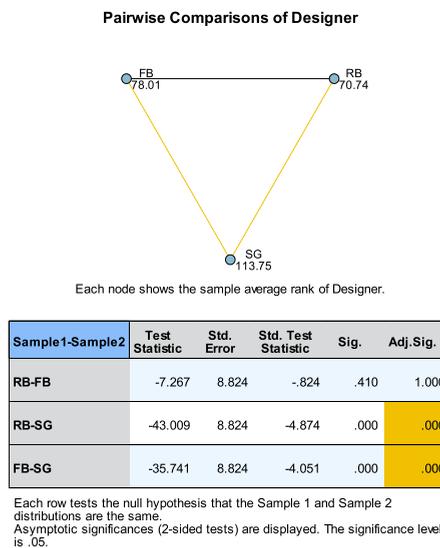


Figura 7-12 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares RB-SG e FB-SG o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.3.3 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão **Elaboração/Elegante**

Esta subdimensão do produto criativo verifica se este se expressa de forma refinada. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão elaboração/elegante atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-21 e 7-22:

Quadro 7-21 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

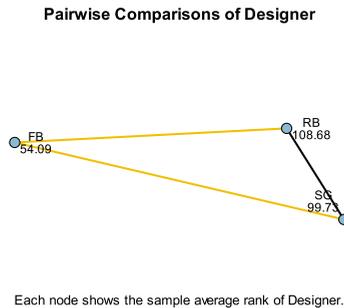
	Designer	N	Posto Médio
Elegante	RB	58	108,68
	FB	58	54,09
	SG	58	99,73
	Total	174	

Quadro 7-22 – Quadro de estatísticas de teste

	Elegante
Qui-quadrado	43,313
gl	2
Significância Assint.	,000

Sendo $p=0,000 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de elaboração/elegante.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-13.



Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
FB-SG	-45.647	8.898	-5.130	.000	.000
FB-RB	54.595	8.898	6.135	.000	.000
SG-RB	8.948	8.898	1.006	.315	.944

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Figura 7-13 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares FB-SG e FB-RB o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.3.4 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão Elaboração/Expressivo

Esta subdimensão do produto criativo verifica se este é comunicativo e compreensível. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão elaboração/expressivo atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-23 e 7-24:

Quadro 7-23 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Expressivo	RB	58	96,21
	FB	58	69,02
	SG	58	97,28
	Total	174	

Quadro 7-24 – Quadro de estatísticas de teste

	Expressivo
Qui-quadrado	13,335
gl	2
Significância Assint.	,001

Sendo $p=0,001 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de elaboração/expressivo.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS, na versão utilizada, permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-14.

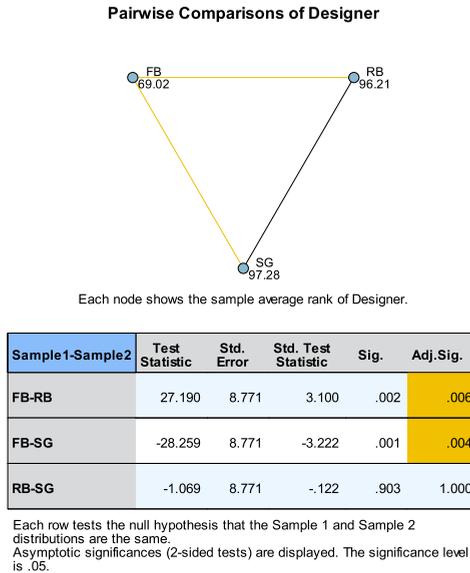


Figura 7-14 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares FB-SG e FB-RB o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.3.5 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão **Elaboração/Orgânico**

Esta subdimensão do produto criativo verifica se este apresenta um sentido de totalidade. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão elaboração/orgânico atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-25 e 7-26:

Quadro 7-25 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

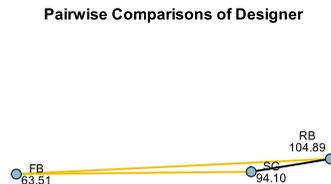
	Designer	N	Posto Médio
Orgânico	RB	58	104,89
	FB	58	63,51
	SG	58	94,10
	Total	174	

Quadro 7-26 – Quadro de estatísticas de teste

Orgânico	
Qui-quadrado	23,462
gl	2
Significância Assint.	,000

Sendo $p=0,000 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restante, relativamente à noção de dimensão de elaboração/orgânico.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS na versão utilizada permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-15.



Each node shows the sample average rank of Designer.

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig.
FB-SG	-30.595	8.863	-3.452	.001	.002
FB-RB	41.379	8.863	4.669	.000	.000
SG-RB	10.784	8.863	1.217	.224	.671

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Figura 7-15 – Comparação entre pares de grupos

Apesar do teste obrigar à rejeição de H_0 , constata-se que apenas entre os pares FB-SG e FB-RB o p-valor é inferior a 0,05.

7.3.3.6 Teste de Kruskal-Wallis para a dimensão **Elaboração/Elaborado**

Esta subdimensão do produto criativo verifica se este foi trabalhado de forma a conseguir um alto nível de desenvolvimento. A hipótese nula para esta análise será:

H_0 - A avaliação da dimensão elaboração/elaborado atribuída pelos três designers é igual.

Para verificar a hipótese nula foi efetuado o teste de Kruskal-Wallis que produziu os resultados constantes dos quadros 7-27 e 7-28:

Quadro 7-27 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Elaborado	RB	58	90,40
	FB	58	59,26
	SG	58	112,84
	Total	174	

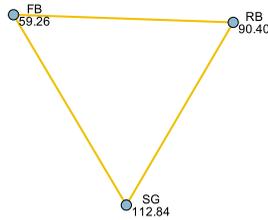
Quadro 7-28 – Quadro de estatísticas de teste

	Elaborado
Qui-quadrado	38,086
gl	2
Significância Assint.	,000

Sendo $p=0,000 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes, relativamente à noção de dimensão de elaboração elaborado.

Verifica-se ainda que, entre os grupos, há diferenças acentuadas nos valores da média das ordens. O SPSS na versão utilizada permitiu efetuar uma comparação entre os grupos apresentada na figura 7-16.

Pairwise Comparisons of Designer



Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig.
FB-RB	31.138	8.721	3.570	.000	.001
FB-SG	-53.586	8.721	-6.145	.000	.000
RB-SG	-22.448	8.721	-2.574	.010	.030

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

Figura 7-16 – Comparação entre pares de grupos

Constata-se que, entre todos os pares, o p-valor é inferior a 0,05. Nesta subdimensão há diferenças significativas de opinião entre os designers.

7.3.4 Considerações sobre a análise efetuada

Nesta 3ª fase da investigação colocámos as seguintes hipóteses:

H4. Com a utilização de tecnologias de PD 3D, na fase conceptual de desenvolvimento, a tipologia de projeto influencia a sua avaliação como produto criativo.

H4.1 Há relação entre a qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo.

H4.2 Como produto criativo, há relação entre um projeto desenvolvido para exploração de técnicas de PD 3D e um projeto de aplicação de técnicas.

O objetivo da avaliação deste projeto de exploração de técnicas, por três designers especialistas, seria obter uma média em cada dimensão, para posterior comparação com a avaliação, segundo os mesmos parâmetros, de um projeto onde as técnicas de PD 3D foram utilizadas para aplicação concreta a um projeto com especificações bem definidas.

Pela análise anterior, verificámos que há, em praticamente todas as dimensões do produto criativo, diferenças significativas na avaliação pelos designers. O resultado final apresentou diferenças ainda maiores como se demonstra nos quadros 7-29 e 7-30 após a aplicação do teste de Kruskal-Wallis.

Quadro 7-29 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Produto Criativo	RB	45	79,60
	FB	45	43,93
	SG	45	80,47
	Total	135	

Quadro 7-30 – Quadro de estatísticas de teste

	Produto Criativo
Qui-quadrado	25,632
gl	2
Significância Assint.	,000

Sendo $p=0,000 < \alpha=0,05$ rejeitamos H_0 e concluímos que existe pelo menos um designer que conduz a um grau de descrição do objeto diferente dos restantes relativamente à noção de produto criativo. O diagrama de extremos da figura 7-17 reforça esta conclusão.

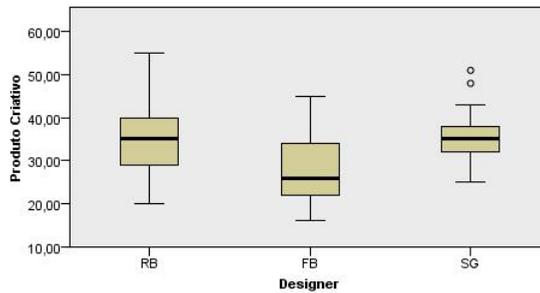


Figura 7-17 – Comparação das medianas entre pares de grupos

O designer referenciado como FB apresenta uma diferença razoável em relação a RB e SG. Pelo contrário, entre RB e SG as avaliações são muito semelhantes.

O teste de Kruskal-Wallis aplicado a estes dois designers, apresentado nos quadros 7-31 e 7-32, assim o comprova.

Quadro 7-31 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

	Designer	N	Posto Médio
Produto Criativo	RB	45	45,69
	SG	45	45,31
	Total	90	

Quadro 7-32 – Quadro de estatísticas de teste

	Produto Criativo
Qui-quadrado	,005
gl	1
Significância Assint.	,945

Sendo $p=0,945 < \alpha=0,05$ aceitamos H_0 e concluímos que os dois designers têm o mesmo grau de descrição do objeto relativamente à noção de produto criativo.

Por esta razão, na análise seguinte, consideraremos apenas a média das avaliações dos designers RB e SG. Assim obtivemos a avaliação do produto

criativo para um objeto desenvolvido para exploração das técnicas de modelação 3D.

7.3.5 Relação da avaliação do produto criativo com a qualidade/complexidade da modelação 3D

A hipótese que pretendemos estudar prende-se com a possível relação existente entre a avaliação do projeto como produto criativo e a qualidade/complexidade das técnicas de PD 3D usadas.

H0 A avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo são iguais.

Para esta situação, o professor da unidade curricular de Prototipagem Digital 3D, neste caso o próprio investigador, avaliou todos os projetos, em termos da sua qualidade/complexidade de modelação 3D²⁷⁵, numa escala de 0 a 100%.

As avaliações finais, em cada dimensão de produto criativo, resultaram da soma das respetivas subdimensões, que foram posteriormente convertidas para a mesma escala, nas devidas proporções. Considerou-se a avaliação final do produto criativo como a soma dos valores das três dimensões, convertido para uma escala de 0 a 100%.

7.3.5.1 Verificação da fiabilidade dos dados

Para verificarmos a consistência interna dos nossos dados efetuámos o teste de fiabilidade alfa de Cronbach, que determinou o valor de 0,89.

²⁷⁵ Entenda-se complexidade como o grau de utilização de técnicas avançadas de modelação de superfícies. A qualidade aplica-se à coerência na aplicação e à correção das superfícies em termos de continuidades e tangências.

Segundo Maroco (2006)²⁷⁶, este valor garante uma boa consistência dos resultados obtidos na determinação das relações a estabelecer.

Quadro 7-33 – Matriz de correlação entre itens

	Modelação 3D	Dimensão Novidade	Dimensão Resolução	Dimensão Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Modelação 3D	1,000	,322	,364	,419	,419
Dimensão Novidade	,322	1,000	,536	,697	,794
Dimensão Resolução	,364	,536	1,000	,818	,899
Dimensão Elaboração e Síntese	,419	,697	,818	1,000	,963
Produto Criativo	,419	,794	,899	,963	1,000

Como se verifica no quadro 7-33, os valores da correlação entre as variáveis apresentam, na generalidade, valores superiores a 0,32.

7.3.5.2 Projeto de exploração das técnicas - Estatísticas descritivas

Neste caso, foram avaliados 58 projetos desenvolvidos pelos estudantes segundo o enunciado descrito no ponto 7.1 deste capítulo. O projeto consistiu na realização de uma interface para um periférico tipo *mouse* onde os alunos exploraram livremente técnicas de modelação 3D avançadas, sem constrangimentos relativamente ao processo de produção. O modelo foi, posteriormente, produzido diretamente numa impressora em 3D.

A primeira constatação resultante do quadro 7-34 é a evidência de que a média da avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D, 75%, é significativamente superior à média do produto criativo, 50%.

²⁷⁶ Maroco, J., & Marques, T. G. op. cit. (2006).

Quadro 7-34 – Estatísticas descritivas - Projeto de exploração das técnicas

	Modelação 3D	Dimensão Novidade	Dimensão Resolução	Dimensão Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	75,09	44,60	49,83	52,18	49,72
Mediana	75,00	43,33	52,00	50,00	49,29
N	58	58	58	58	58
Desvio Padrão	14,06	13,66	9,96	8,12	7,90

Na avaliação do produto criativo, para este projeto de exploração de técnicas, os designers especialistas consideraram a dimensão novidade negativa, com 45% de média, a dimensão resolução marginalmente positiva, com 50% de média, e a dimensão elaboração/síntese positiva, com 52% de média. O produto criativo foi marginalmente positivo com 50% de média.

Apesar da distribuição, nas três dimensões do produto criativo, não ser homogénea se considerarmos que as medianas não são iguais à média. Verificamos que apenas na dimensão novidade o coeficiente de variação é superior a 20% mostrando uma maior dispersão dos valores do conjunto.

7.3.5.3 Verificação da normalidade dos dados

Efetuada o teste de Kolmogorov-Smirnov verificou-se que as duas variáveis seguem uma distribuição normal . A análise dos p-valores presentes no quadro 7-35, permite-nos aceitar as hipóteses de normalidade correspondentes ao nível de significância 0,05.

Quadro 7-35 – Teste de normalidade

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Produto Criativo	,073	58	,200 [*]	,984	58	,619
Modelação 3D	,102	58	,200 [*]	,961	58	,060

*. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

a. Correlação de Significância de Lilliefors

7.3.5.4 Aplicação do teste de paramétrico t para amostras emparelhadas

Dado que a distribuição das duas variáveis é normal, e considerando que a violação do princípio de homogeneidade de variâncias não impede a robustez dos testes paramétricos no caso da dimensão dos grupos ser igual²⁷⁷, vamos verificar se há diferenças estatisticamente significativas entre as avaliações do produto criativo e a qualidade/complexidade da modelação 3D, através do teste paramétrico t para amostras emparelhadas.

Quadro 7-36 – Teste t para amostras emparelhadas

		Diferenças emparelhadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Média	Desvio Padrão	Erro Padrão da Média	95% Intervalo de Confiança da Diferença				
					Inferior	Superior			
Par 1	Modelação 3D - Produto Criativo	25,36946	13,71755	1,80120	21,76261	28,97630	14,085	57	,000

Perante o p-valor= 0,000 apresentado no quadro 7-36, concluímos que a diferença entre médias de 25,37 é estatisticamente significativa. Este resultado implica a rejeição da hipótese nula de que havia igualdade entre a avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo, na situação em análise de exploração das técnicas.

7.3.5.5 Projeto de aplicação das técnicas - Estatísticas descritivas

Nesta nova situação foram avaliados 50 produtos (no anexo C apresentam-se todos os projetos) resultantes de dois *briefings* definidos pelo professor da unidade curricular de Projeto, que acompanhou os alunos e o desenvolvimento dos projetos durante o semestre. Em todos os projetos os alunos usaram técnicas de prototipagem digital, fundamentalmente modelação 3D e síntese de imagem, desde a fase conceptual. Alguns alunos executaram

²⁷⁷ Lix, L. M., Keselman, J. C., & Keselman, H. J. (1996). Consequences of Assumption Violations Revisited: A Quantitative Review of Alternatives to the One-Way Analysis of Variance "F" Test. *Review of Educational Research*, 66(4), 579-619.

manualmente o protótipo enquanto outros optaram por usar a prototipagem rápida.

Foi solicitado ao professor de Projeto, designer há mais de 10 anos e profissional na área, que avaliasse o trabalho dos alunos com base nos parâmetros da Matriz de Análise do Produto Criativo utilizada no ponto 7.3 deste capítulo.



Figura 7-18 – Exemplo de um dos modelos avaliados²⁷⁸

A qualidade/complexidade da modelação 3D foi avaliada pelo investigador com os parâmetros anteriormente utilizados. Neste caso, a complexidade não foi o elemento principal a estimar, pelo que foi atribuído um novo parâmetro de adequação das técnicas à forma final, condicionado pelo método de produção exigido no *briefing*.

Quadro 7-37 – Estatísticas descritivas - Projeto de aplicação das técnicas

	Modelação 3D	Dimensão Novidade	Dimensão Resolução	Dimensão Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	80,30	58,00	63,84	67,20	64,03
Mediana	80,00	53,33	60,00	63,33	60,00
N	50	50	50	50	50
Desvio Padrão	11,31	18,13	14,81	18,39	15,54

²⁷⁸ Projeto de aluno do 3º ano do curso de Design Industrial da ESAD.CR realizado em 2010/2011 na unidade curricular de Projeto

Também neste caso a distribuição não é homogénea, verificando-se coeficientes de variação superiores a 20% em todas as dimensões do produto criativo. Podemos concluir que a dispersão em relação à média é alta, tornando as distribuições pouco homogéneas.

Na avaliação do produto criativo, para este projeto de aplicação das técnicas, o quadro 7-37 mostra que todas as médias das dimensões são positivas: a dimensão novidade com 58%, a dimensão resolução com 64% e a dimensão elaboração/síntese com 67%. O produto criativo é também positivo com 64% de média.

7.3.5.6 Verificação da normalidade dos dados

Efetuada o teste de Shapiro-Wilk verificou-se que as duas variáveis seguem uma distribuição normal . A análise dos p-valores presentes no quadro 7-38, permite-nos aceitar as hipóteses de normalidade correspondentes ao nível de significância 0,05. Apesar do teste de Kolmogorov-Smirnov apresentar significâncias menores que 0,05, o facto da amostra ter apenas 50 elementos, e a análise das condições de assimetria e curtosis, permitem-nos aceitar a condição de normalidade.

Quadro 7-38 – Teste de normalidade

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Produto Criativo	,126	50	,044	,954	50	,052
Modelação 3D	,169	50	,001	,957	50	,068

a. Correlação de Significância de Lilliefors

7.3.5.7 Aplicação do teste de paramétrico t para amostras emparelhadas

Dado que a distribuição das duas variáveis se estabeleceu como normal, e considerando que a violação do princípio de homogeneidade de

variâncias não impede a robustez dos testes paramétricos no caso da dimensão dos grupos ser igual²⁷⁹, verificámos se existiam diferenças entre as avaliações do produto criativo e a qualidade/complexidade da modelação 3D através do teste paramétrico t para amostras emparelhadas.

Quadro 7-39 – Teste t para amostras emparelhadas

		Diferenças emparelhadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Média	Desvio Padrão	Erro Padrão da Média	95% Intervalo de Confiança da Diferença				
					Inferior				Superior
Par 1	Modelação 3D - Produto Criativo	16,27143	14,17618	2,00481	12,24260	20,30025	8,116	49	,000

Perante o p-valor= 0,000, apresentado no quadro 7-39, concluímos que a diferença entre médias de 16,27 é estatisticamente significativa. Este resultado implica a rejeição da hipótese nula de que havia igualdade entre a avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo na situação de aplicação das técnicas.

7.3.6 Relação da avaliação do produto criativo considerando o tipo do projeto

Neste ponto pretendemos verificar se há relação entre dois tipos de projeto: um realizado para exploração das técnicas de modelação 3D e outro para aplicação dessas técnicas a um briefing com condicionantes construtivas.

7.3.6.1 Estatísticas descritivas

Consideraram-se os 108 projetos desenvolvidos pelos estudantes. Do quadro 7-40 pode verificar-se um diferença razoável entre o projeto desenvolvido para exploração das técnicas, com 50%, e o que foi realizado aplicando as técnicas de forma direcionada, com 64%.

²⁷⁹ Lix, L. M., Keselman, J. C., & Keselman, H. J. op. cit. (1996).

As distribuições não são homogéneas, verificando-se coeficientes de variação de 15% no primeiro caso e 25% no segundo. Podemos concluir que a dispersão em relação à média é alta, tornando as distribuições pouco homogéneas

Quadro 7-40 –Estatísticas descritivas relativas ao Produto Criativo/Tipo de Projeto

Produto Criativo				
Tipo de Projecto	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Projecto de exploração de técnicas	49,72	49,29	58	7,90
Projecto de aplicação de técnicas	64,03	60,00	50	15,54

7.3.6.2 Verificação da normalidade e homogeneidade dos dados

Efetuada o teste de Kolmogorov-Smirnov verificou-se que, apesar de uma das variáveis apresentar uma distribuição normal, o mesmo não acontece para a outra. A análise dos p-valores presentes no quadro 7-41, obriga-nos a rejeitar as hipóteses de normalidade correspondentes ao nível de significância 0,05.

Quadro 7-41 –Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov

Tipo de Projecto	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Projecto de exploração de técnicas	,073	58	,200	,984	58	,619
Projecto de aplicação de técnicas	,126	50	,044	,954	50	,052

*. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de Levene apresentado no quadro 7-42 mostra valores de significância inferiores a 0,05 pelo que devemos também rejeitar a possibilidade da distribuição ser homogénea.

Quadro 7-42 – Teste de homogeneidade de variância

		Estatística de Levene			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
Produto Criativo	Com base em média	30,748	1	106	,000
	Com base em mediana	21,254	1	106	,000
	Com base em mediana e com gl ajustado	21,254	1	78,949	,000
	Com base em média aparada	30,867	1	106	,000

7.3.6.3 Aplicação do teste de não- paramétrico de Kruskal-Wallis

Pelo facto das distribuições não serem normais nem homogéneas, optámos por realizar o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis dado que este será o mais apropriado, segundo Maroco (2010)²⁸⁰, para testar se duas ou mais amostras provém de uma mesma população ou de populações diferentes ou se, de igual modo, as amostras provém de populações com a mesma distribuição.

Quadro 7-43 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

		N	Média das ordens
Produto Criativo	Projecto de exploração de técnicas	58	40,11
	Projecto de aplicação de técnicas	50	71,19
	Total	108	

²⁸⁰ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 227

Quadro 7-44 – Quadro de estatísticas de teste

	Produto Criativo
Qui-quadrado	26,464
gl	1
Significância Assint.	,000

O quadro 7-43 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 7-44 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,000 < \alpha=0,05$, rejeitamos H_0 e concluímos a avaliação do produto criativo é estatisticamente diferente entre as categorias de tipo de projeto.

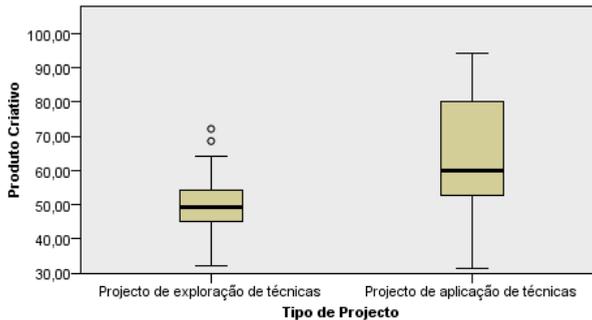


Figura 7-19 – Comparação das medianas entre grupos

7.3.7 Relação da avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D considerando o tipo do projeto

Neste ponto pretendemos verificar se há relação entre os dois tipos de projeto relativamente à avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D, sendo um realizado para exploração das técnicas de modelação 3D e outro para aplicação dessas técnicas a um briefing com condicionantes construtivas.

7.3.7.1 Estatísticas descritivas

Consideraram-se os 108 projetos desenvolvidos pelos estudantes. No quadro 7-45 pode verificar-se uma diferença de 5% entre o projeto desenvolvido para exploração das técnicas, com 75%, e o que foi realizado aplicando as técnicas de forma direcionada, com 80%.

As distribuições não são homogêneas verificando-se coeficientes de variação de 18% no primeiro caso e de 14% no segundo. Podemos concluir que a dispersão em relação à média não é muito alta.

Quadro 7-45 – Estatísticas descritivas relativas ao Modelação 3D/Tipo de Projeto

Modelação 3D				
Tipo de Projecto	Média	Mediana	N	Desvio Padrão
Projecto de exploração de técnicas	75,09	75,00	58	14,06
Projecto de aplicação de técnicas	80,30	80,00	50	11,31

7.3.7.2 Verificação da normalidade e homogeneidade dos dados

Efetuada o teste de Kolmogorov-Smirnov verificou-se que, apesar de uma das variáveis apresentar uma distribuição normal, o mesmo não acontece com a outra. A análise dos p-valores presentes no quadro 7-46, obriga-nos a rejeitar as hipóteses de normalidade correspondentes ao nível de significância 0,05.

O teste de Levene apresentado no quadro 7-47 mostra valores de significância inferiores a 0,05 pelo que devemos também rejeitar a possibilidade da distribuição ser homogênea.

Quadro 7-46 – Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov

Tipo de Projecto	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Projecto de exploração de técnicas	,102	58	,200	,961	58	,060
Projecto de aplicação de técnicas	,169	50	,001	,957	50	,068

*. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Quadro 7-47 – Teste de homogeneidade de variância

		Estatística de Levene			
			gl1	gl2	Sig.
Modelação 3D	Com base em média	4,553	1	106	,035
	Com base em mediana	4,608	1	106	,034
	Com base em mediana e com gl ajustado	4,608	1	105,745	,034
	Com base em média aparada	4,434	1	106	,038

7.3.7.3 Aplicação do teste de não- paramétrico de Kruskal-Wallis

Pelo facto das distribuições não serem normais nem homogéneas optámos por realizar o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, dado que este será o mais apropriado, segundo Maroco (2010)²⁸¹, para testar se duas ou mais amostras provém de uma mesma população ou de populações diferentes ou se, de igual modo, as amostras provém de populações com a mesma distribuição.

Quadro 7-48 – Quadro de média das ordens (*mean rank*)

Tipo de Projecto		N	Média das ordens
Modelação 3D	Projecto de exploração de técnicas	58	49,03
	Projecto de aplicação de técnicas	50	60,84
	Total	108	

²⁸¹ Maroco, J. op. cit. (2010). p. 227

Quadro 7-49 – Quadro de estatísticas de teste

	Modelação 3D
Qui-quadrado	3,872
gl	1
Significância Assint.	,049

O quadro 7-48 apresenta as dimensões de cada grupo e a média das ordens de cada grupo. O quadro 7-49 apresenta o valor da estatística de teste Qui-quadrado, os graus de liberdade e a probabilidade de significância assintótica.

Sendo $p=0,049 < \alpha=0,05$ rejeitamos H_0 e concluímos que a avaliação da qualidade/complexidade é estatisticamente diferente entre as categorias de tipo de projeto.

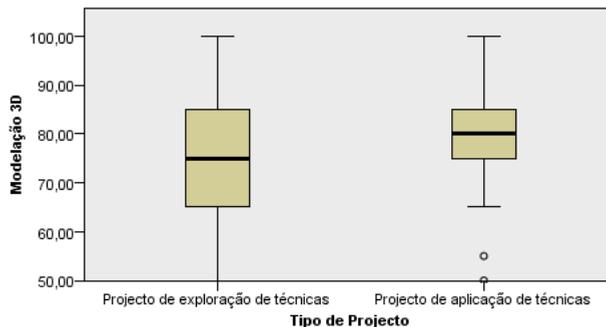


Figura 7-20 – Comparação das medianas entre grupos

7.3.8 Verificação de hipóteses

Neste ponto serão relacionados os resultados e as hipóteses levantadas com o propósito da sua verificação.

7.3.8.1 Hipóteses relacionadas com produto criativo

Nesta 3ª fase da investigação colocámos as seguintes hipóteses:

- **H4 Com a utilização de tecnologias de PD 3D, na fase conceptual de desenvolvimento, a tipologia de projeto influencia a sua avaliação como produto criativo.**
- H4.1 Há relação entre a qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo.
- H4.2 Como produto criativo, há relação entre um projeto desenvolvido para exploração de técnicas de PD 3D e um projeto de aplicação de técnicas.

Como se verificou, no campo do design, a avaliação do produto com base na criatividade não é linear. A diversidade da tipologia de artefactos e a forma como os intervenientes no processo de design encaram o tema da criatividade dificulta a objetividade que se pretendia. Será pouco provável encontrar avaliadores com opiniões similares sobre todos os parâmetros em análise. Este facto obrigou-nos a um estudo paralelo à investigação com resultados que, eventualmente, poderão ser objeto de futuras pesquisas.

Como todos os estudos neste campo, com características particulares e localizadas num determinado contexto, os resultados deverão ser analisados sem expectativas de generalização.

Com as hipóteses formuladas pretendíamos verificar a relação entre a qualidade/complexidade da modelação 3D e o produto criativo final. Testámos dois projetos diferenciados: um que se destinou exclusivamente à exploração das técnicas de modelação 3D avançadas, mas com o fito do uso e do fator humano; e outro que foi permanentemente acompanhado pelo professor de projeto, com um enunciado rígido em termos de futura produção, onde os alunos usaram a modelação e as técnicas de PD 3D perfeitamente integradas no processo de desenvolvimento de produto.

Para o primeiro caso, da observação simples das médias obtidas, constataram-se diferenças acentuadas entre a qualidade da modelação e a avaliação das diferentes dimensões, com a dimensão novidade a obter um valor negativo segundo a opinião dos designers avaliadores. Este facto poderá ser justificado pela mimetização dos objetos desenvolvidos com os existentes no mercado.

Aplicado o teste t para amostras emparelhadas, determinou-se um p-valor= 0,000 que nos permite concluir que a diferença entre médias de 25,37 é estatisticamente significativa. Este resultado implica a rejeição da hipótese nula de que havia igualdade entre a avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo na situação em análise de exploração das técnicas.

A hipótese H4.1 não se verifica dado que se demonstrou que não há relação entre a qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo na situação de exploração das técnicas.

Para o segundo caso, da observação simples das médias obtidas, constataram-se diferenças entre a qualidade da modelação e a avaliação das diferentes dimensões, com a dimensão elaboração e síntese a obter o valor mais próximo.

Aplicado o teste t para amostras emparelhadas determinou-se um p-valor= 0,000 que nos permite concluir que a diferença entre médias de 16,27 é estatisticamente significativa. Este resultado implica a rejeição da hipótese nula de que havia igualdade entre a avaliação da qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo na situação em análise de aplicação das técnicas.

A hipótese H4.1 também não se verifica dado que se demonstrou que não há relação entre a qualidade/complexidade da modelação 3D e a avaliação como produto criativo na situação de aplicação das técnicas.

Para a verificação da hipótese H4.2 consideraram-se 108 projetos e analisaram-se duas situações: comparação dos resultados como produtos criativos e comparação dos resultados referentes à qualidade da modelação 3D.

No primeiro caso verificou-se que a média do projeto desenvolvido com aplicação das técnicas foi superior em cerca de 14%. Da aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis resultou uma significância inferior a 0,05, o que nos levou a concluir que a hipótese H4.2 não se verifica em relação ao produto criativo.

No segundo caso verifica-se que a média do projeto desenvolvido com aplicação das técnicas foi superior em cerca de 5%. Da aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis resultou uma significância inferior a 0,05 o que nos levou a concluir que a hipótese H4.2 também não se verifica em relação ao qualidade da modelação 3D.

Globalmente, a hipótese 4 não se verifica. Ficou demonstrado, no caso em estudo, que com a utilização de tecnologias de PD 3D, na fase conceptual de desenvolvimento, a tipologia de projeto não influencia a sua avaliação como produto criativo.

CAPÍTULO 8
CONCLUSÕES

8. CONCLUSÕES

8.1 Conclusões

Muitas vezes, ao longo do texto, referimo-nos à experiência pessoal no domínio do ensino das tecnologias de projeto 3D. Esta prática acompanhou-nos durante a transição social para uma era digital. O facto de termos vivido parte da evolução do CAD e das interfaces gráficas e sentirmos a mudança nas atitudes e nas motivações dos alunos, levou-nos a investigar o tema e colocar a primeira hipótese que, de alguma forma, desencadeou esta investigação.

A interface das aplicações de CAD 3D influencia a curva de aprendizagem dos alunos.

Sabíamos por experiência que essa influência existia, e isso obrigou-nos a periódicas reformulações de modos mais tradicionais de encarar o ensino das tecnologias. Tínhamos a percepção, desde os primeiros tempos, em 1988, que o projeto por computador motivava naturalmente os alunos. Nessa época a linha de comandos, um ecrã com fundo negro e a capacidade da aplicação gerar formas 3D em modelo de arestas garantiam os atributos necessários para criar o que Norman (1993)²⁸² apelidava de ambiente educacional ideal.

Desde 1989 que transmitimos a alunos de design as potencialidades do uso dos computador na atividade projetual. Nesses tempos, nunca a

²⁸² Norman, D.A. (1993). Things that Make Us Smart: Defending Human Attributes in the Age of the Machine., New York: Addison-Wesley.

usabilidade quase nula das interfaces os condicionava, trabalhavam com uma intensidade elevada de interação provocada, em grande parte, pela motivação gerada e pela sensação contínua do desafio de ver em 3D o seu projeto.

Apesar da motivação intrínseca evidente, a grande questão, na altura, era o tempo que os alunos demoravam a atingir um nível de autonomia que lhes permitisse desenvolver projetos em tempo útil.

Pouco tempo depois estávamos em 2008, com aplicações de projeto por computador com a mesma função de modelar virtualmente objetos em 3D, mas agora com alunos da era digital, talvez alguns da geração de “nativos digitais” da teoria radical de Prensky (2001)²⁸³, com as novas interfaces tipo WIMP com janelas, ícones, menus, apontadores e manipulação direta. Propusemos a trinta alunos (futuros designers) efetuar um projeto 3D em trinta minutos com aplicações completamente desconhecidas destes.

Na primeira fase da investigação realizámos ensaios de interação onde a interface das aplicações 3D gerou, por si só, um ambiente de aprendizagem ideal. Da análise dos resultados, constatámos que o desenvolvimento digital de projeto 3D obriga a competências no âmbito da construção, modificação, manipulação de objetos e ainda na visualização tridimensional. Obtivemos então quatro estudos diferentes com duas interfaces distintas: o *3D Studio MAX* e o *SolidWorks*.

Globalmente consideramos que os resultados revelaram a facilidade com que a generalidade dos alunos se adaptou às interfaces e resolveu a grande parte dos problemas. A maioria atingiu normalmente o patamar de autonomia antes dos trinta minutos nos quatro níveis estabelecidos.

²⁸³ Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants. On the Horizon - NCB University Press, 9(5).

Sobre a realização da tarefa, a análise efetuada conduziu-nos a valores, para as duas interfaces de 70% com o *3D Studio MAX* e 60% com o *SolidWorks* respetivamente. O projeto proposto não era complexo em termos de modelação 3D mas a disposição espacial dos elementos exigia muita manipulação dinâmica e visualização. Nenhum aluno desistiu da tarefa e todos concluiriam se tivessem um pouco mais de tempo.

Como referimos anteriormente, a multiplicidade de interações presentes numa aplicação de projeto 3D obrigou-nos a efetuar para cada interface estudos diferenciados (construção, modificação, manipulação e visualização) que conduziram a tipos de autonomia distintos. As curvas resultantes dos dados obtidos revelaram uma evolução significativa nas competências dos alunos ao longo dos trinta minutos de tarefa. Com o *SolidWorks*, a evolução foi mais lenta, o que justificámos com uma maior complexidade na metodologia de construção. No entanto, atingido o patamar de autonomia, registaram-se progressões muito rápidas.

Depois de verificadas as condições para aplicação de testes paramétricos, as características da distribuição levaram-nos a realizar o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Este teste foi conduzido de forma a avaliar as diferenças entre os níveis de autonomia atingidos pelos alunos na utilização das duas interfaces em estudo. O teste apresentou diferenças estatisticamente significativas para todos os tipos de autonomia.

Para a situação descrita, numa fase inicial de exploração dos sistemas CAD, confirma-se a hipótese H1 de que a interface das aplicações de CAD 3D influencia a curva de aprendizagem dos alunos.

Este grupo, com cerca de trinta alunos, não pertencerá na sua totalidade à geração de “nativos digitais” da teoria radical de Prensky (2001)²⁸⁴ mas acreditamos que na proposta encontraram os ingredientes que proporcionaram o desafio de descobrir para construir. A naturalidade com que encararam o funcionamento dos periféricos (manipulação do rato) e a familiaridade com as respostas às ações no ecrã decerto provocaram a sensação de domínio e controlo, conducente às motivações essenciais para a aprendizagem.

Considerando a dimensão reduzida da amostra temos consciência do carácter circunscrito dos resultados que se limitará ao contexto desta investigação. No entanto, a adaptação rápida manifestada pelos futuros designers a diferentes aplicações CAD desconhecidas para eles, leva-nos a concluir que os obstáculos e ineficiências da integração do CAD no ensino do design, relatadas em muitos artigos referidos neste estudo, não terão razão de ser.

Na segunda etapa da investigação as respostas às diversas questões do inquérito colocadas a alunos e designers, com diferentes graus de experiência, e que foram assunto de análise detalhada nesta investigação, revelaram que grande parte da comunidade do Design, na área do produto, não dispensa as tecnologias de PD nas diversas fases do processo de desenvolvimento de produto. Mais de 65% , numa amostra de 554 alunos e designers de diversos países, frequentou durante o curso disciplinas de CAD e mais de 80% afirmou usar regularmente essas tecnologias durante a atividade projetual. Foram referidos programas diferenciados mas com grande incidência no *AutoCAD* (50%) e no *3D Studio MAX* da *Autodesk* (55%) e no *SolidWorks* da *Dassault Systems* (52%).

²⁸⁴ Prensky, M. op. cit. (2001).

Corroborando outros estudos neste domínio, o esquiço (90%) e o modelo CAD 3D (85%) foram os métodos de representação mais usados nas fases iniciais de projeto e a frequência com que o foram é independente dos graus de experiência dos designers. O protótipo rápido ainda não é muito utilizado em termos gerais, mas os designers com mais de 5 anos (27%) de experiência afirmaram que o usam regularmente. Relativamente ao uso do texto e do esquema, registaram-se diferenças estatisticamente significativas, entre os alunos e os designers, quanto à frequência do seu uso.

A hipótese H2 colocada sobre se alunos e designers, com diferentes níveis de experiência, valorizavam de igual modo as diversas opções de representação de projeto confirmou-se para todos os métodos de representação, exceto para o texto e o esquema.

A fim de determinar o objetivo da utilização de CAD 3D na fase conceptual, foram elencadas uma série de possibilidades e, através de seleção múltipla, os inquiridos que usavam CAD apontaram as diversas opções da sua aplicação nesta etapa inicial do processo de design. A generalidade dos inquiridos indicou aspetos centrados na comunicação e difusão do produto, (70%) mas registou-se uma ênfase assinalável em questões do desenvolvimento como: o apoio na criação do produto (71,5%), o teste e verificação de soluções (70%) e a concretização de soluções (46%). Segundo a opinião dos designers, o CAD 3D está perfeitamente integrado no ciclo de desenvolvimento de projeto não se limitando a opções de representação.

Referimos ao longo do texto que a observação de alunos finalistas a desenvolver projeto com técnicas CAD 3D indiciava aspetos cognitivos importantes resultantes da própria tecnologia. O carácter circunscrito e o grau de subjetividade de todos os estudos que analisámos sobre estes aspetos, levou-nos

a incluir e a questionar no inquérito a opinião dos alunos e designers sobre possíveis efeitos cognitivos da utilização do CAD 3D.

Grande parte dos efeitos apresentados mereceram valorizações expressivas de muito importante e fundamental. A melhoria da compreensão do produto foi o efeito mais valorizado com estes parâmetros por cerca de 90% da amostra. Confirmando as conclusões anteriores, o efeito de apoiar e melhorar a comunicação foi destacado por 80% dos inquiridos. Com mais de 60% seguiram-se a simulação de soluções para facilitar a modificação de conceitos (68%), o teste virtual do produto (70%), o reconhecimento de falhas e erros (66%), a concretização de ideias mais rapidamente (64%) e a simplificação através da comparação de soluções (60%).

Os efeitos menos valorizados dentro dos parâmetros máximos foram o apoio à criatividade (30%), a ocorrência de novas ideias (41%) e o reconhecimento de requisitos desconhecidos (46%).

Apenas o efeito da concretização de ideias mais rapidamente registou diferenças estatisticamente significativas de opinião entre os alunos e os outros grupos de designers.

Foi seguido o mesmo procedimento relativamente aos efeitos da prototipagem rápida na fase conceptual de desenvolvimento de produto. Apenas responderam a esta questão alunos e designers que já tivessem utilizado a tecnologia.

Todos os efeitos elencados foram considerados muito importantes ou fundamentais. O estudo ergonómico do objeto e a melhoria da compreensão do produto foram os efeitos mais valorizados, com cerca de 89%. Seguiram-se o reconhecimento de falhas e erros (87%), o teste da funcionalidade do produto (85%), o proporcionar a otimização do produto (83%), apoiar e melhorar a comunicação (78%), encurtar etapas no desenvolvimento do produto (76%),

concretizar ideias mais rapidamente (71%), simular soluções para facilitar a modificação de conceitos (71%) e o reconhecimento de requisitos desconhecidos (66%).

Apenas no efeito de encurtar etapas no desenvolvimento do produto foram registadas diferenças, estatisticamente significativas entre os alunos e os designers dos diversos grupos.

Destes estudos podemos concluir que todos possíveis efeitos da utilização do CAD 3D e da PR na fase conceptual de desenvolvimento de produto foram reconhecidos e valorizados positivamente pelos alunos e designers, com diferentes graus de experiência. Na sua maioria as opiniões não diferem significativamente.

A última questão colocada no inquérito referia-se à valorização das tecnologias de PD na fase conceptual de desenvolvimento de produto. Neste ponto, 83,4% dos inquiridos consideraram muito importantes e fundamentais estas tecnologias.

Não se registaram diferenças significativas entre os grupos de designers, com diferentes níveis de experiência. Os testes aplicados aos designers que utilizam CAD 3D e ao grupo de todos os designers apresentaram significâncias superiores a 0,05, permitindo a aceitar a hipótese de que há relação na importância dada pelos grupos de designers à PD na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

Numa primeira instância, aplicando o mesmo teste não-paramétrico, registaram-se diferenças estatisticamente significativas entre a opinião dos alunos e dos designers. Numa segunda abordagem, admitindo que a variável que mede a importância da PD entre os diversos grupos pode ser afetada pelo facto dos participantes não usarem CAD 3D, aplicou-se uma outra verificação e comprovou-se que há relação entre a opinião dos alunos e dos designers.

Neste caso, os resultados obtidos permitem-nos validar as hipóteses relacionadas com o reconhecimento da importância dada pelos alunos e designers à PD, na fase conceptual de desenvolvimento de produto.

Esta segunda etapa da investigação permite-nos concluir que, a comunidade inquirida, representando grupos diferenciados da área do design, manifestou uma opinião bastante favorável relativamente ao papel das diversas técnicas de prototipagem digital, na fase conceptual de desenvolvimento de produto. Grande parte dos elementos da amostra possuíam formação em CAD 3D e usam regularmente as tecnologias PD não só como forma de representação e comunicação do projeto mas também em domínios cognitivos do desenvolvimento do produto como o apoio à sua criação e ao teste de novas soluções. A maioria dos efeitos resultantes da aplicação das tecnologias PD em análise, a modelação 3D e a prototipagem rápida, foram positivamente valorizados por todos os grupos, independentemente da sua experiência. Mesmo efeitos de cariz fortemente cognitivo como o apoio à criatividade e a ocorrência de novas ideias foram considerados importantes por uma percentagem significativa dos designers.

Na terceira fase da investigação, propusemo-nos avaliar projetos de alunos finalistas em design de produto, com conhecimentos avançados ao nível da modelação 3D, desenvolvidos na unidade curricular de Prototipagem Digital 3D onde o investigador era professor.

Foram considerados dois tipos de projeto: o primeiro, com o objetivo de exploração livre das técnicas de modelação 3D, sem restrições em relação ao método de produção dado que o modelo final seria para imprimir em 3D; e o segundo, com um enunciado bem definido, orientado pelo professor de projeto, onde o aluno deveria aplicar as técnicas de modelação 3D integradas no processo de desenvolvimento até à produção de um protótipo.

Além da apreciação, pelo investigador, da qualidade e complexidade das técnicas de modelação 3D utilizadas, cada projeto foi também avaliado por designers, com experiência profissional, segundo o conjunto de parâmetros da Matriz de Análise do Produto Criativo. Esta matriz propõe três dimensões principais para o produto criativo: novidade, resolução e elaboração e síntese.

Constatámos que, no campo do design, a avaliação do produto com base na criatividade não é linear. A diversidade da tipologia de artefactos e a forma como os intervenientes no processo de design encaram o tema da criatividade dificultam a objetividade que se pretendia. Será pouco provável encontrar avaliadores com opiniões similares sobre todos os parâmetros em análise.

Para o primeiro objeto realizado para exploração das técnicas de modelação 3D, da observação simples das médias obtidas, constataram-se diferenças acentuadas entre a qualidade da modelação e a avaliação das diferentes dimensões do produto criativo. A média da dimensão novidade resultou num valor negativo. Este facto poderá ser justificado pela mimetização dos objetos desenvolvidos com os existentes no mercado ou pela rigidez do software que não permitiu aos alunos formas mais arrojadas.

No caso do objeto desenvolvido com a aplicação das técnicas de modelação 3D a um projeto típico, os resultados da avaliação como produtos criativos e da qualidade da modelação 3D foram superiores. Os alunos usaram as operações de modelação adequadas e alguns projetos atingiram valores como produtos criativos bastante positivos.

De qualquer modo, como seria espectável, os resultados globais mostraram que não há relação entre a qualidade da modelação 3D de um projeto e a sua avaliação como produto criativo, tanto para uma situação de exploração de técnicas como da sua aplicação.

Numa segunda análise pretendíamos determinar se existia alguma relação entre a avaliação atribuída aos projetos como produtos criativos e a tipologia de construção exploração/aplicação.

Também neste caso se comprovou que não há relação entre as avaliações do projeto como produto criativo, com a qualidade da modelação 3D e com a tipologia de construção.

Globalmente, a hipótese colocada não se verificou. Ficou demonstrado no caso em estudo que, com a utilização de tecnologias de PD 3D, na fase conceptual de desenvolvimento, a tipologia de projeto não influencia a sua avaliação como produto criativo.

A avaliação relativamente baixa como produtos criativos, principalmente na dimensão novidade, do projeto de exploração das técnicas poderá ser explicada pelo síndrome de *Earl Gray* referido por Lipson (2013)²⁸⁵ que recorda os tempos idos da série *Star Trek* e a famosa máquina replicadora (*Replicator*) de objetos. O autor, quando jovem, estranhava que os membros da tripulação só pedissem chá *Earl Gray* quando a máquina podia reproduzir hipoteticamente tudo. No nosso caso, propusemos aos alunos a execução de um periférico tipo *mouse* sem restrições formais dado que seria impresso em 3D, e a maioria centrou-se em tímidas variações de formas típicas de um projeto a produzir por injeção ou outro processo tradicional de produção.

Lipson (2013)²⁸⁶ relata uma situação idêntica com os seus alunos. Segundo o autor, os designers ainda não assimilaram a flexibilidade de projeto permitida pela impressão 3D ou talvez o software CAD pensado para as

²⁸⁵ Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc. p. 241

²⁸⁶ Lipson, H., & Kurman, M. *ibidem* (2013)

restrições do método de produção ainda não permita a liberdade de projeto que possibilite formas mais inovadores.

8.2 Conclusiones

En reiteradas ocasiones, a lo largo de la tesis, nos hemos referido a la consideración de la experiencia en el campo de la educación en tecnologías de diseño 3D. Esta práctica nos ha acompañado durante la transición social para una era digital. El hecho de haber vivido la evolución del CAD y las interfaces gráficas hasta la actualidad junto con haber sentido el cambio en las actitudes y motivaciones de los estudiantes nos llevó a investigar en esta tesis y proponer la primera hipótesis que de alguna manera originó esta investigación.

La interfaz de las aplicaciones CAD 3D influye en la curva de aprendizaje de los estudiantes.

Sabemos por experiencia, que esas influencias existen, obligándonos a reformular periódicamente los modos más tradicionales de abordar las enseñanzas de las tecnologías. Fuimos conscientes, desde los primeros tiempos (1988), que el proyecto por ordenador motivaba a los estudiantes. En una época, donde la línea de comandos, una pantalla con fondo negro y la capacidad de la aplicación para generar formas 3D, en el modelos de bordes con aristas, aseguraban los atributos necesarios para crear lo que Norman (1993)²⁸⁷ llamaba un entorno de educación ideal.

Desde el año 1989 transmitimos a los alumnos de diseño las potencialidades para el uso del ordenador en la actividad de proyectual. En esos tiempos, la usabilidad casi nula de las interfaces nunca los condicionaba, trabajaban con una alta intensidad de interacción causada en gran parte por la motivación generada, y una sensación continua de desafío que consistía en poder ver en 3D su proyecto.

²⁸⁷ Norman, D.A. (1993). Things that Make Us Smart: Defending Human Attributes in the Age of the Machine., New York: Addison-Wesley.

A pesar de la motivación intrínseca evidente, la gran pregunta en ese momento era el tiempo que los estudiantes necesitaban para llegar a un nivel de autonomía que les permitiese desenvolver proyectos en un tiempo útil.

Poco tiempo después, estábamos en 2008, con las solicitudes de proyectos por ordenador con la misma función de modelar virtualmente objetos 3D, pero ahora con los estudiantes en la era digital, tal vez algunos de la generación de "nativos digitales" de la teoría radical Prensky (2001)²⁸⁸ con las nuevas interfaces de tipo WIMP con ventanas, iconos, menús, punteros y manipulación directa. Propusimos a treinta estudiantes (futuros diseñadores) hacen un proyecto 3D en treinta minutos con aplicaciones completamente desconocidas de estos.

En la primera fase de la investigación se llevó a cabo ensayos de interacción en los que la interfaz de las aplicaciones 3D generó, por sí solo, un ambiente de aprendizaje ideal. Analizamos los resultados y constatamos que el desarrollo del diseño 3D digital requiere habilidades en la construcción, modificación, manipulación de objetos y hasta en la visualización tridimensional. Obtuvimos entonces cuatro estudios diferentes con dos interfaces diferentes: 3D Studio MAX y SolidWorks.

En general, creemos que los resultados revelaron la facilidad con la que la mayoría de los estudiantes se adapta a las interfaces y resuelve la mayoría de los problemas. La mayoría alcanzó el nivel de autonomía antes de treinta minutos en los cuatro niveles establecidos.

En cuanto al análisis realizado de la tarea llegamos a la conclusión que una interface se desarrolló con 70% con 3D Studio MAX y 60%, con

²⁸⁸ Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants. On the Horizon - NCB University Press, 9(5).

SolidWorks. El proyecto propuesto no era complejo en términos de modelado en 3D, pero la disposición espacial de los elementos requería una gran cantidad de visualización dinámica y la manipulación. Ningún estudiante abandonó la tarea y todos ellos concluyeron el trabajo antes de tiempo.

Como se mencionó anteriormente, la multiplicidad de interacciones presentes en una aplicación de diseño 3D, nos obligó a realizar por cada interfaz de diferentes estudios (construcción, modificación, manipulación y visualización) que dieron lugar a diferentes tipos de autonomía. Las curvas resultantes de los datos obtenidos revelaron una evolución significativa en las competencias de los alumnos a lo largo de los treinta minutos de tarea. Con SolidWorks, la evolución fue más lenta, lo que justificamos una mayor complejidad en la metodología de la construcción. Sin embargo, llegando a un nivel de autonomía donde se registraron progresiones más rápidas.

Después de comprobar las condiciones de aplicación de las pruebas paramétricas, las características de la distribución nos llevó a realizar el test no paramétrico de Kruskal-Wallis. Esta prueba se llevó a cabo para evaluar las diferencias entre los niveles de autonomía alcanzados por los estudiantes en el uso de las dos interfaces de estudio. La prueba mostró diferencias estadísticamente significativas para todos los tipos.

Para la situación descrita en la fase inicial de la exploración de los sistemas CAD, se confirma la hipótesis (H1) verificando que la interfaz de aplicaciones CAD 3D influye en la curva de aprendizaje de los alumnos.

A pesar de que este grupo, una muestra de treinta estudiantes, no pertenece en su totalidad a la generación de "nativos digitales" de la teoría radical Prensky (2001)²⁸⁹, pensamos que la propuesta cumplía con los

²⁸⁹ Prensky, M. op. cit. (2001).

ingredientes que proporcionan el desafío de descubrir para construir. La facilidad con la que se enfrentó el funcionamiento de los periféricos (manipulación del ratón) y la familiaridad con las respuestas a las acciones en la pantalla, sin duda provocó una sensación de dominio y control que condujo a las motivaciones esenciales para el aprendizaje.

Considerando la dimensión reducida de la muestra tenemos consciencia del carácter circunscrito de los resultados que se limitará al contexto de esta investigación. Sin embargo, la rápida adaptación manifestada por los futuros diseñadores a diferentes aplicaciones CAD desconocidas para ellos, nos lleva a concluir que: los obstáculos y las ineficiencias de la integración de CAD en la enseñanza del diseño, que se han descrito en muchos artículos de esta investigación podrán ser sin lugar a dudas desestimadas.

En la segunda etapa de la investigación las respuestas a las diferentes preguntas de la encuesta planteada a los estudiantes y diseñadores con diferentes grados de experiencia, que fueron objeto de un análisis detallado en esta investigación, revelaron que gran parte del diseño de la comunidad en el área de productos, no desestima tecnologías PD en las diversas fases del proceso de desarrollo de productos. Más del 65% en una muestra de 554 estudiantes y diseñadores de diferentes países, asistieron durante el curso a distintas disciplinas de CAD y más del 80% afirma utilizar regularmente estas tecnologías durante la actividad proyectual. Se mencionaron programas diferenciados pero los más frecuentes son AutoCAD (50%) y Autodesk 3D Studio MAX (55%) y SolidWorks de Dassault Systems (52%).

Corroborando mediante otros estudios en esta área, que el boceto en un 90% y el modelo CAD en 3D en el 85%, fueron los métodos de representación de proyectos de uso común usados en las primeras etapas del diseño, y la frecuencia con que fueron usados es independiente del grado de

experiencia de los diseñadores. El prototipo rápido todavía no se utiliza ampliamente en términos generales, pero los diseñadores con más de 5 años (27%) la experiencia, dijo que lo utilizan con regularidad. En cuanto al uso de texto y el diseño, hubo diferencias estadísticamente significativas entre los estudiantes y diseñadores, como la frecuencia de su uso.

La hipótesis (H2) mantenía si los estudiantes y diseñadores con diferentes niveles de experiencia, valoraban igualmente diversas opciones de representación de diseño, para todos los métodos de representación, excepto para el texto y el esquema.

Con el fin de determinar la finalidad del uso de CAD en 3D en la fase conceptual se enumeraban una serie de posibilidades y, a través de una selección múltiple, los encuestados que utilizan CAD mostraron las diferentes opciones de la aplicación en esta primera etapa del proceso de diseño. La mayoría de los encuestados indicaron aspectos centrados en la comunicación y difusión del producto (70%), pero hubo un énfasis notable en temas de desarrollo, tales como: el apoyo a la creación del producto (71,5%), soluciones de prueba y verificación (70%) y la forma de realización de soluciones (46%). Según la opinión de los diseñadores CAD 3D está perfectamente integrada en el ciclo de desarrollo del proyecto y no se limita a las opciones de representación.

A lo largo de la tesis hemos podido comprobar mediante la observación de los estudiantes de último año, que para desarrollar el diseño con las técnicas de CAD en 3D, también se detectaron aspectos cognitivos significativos resultantes del uso de la propia tecnología. El carácter limitado y el grado de subjetividad de todos los estudios que se examinaron sobre estos aspectos, nos llevaron a tener en cuenta y a cuestionar las opiniones de los estudiantes y diseñadores sobre los posibles efectos cognitivos que utilizan CAD 3D.

Gran parte de los efectos investigados han obtenido valoraciones expresivas consideradas como muy importantes y/o fundamentales. La mejora de la comprensión del producto, era el efecto más valioso con estos parámetros, alrededor 90% de la muestra. Confirmando conclusiones anteriores el efecto de apoyar y mejorar la comunicación en un 80% de los encuestados. Con más de 60%, seguido por la simulación de soluciones para facilitar la modificación de conceptos (68%), la prueba del producto virtual (70%), el reconocimiento de los fallos y errores (66%), la aplicación de las ideas más rápido (64%) y mediante la comparación de las soluciones de simplificación (60%).

Los efectos más valorados dentro de los parámetros máximos fueron para la creatividad (30%), la aparición de nuevas ideas (41%) y el reconocimiento de los requisitos desconocidos (46%).

Concretando ideas registramos diferencias estadísticamente significativas en la opinión de alumnos y otros grupos de diseñadores

El mismo procedimiento se siguió para los efectos de prototipado rápido en la etapa conceptual de desarrollo de productos. Sólo responden a esta pregunta los estudiantes y diseñadores que ya habían utilizado la tecnología.

Todos los efectos enumerados fueron considerados muy importantes o esenciales. El estudio ergonómico del objeto y mejora de la comprensión del producto fueron los efectos más valorados en alrededor del 89%. Esto fue seguido por el reconocimiento de las faltas y errores (87%), prueba de la funcionalidad del producto (85%), para proporcionar la optimización de producto (83%), para apoyar y mejorar la comunicación (78%), acortando las etapas en el desarrollo de producto (76%), sintetizar las ideas más rápido (71%), simulando soluciones para facilitar la modificación de conceptos (71%) y el reconocimiento de los requisitos desconocidos (66%).

Sólo el efecto de la medida en cuanto al acortamiento en el desarrollo de productos, estadísticamente se registraron diferencias significativas entre los estudiantes y diseñadores de diversos grupos.

Con estos estudios podemos concluir que todos los posibles efectos de utilización del CAD 3D y de la PR en la fase conceptual de desarrollo de productos fueron reconocidos y valorados positivamente por los estudiantes y diseñadores con diversos grados de experiencia. En su mayoría las opiniones no difieren significativamente.

La última pregunta en la encuesta se refería a la valoración de las tecnologías de la PD en la fase conceptual de desarrollo de productos. En este punto, el 83,4% de los encuestados considera muy importante y fundamentales estas tecnologías.

No hubo diferencias significativas entre los grupos de los diseñadores con diferentes niveles de experiencia. Las pruebas aplicadas a todos los diseñadores que utilizan CAD 3D y el grupo de todos los diseñadores mostraron mayor significancia de 0.05 permitiendo aceptar la hipótesis de que existe una relación entre la importancia dada por los grupos de diseñadores PD en la etapa conceptual de desarrollo producto.

En el primer caso, la aplicación de la misma prueba no paramétrica, se registraron diferencias significativas entre las opiniones de los estudiantes y diseñadores. En un segundo enfoque, suponiendo que la variable que mide la importancia de la PD, entre los diversos grupos puede verse afectada por el hecho de que los participantes no usan CAD 3D empleamos otra verificación y se concluye que existe una relación entre la opinión de los estudiantes y diseñadores.

En este caso, los resultados obtenidos nos permiten validar las hipótesis relacionadas con el reconocimiento de la importancia dada por los

estudiantes y diseñadores para PD en la fase conceptual de desarrollos de productos.

Esta segunda etapa de la investigación nos permite concluir que la comunidad demandada, representa diferentes grupos en el área del diseño, expresó una opinión favorable sobre el papel de las diversas técnicas de creación de prototipos digitales en la fase conceptual de desarrollo de productos. Gran parte de los elementos de la muestra poseían formación en CAD 3D y utilizaban regularmente las tecnologías de la PD como medio de representación y comunicación del proyecto, sino también en los dominios cognitivos de desarrollo de productos y soporte para su creación y experimentación de nuevas soluciones. La mayoría de los efectos resultantes de la aplicación de las tecnologías en el análisis de PD, modelado 3D y prototipado rápido, fueron valorados positivamente por todos los grupos, independientemente de su experiencia. Los mismos efectos de carácter cognitivos con el apoyo a la creatividad y la aparición de nuevas ideas en cuanto se consideran importantes en un porcentaje significativo de los diseñadores.

En la tercera fase de la investigación nos propusimos evaluar los proyectos de los estudiantes de final de curso en diseño de producto, con conocimientos avanzados en términos de modelado 3D, desarrollados en una asignatura de Prototipado Digital 3D.

Se consideraron dos tipos de diseño: el primero con el objetivo de realizar una exploración libre de las técnicas de modelado en 3D, sin restricciones en el modo de producción, dado que el modelo final sería impreso en 3D y el segundo con una declaración bien definida y orientada por el profesor de la asignatura de Proyecto, donde el alumno debería aplicar las técnicas de modelado 3D integradas en el proceso de desarrollo hasta la producción de un prototipo.

Además de la evaluación en cuanto a la calidad y la complejidad de las técnicas de modelado 3D, cada proyecto también fue evaluado por diseñadores con experiencia profesional, de acuerdo con el conjunto de parámetros de la Matriz de Análisis Producto Creativo. Esta matriz propone tres medidas principales para el producto creativo: novedad, resolución, elaboración y síntesis.

Constatamos que en el campo del diseño, la evaluación del producto basada en la creatividad no es lineal. La diversidad de la tipología de los artefactos y la forma en que los involucrados en el proceso de diseño se enfrentan al tema de la creatividad, dificulta la objetividad de lo que se pretendía. Será poco probable encontrar evaluadores con una revisión de todos los parámetros analizados en el análisis efectuado.

En la exploración de las técnicas de modelado 3D, mediante la observación simple de las medidas obtenidas, se constataron diferencias entre la calidad de modelado y evaluación de las diferentes dimensiones del producto creativo. La media de la dimensión, novedad, resulto negativo. Este resultado puede ser justificado por mimetismo de los objetos elaborados con los existentes en el mercado o por la rigidez de software que no permiten a los estudiantes formas más intensivas y diferenciadas.

En el caso del objeto desarrollado con la aplicación de técnicas de modelado en 3D para un proyecto típico, los resultados de la evaluación como productos creativos y calidad de modelado 3D fue mayor. Los estudiantes utilizan las operaciones de modelado apropiadas y algunos proyectos alcanzaron valores como productos creativos muy positivos.

De todos modos, se puede apreciar en los resultados globales que no existe una relación entre la calidad del modelado 3D de un proyecto y su

evaluación como un producto creativo, tanto para una situación de exploración de técnicas como de su aplicación.

En un segundo análisis se pretendió determinar si existía alguna relación entre la calificación otorgada a proyectos como los productos creativos y el tipo de construcción exploración/ aplicación.

Una vez más se demostró que no hay relación entre las evaluaciones de un producto creativo o la calidad de modelado 3D y la tipología de construcción

En general, la hipótesis planteada no se verifico. Así se ha demostrado, en nuestro caso de estudio, con el uso de las tecnologías de la DP 3D, la etapa conceptual de desarrollo, y la tipología de diseño no influye en su evaluación como producto creativo.

Las evaluaciones sobre productos con la consideración de productos creativos no son habituales principalmente en lo que se refiere a la dimensión de novedad. Las técnicas exploradas en el producto podrán ser explicadas por el síndrome de Earl Gray, informado por Lipson (2013)²⁹⁰, que recuerda los tiempos pasados de la serie Star Trek y la máquina replicadora (Replicator) de objetos. El autor extrañaba que los tripulantes simplemente demandaron té Earl Gray, cuando la máquina hipotéticamente podría reproducir cualquier cosa. En nuestro caso, hemos propuesto a los estudiantes que ejecutan un periférico tipo de mouse, sin restricciones formales, ya que sería impreso en 3D y la mayoría de ellos se centraron en realizar pequeñas variaciones sobre las formas típicas de un proyecto a producir por inyección u otro proceso de producción tradicional.

²⁹⁰ Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc. p. 241

Lipson (2013)²⁹¹ reporta una situación similar con sus alumnos. Según el autor los diseñadores aún no han asimilado la flexibilidad del proyecto habilitado por la impresión en 3D o quizás el software CAD diseñado para las limitaciones del método de producción aun no permite la libertad de diseño que posibilita formas más innovadoras.

²⁹¹ Lipson, H., & Kurman, M. *ibidem* (2013).

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia

Aguayo, F., Soltero, V.M. (2002). *Metodología del Diseño Industrial: Un enfoque desde la Ingeniería Concurrente*. Ra-Ma.

Amabile, T. M. (1983). The Social Psychology of Creativity: A consensual assessment technique. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43(5), 997-1013.

Arabe, K. (2001). CAD/CAM: Past, Present and Future [em linha]. Industry News Web Site. Acedido em setembro 9, 2010 em http://news.thomasnet.com/imt/2001/02/23/cadcamlast_pre

Beira, E., & Heitor, M. (2004). *Memórias das tecnologias e dos sistemas de informação*. Braga: Associação Industrial do Minho..

Beira, E., & Menezes, J. (2001). Inovação e indústria de moldes em Portugal: a introdução do CAD/CAM/CAE nos anos 80. *Mercados e negócios: Dinâmicas e estratégias* (6b).

Besant, C. B. (1985). *CAD/CAM: projeto e fabricação com o auxílio de computador*. Rio de Janeiro: Editora Campus.

Batey, M. (2012). The Measurement of Creativity: From Definitional Consensus to the Introduction of a New Heuristic Framework. *Creativity Research Journal*, 24(1), 55

Besemer, S. P., & Trefinger, D. (1981). Analysis of creative products: review and synthesis. *The Journal of Creative Behavior*, 15(3), 158

Besemer, S. P., & O'Quin, K. (1993). Assessing creative products: Progress and potentials. In S. G. Isaksen (Ed.), *Nurturing and developing creativity: The emergence of a discipline* (pp. 331-349). New Jersey: Ablex Publishing Corp.

Besemer, S. P. (1998). Creative Product Analysis Matrix: Testing the Model Structure and a Comparison Among Products--Three Novel Chairs. *Creativity Research Journal*, 11(4), 333-346.

Besemer, S. P., & O'Quin, K. (1999). Confirming the Three-Factor Creative Product Analysis Matrix Model in an American Sample. *Creativity Research Journal*, 12(4), 287-296.

Bonsiepe, G. (1992). *Teoria e Prática do Design Industrial - Elementos para um Manual Crítico*. Lisboa: Centro Português de Design.

Brown, P. (2009). CAD: Do Computers Aid the Design Process After All? *Intersect*, 2(1).

Bush, V. (1945). As We May Think [em linha]. Acedido em setembro 7, 2010 em http://www.citi.pt/estudos_multi/homepages/espaco/html/bush.html

Calvani, A. (1990). *Dal libro stampato al libro multimediale: Computer e Formazione*. Firenze: La Nuova Italia.

Castelltort, X. (1988). *CAD/CAM - Metodologia e aplicações práticas*. São Paulo: McGraw-Hill.

Carlson, W. (2003). A Critical History of Computer Graphics and Animation [em linha]. Acedido setembro 9, 2010 em

<http://accad.osu.edu/~waynec/history/lessons.html>

Clayton, C. G. A. (1986). The use of CAD/CAM for the design and manufacture of moulds for ceramic products. *Ceram.Forum Int./Ber.DKG* 63(4/5), 216.

Clayton, C. G. A. (1986). The use of CAD/CAM for the design and manufacture of moulds for ceramic products. *Ceram.Forum Int./Ber.DKG* 63 (4/5), 216.

Clemons, S. (2006). Constructivism pedagogy drives redevelopment CAD course: A case study. *Technology Teacher*, 65(5), 19-21.

Chang, T.-C., Wysk, R. A., & Wang, H.-P. (1998). *Computer-Aided Manufacturing* (2ª ed.). New Jersey: Prentice Hall. pp.596-598

Chrisey, D. B., & Piqué, A. (2002). Introduction to Direct-Write Technologies for Rapid Prototyping. In *Direct-Write Technologies for Rapid Prototyping* (pp. 1-13). San Diego: Academic Press.

Christiaans, H. H. C. M. (2002). Creativity as a Design Criterion. *Creativity Research Journal*, 14(1), 41-54.

Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2005). *Rapid prototyping : principles and applications* (2nd ed.). New Jersey: : World Scientific.

Crump, S. S. (1992). Apparatus and method for creating three-dimensional objects: Google Patents.

Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies [em linha]. ASTM International Web Site. Acedido setembro, 9, 2015 em <http://www.astm.org/COMMITTEE/F42.htm>

Critères ergonomiques de Scapin et Bastien [em linha]. Ergoweb Web Site Acedido em maio 20, 2010 em <http://www.ergoweb.ca/criteres.html>

Dam, A. V. (1997). Post-Wimp User Interfaces. *Communications of the ACM*, 40(2).

Deckard, C. R. (1989). Method and apparatus for producing parts by selective sintering: Google Patents.

Design skills advisory panel: (2007) . UK Design Industry Skills - Development Plan. Design Council.

diSessa, A. (2000). *Changing Minds. Computers, Learning, and Literacy* Cambridge: MIT Press

Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. e Beale, R. (1993) *Human-Computer Interaction*. Prentice-Hall International.

Engelbart, D. (1962). *Augmenting de Human Intellect: A Conceptual Framework*. Menlo Park, California: Stanford Research Institute.

Foley, J. D., Dam, A. V., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (1996). *Computer Graphics: Principles and Practice, 2nd Edition in C*: Addison Wesley Professional.

Fonfría, M., Ortuño, B., & Westermeyer, J. (2007). *PLM Lab: a research and Test initiative involving industry, Developers and University*. Paper presented at the INTED2007. International Technology, Education and Development Conference, Valência.

Frazer, J. (1985). How soon will CAD be able to aid design education? In T. D. Council (Ed.), *Computers and 3D product design education*. London: The Design Council.

Gardan, Y. (1987). *La CFAO* (2^a ed.). Paris: HERMES.

Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2010). *Additive Manufacturing Technologies - Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer.

Hague, R., Mansour, S., & Saleh, N. (2003). Design opportunities with rapid manufacturing. *Assembly Automation*, 23(4), 346-356.

Hamade, R. F., Artail, H. A., & Jaber, M. Y. (2005). Evaluating the learning process of mechanical CAD students. *Computers & Education*, 49, 640-661.

Hodgson, T., & Fraser, A. (2005). *The impact of Computer Aided Design and Manufacture (CAD/CAM) on school-based design work*. Paper presented at the DATA International Research Conference 2005.

Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. (2006). *Rapid manufacturing : an industrial revolution for the digital age*. Chichester, England: John Wiley.

Horn, D., & Salvendy, G. (2006). Consumer-based assessment of product creativity: A review and reappraisal. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 16(2), 155-175.

Hornbæk, K. (2005). Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. *Human-Computer Studies*, 64, 79-102.

Hull, C. W. (1986). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography: Google Patents.

Jolly M. (1999). Introdução à análise da Imagem. Lisboa. Edições 70

Jonassen, D. H., & Roher-Murphy, L. (1999). Activity theory as a framework for *designing* constructivist learning environments. *ETR&D*, 47(1), 61-79.

Knoll, M. (1997). The project method: Its vocational education origin and international development. *Journal of Industrial Teacher Education*, 34(3), 59-80.

Krouse, J. K. (1982). *What every engineer should know about computer-aided design and computer-aided manufacturing: the CAD/CAM revolution*. New York: M. Dekker.

Krull, F. N. (1994). The Origin of Computer Graphics within General Motors. *IEEE Annals of the History of Computing*, 16(3).

Laurel, B. (1993). *Computers as Theatre*. Massachusetts: Addison-Wesley

Laurel, B., & Mountford, S. J. (1990). *The Art of human-computer interface design*. Boston, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co.

Lawson, B. (2002). CAD and Creativity: Does the Computer Really Help. *Leonardo*, 35(3), 327-331.

Lee, J. M., & Yeong, W. Y. (2014). A preliminary model of time-pressure dispensing system for bioprinting based on printing and material parameters. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(1), 3-8.

Lévy P. (1994). *As Tecnologias da Inteligência*. Lisboa. Instituto Piaget

Lévy P. (1997). *Ideografia Dinâmica*. Lisboa. Instituto Piaget.

Lin, H., Choong, Y.-Y., & Salvendy, G. (1997). A proposed index of usability: a method for comparing the relative usability of different software systems. *Behaviour & Information Technology*, 16(4/5), 267-278.

Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc. p. 241

Lix, L. M., Keselman, J. C., & Keselman, H. J. (1996). Consequences of Assumption Violations Revisited: A Quantitative Review of Alternatives to the One-Way Analysis of Variance "F" Test. *Review of Educational Research*, 66(4), 579-619.

Luo, D. (2005). Using Constructivism as a teaching model for computer science. *The China Papers*.

Malone, T. (1981). Towards a Theory of Intrinsically Motivating Instruction. *Cognitive Science*, 4, 333-369.

- Mandel, T. (1997). *The elements of user interface design*. New York: Wiley
- Maroco, J., & Marques, T. G. (2006). Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas? *Laboratório de Psicologia*, 4(1), 65-90.
- Maroco, J. (2010). *Análise Estatística: Com Utilização do SPSS* (3ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo.(p. 227)
- Masip, R. (1987). *Fabricación asistida por computador-CAM*. Barcelona: Marcombo.
- Massie, T. H. (1993). *Design of a Three Degree of Freedom Force-Reflecting Haptic Interface*. BS Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Massie, T. H., & Salisbury, K. (1994). *The PHANToM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects*. Paper presented at the Proceedings of the ASME Dynamic Systems and Control Division.
- Mateus, J. (1993). The history of CAD/CAM in Ceramics at Cencal. In *Interaction in Ceramics* (pp. 133-135). Helsinki: University of Industrial Arts.
- Mateus, J., & Silva, J. L. A. (1988). *CAD/CAM na Indústria Cerâmica*. Comunicação apresentada nas Jornadas Técnicas Sectoriais, Novas Tecnologias na Indústria Tradicional Portuguesa Lisboa.
- Mateus, J. (2007). *A Influência do Design da Interface Gráfica das Aplicações na Aprendizagem de Tecnologias de Projeto 3D*. Tese de mestrado. Universidade Aberta, Lisboa.

Michael, K. Y. apud Besemer, S. P., & O'Quin, K. (1993). Assessing creative products: Progress and potentials. In S. G. Isaksen (Ed.), *Nurturing and developing creativity: The emergence of a discipline* (pp. 331-349). New Jersey: Ablex Publishing Corp.

Michael, K. Y. (2000). A comparison of students' product creativity using a computer simulation activity versus a hands-on activity in technology education. Doctoral Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA.

Mitta, D., & Flores, P. (1995). User productivity as a function of AutoCAD interface design. *Applied Ergonomics*, 26(6), 387-395.

Moggridge, B. (2006). *Designing Interactions*. Cambridge, Mass.: MitPress.

Morgado, L. (1996). O lugar do hipertexto na aprendizagem: alguns princípios para a sua conceção, 1º Simpósio Investigação e Desenvolvimento de Software Educativo. Costa da Caparica.

Mullet, K., & Sano, D. (1995). *Designing visual interfaces : communication oriented techniques*. Englewood Cliffs, NJ: SunSoft Press.

Negroponte, N. (1995). *Ser digital*. Lisboa: Editorial Caminho

Nielsen, J., & Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Empowering people Seattle, Washington, United States

Nielsen, J. (1993). *Noncommand user interfaces*. Paper presented at the Communications of the ACM, New York.

Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston ; London: Academic Press.

Nielsen, J. (1995). *How to Conduct a Heuristic Evaluation* [em linha]. Nielsen Norman Group Web site. Acedido maio 9, 2012 em <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>

Norman, D.A. (1987) - Some observations on Mental Models. Baeker, M.R.; Buxton, A.S.W.- *Readings in Human-Computer Interaction: A Multidisciplinary Approach*, Morgan Kaufman Publishers, California

Norman, D.A. (1993). *Things that Make Us Smart: Defending Human Attributes in the Age of the Machine.*, New York: Addison-Wesley.

Oman, S., Tumer, I., Wood, K., & Seepersad, C. (2013). A comparison of creativity and innovation metrics and sample validation through in-class design projects. *Research in Engineering Design*, 24(1), 65-92.

Ortuño, B. H. (2003). *Desarrollo de una Metodología Sistémica para el Diseño de Productos Industriales*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valência, Valência, España.

Ortuño, B. H., & Navarro, E. I. (2000). *Diseño de nuevos productos. Una perspectiva sistémica*. Valência: Universidad Politécnica de Valência.

Pache, M. W. (2004). *Sketching for Conceptual Design – Empirical Results and Future Tool*. München: Verlag Dr. Hut.

Paivio, A. (1969). Mental imagery in associative learning and memory. *Psychological review*, 76(3), 241-263.

Papert, S. (1993). *The Children's Machine*. New York: Basic Books

Pearce, J. M., Blair, C. M., Laciak, K. J., Andrews, R., Nosrat, A., & Zelenika-Zovko, I. (2010). 3-D Printing of Open Source Appropriate Technologies for Self-Directed Sustainable Development. *Journal of Sustainable Development*, 3(4), 17-29.

Pipes, A. (1990). *Drawing for 3-Dimensional Design - Concepts - Illustration - Presentation*. London: Thames and Udson.

Pipes, A. (2007). *Drawing for Designers*. Londres: Laurence King Publisher.

Poblet, J. M. (1986). *Sistemas CAD / CAM / CAE : diseño y fabricación por computador*. Barcelona: Marcombo.

Potter, C. (1994, April). *A Select Few Push The Edge of Design*. Computer Graphics World, 17.

Powers, K. D., & Powers, D. T. (1999). *Making Sense of Teaching Methods in Computing Education*. Paper presented at the Frontiers in Education Conference

Preece J. (1994). *Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, Reading, MA

Price, G. R. (1956). How to speed up invention. *Fortune*(Nov), 150-228.

Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants. *On the Horizon* - NCB University Press, 9(5).

Redmond, K. C., & Smith, T. M. (1980). *Project Whirlwind: The History of a Computer Pioneer*: Digital Press.

Reeves, T. C. (1998). *The impact of media and technology in schools – A research report prepared for the Bertelsmann Foundation*: The University of Georgia.

- Sachs, E. M., Haggerty, J. S., Cima, M. J., & Williams, P. A. (1993). Three-dimensional printing techniques: Google Patents.
- Santos, R. L. (2000). *Ergonomização da Interação Homem-Computador - Abordagem Heurística para Avaliação da Usabilidade de Interfaces*. Tese de Mestrado. Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Scapin D. (1993). Validation des critères ergonomiques pour l'évaluation d'interfaces utilisateurs. (Rapport de Recherche No. 1427).INRIA.
- Shneiderman, B. (1983). Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages. *Computer* 16(8), 57-69.
- Shneiderman B. (1998). *Designing the User Interface*. Addison-Wesley, Reading, MA
- Souza, C. S. (2005). The semiotic engineering of human-computer interaction. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Souza, C. S. D., Leite, J. C., Prates, R. O., & Barbosa, S. D. J. (1999). *Projeto de Interfaces de Usuário - Perspectivas Cognitivas e Semióticas*. Paper presented at the Anais da Jornada de Atualização em Informática, XIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Rio de Janeiro.
- Squires, D., & Preece, J. (1999). Predicting quality in educational software: Evaluating for learning, usability and the synergy between them. *Interacting with Computers*, 11, 467-483.
- Starling, M. (1985). Impact of computer modelling on industrial design practice. In T. D. Council (Ed.), *Computers and 3D product design education*. London: The Design Council.

Stone, D., Jarret, C., Woodroffe, M., & Minocha, S. (2005). *User interface design and evaluation*. San Francisco: Morgan Kaufmann ,Elsevier Science.

Sutherland, I. E. (2003). *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*. Cambridge: University of Cambridge.

Swan, K. (2005). A constructivist model for thinking about learning online. In J. Bourne & J. C. Moore (Eds), *Elements of Quality Online Education: Engaging Communities*. Needham, MA: Sloan-C.

Thiel, P. (1981). *Visual awareness and design : an introductory program in conceptual awareness, perceptual sensitivity, and basic design skills*. Seattle ; London: University of Washington Press.

Tractinsky, N., Katz, A. S., & D. Icar. (2000). What is Beautiful is Usable. *Interacting with computers*, 13, 127-145.

Turró, M. R. (2005). Evolución y Tendencias en la Interacción Persona-Ordenador. *El Profesional de la Información*, 14(6), 414-422.

Ullman, D. G., Wood, S., & Craig, D. (1990). The Importance of Drawing in the Mechanical Design Process. *Computer & Graphics*, 14(2), 263-274.

Unver, E. (2006). Strategies for the Transition to CAD Based 3D Design Education. *Computer-Aided Design & Applications*, 3(1-4), 323-330.

van der Lugt, R. (2001). *Sketching in Design Idea Generation Meetings*. Ph. D. Dissertation. Delft University of Technology. Delft.

Volpato, N., Ahrens, C., Ferreira, C., Petrush, G., Carvalho, J., Santos, J., et al. (2007). *Prototipagem Rápida. Tecnologias e Aplicações*. S. Paulo - Brasil: Editora Blücher.

Walker, J. (1988). Through the Looking Glass [em linha]. Acedido em setembro 7, 2010, em http://www.fourmilab.ch/autofile/www/chapter2_69.html#lglass

Webster, G. (1985). Computers and 3D design - an overview. In T. D. Council (Ed.), *Computers and 3D product design education*. London: The Design Council.

Weisberg, D. (2008). *The Engineering Design Revolution* [em linha]. Acedido setembro 9, 2015 em <http://www.cadhistory.net/toc.htm>

Westermeyer, J. C. B. (2008). *La Metodología Sistemica y el Rol del Boceto en el Diseño Conceptual de Productos Industriales*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, València, España.

Whiteside, J., Jones, S., Levy, P., & Wixon, D. (1985). *User performance with command, menu and iconic interfaces*. Paper presented at the In Proceedings of the Conference of Human Factors in Computer Systems, New York.

Wiebe, E. (2003). Transfer of Learning Between 3D Modeling Systems. *Engineering Design Graphics Journal*, 67(3), 15-28.

Winograd, T. (1996). *Bringing Design to Software*. Stanford: Addison-Wesley.

Wohlers, T. (2011). Wohlers Talk: Views, perspective, and commentary [em linha]. Acedido junho 13, 2015, em <http://wohlersassociates.com/blog/2011/08/additive-manufacturing-education/>

Wohlers, T. (2015). *Wohlers Report: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry*: Wohlers Associates Inc.

Yares, E. (1996, June). SolidWorks 95 Hits the Nail on the Head. *Computer Graphics World*, 19, 85.

Yarwood, A. (1991). *An AutoCAD Workbook*. London: Longman Scientific&Technical.

ANEXOS

ANEXO A - Inquérito a designers - prototipagem digital em design de produto

Designers_Prototipagem Digital em Design de Produto

O presente questionário é parte integrante de uma tese de doutoramento e visa auscultar a opinião de Designers sobre a importância da aplicação de tecnologias de Prototipagem Digital 3D (Modelação digital 3D e Prototipagem Rápida) na fase conceptual de desenvolvimento de produto. Para este estudo considera-se FASE CONCEPTUAL não apenas a geração de conceitos mas também a selecção e o teste de conceitos.
A sua resposta é muito importante para o nosso trabalho e por isso desde já a agradecemos. O questionário demorará cerca de 10 minutos a ser preenchido.

Existem 19 perguntas neste inquérito

Caracterização

1 Idade *

Por favor, escreva aqui a sua resposta:

2 Sexo *

Por favor, seleccione **apenas uma** das seguintes opções:

- Feminino
 Masculino

3 País de origem *

Por favor, seleccione **apenas uma** das seguintes opções:

- Portugal
 Espanha
 Chile
 Venezuela
 Brasil
 México
 Argentina
 França
 Reino Unido
 USA
 Finlândia
 Outro

4 N° de anos de actividade como designer? *

Por favor, seleccione apenas uma das seguintes opções:

- menos de 2 anos
- entre 2 e 5 anos
- mais de 5 anos

5 Área principal de actividade *

Por favor, escreva aqui a sua resposta:

ex. Industrial, Produto, Equipamento, Cerâmica, Mobiliário, Gráfico, etc.

6 Universidade/Escola onde obteve a formação em Design? *

Por favor, escreva aqui a sua resposta:

7 Nome do seu Curso : *

Por favor, escreva aqui a sua resposta:

8 [CCAD3D]No currículo do seu Curso constavam disciplinas de CAD3D? *

Por favor, seleccione apenas uma das seguintes opções:

- Sim
- Não

9 Aplicações CAD3D utilizadas no Curso: *

Responda a esta pergunta apenas se as seguintes condições são verdadeiras:

° Resposta era 'Sim' na pergunta '8 [CCAD3D]' (No currículo do seu Curso constavam disciplinas de CAD3D?)

Por favor, seleccione **todas** as que se aplicam:

- AutoCAD (Autodesk)
- ProEngineer (PTC)
- SolidWorks (Dassault Systems)
- CATIA (Dassault Systems)
- Rhinoceros
- 3D Studio MAX (Autodesk)
- Studio Tools (Autodesk)
- MAYA (Autodesk)
- Outro:

10 Actualmente utiliza no seu trabalho de designer aplicações de CAD3D? *

Por favor, seleccione **apenas uma** das seguintes opções:

- Sim
- Não

11 Que aplicações CAD3D utiliza? *

Responda a esta pergunta apenas se as seguintes condições são verdadeiras:

° Resposta era 'Sim' na pergunta '10 [a3d]' (Actualmente utiliza no seu trabalho de designer aplicações de CAD3D?)

Por favor, seleccione **todas** as que se aplicam:

- AutoCAD (Autodesk)
- ProEngineer (PTC)
- SolidWorks (Dassault Systems)
- CATIA (Dassault Systems)
- Rhinoceros
- 3D Studio MAX (Autodesk)
- Studio Tools (Autodesk)
- Outro:

Opções de representação

12 Das seguintes opções de representação com que frequência (1 nunca, 5 sempre) as utiliza na fase conceptual de desenvolvimento de projecto *

Por favor, seleccione uma resposta apropriada para cada item:

	1	2	3	4	5
Texto	<input type="radio"/>				
Esquema	<input type="radio"/>				
Esquiço	<input type="radio"/>				
Maquetas	<input type="radio"/>				
Modelos CAD 3D	<input type="radio"/>				
Protótipos rápidos	<input type="radio"/>				

Utilização de CAD 3D

13 Utiliza regularmente tecnologias CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto? *

Por favor, seleccione apenas uma das seguintes opções:

- Sim
 Não

Consideram-se tecnologias CAD 3D a modelação digital 3D, a edição e a visualização.

14 Se não utiliza CAD 3D na fase conceptual, porque não o faz? *

Responda a esta pergunta apenas se as seguintes condições são verdadeiras:

* Resposta era 'Não' na pergunta '13 [3D0]' (Utiliza regularmente tecnologias CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto?)

Por favor, seleccione todas as que se aplicam:

- Ainda tem pouca experiência em CAD 3D
 Tem pouca apetência para computadores
 Não julga necessário
 Prefere outras formas de representação

Outro:

15

Se utiliza CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de projecto com que fim o faz?
*

Responda a esta pergunta apenas se as seguintes condições são verdadeiras:

° Resposta era 'Sim' na pergunta '13 [3D0]' (Utiliza regularmente tecnologias CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento de produto?)

Por favor, seleccione **todas** as que se aplicam:

- Comunicação/difusão
- Apoiar a criação do produto
- Testar soluções
- Concretizar soluções
- Verificar soluções (ex. volume)
- Documentação (a longo prazo)
- Representar limitações
- Clarificação de tarefas
- Lembrete (curto prazo)
- Preparar apresentações digitais

Outro:

Uso do CAD 3D na fase conceptual de desenvolvimento

16

Dos possíveis efeitos do uso de tecnologias CAD 3D na fase conceptual do processo de desenvolvimento de produto valorize de 1 a 5 (1 mínimo, 5 máximo) cada uma das opções.

*

Por favor, seleccione uma resposta apropriada para cada item:

	1	2	3	4	5
Apoiar a criatividade	<input type="radio"/>				
Apoiar e melhorar a comunicação	<input type="radio"/>				
Ocorrência de novas ideias	<input type="radio"/>				
Simplificar através da comparação de soluções	<input type="radio"/>				
Concretizar ideias mais rapidamente	<input type="radio"/>				
Reconhecimento de falhas e erros	<input type="radio"/>				
Simular soluções para facilitar modificação de conceitos	<input type="radio"/>				
Melhorar a compreensão do produto	<input type="radio"/>				
Reconhecimento de requisitos desconhecidos	<input type="radio"/>				
Testar virtualmente funcionalidade do produto	<input type="radio"/>				

Consideram-se tecnologias CAD 3D a modelação digital 3D, a edição e a visualização.

Uso de tecnologias de Prototipagem Rápida no processo de desenvolvimento de produto

17 Já utilizou prototipagem rápida no desenvolvimento de produtos?

Por favor, seleccione apenas uma das seguintes opções:

- Sim
 Não

18

Dos possíveis efeitos do uso de Prototipagem Rápida na fase conceptual de desenvolvimento de produto valorize de 1 a 5 (1 mínimo, 5 máximo) cada uma das opções.

Responda a esta pergunta apenas se as seguintes condições são verdadeiras:

° Resposta NÃO era 'Não' na pergunta '17 [PRDP1]' (Já utilizou prototipagem rápida no desenvolvimento de produtos?)

Por favor, seleccione uma resposta apropriada para cada item:

	1	2	3	4	5
Apoiar e melhorar a comunicação	<input type="radio"/>				
Estudar ergonomicamente o objecto	<input type="radio"/>				
Encurtar etapas no desenvolvimento de produto	<input type="radio"/>				
Proporcionar a optimização do produto	<input type="radio"/>				
Concretizar ideias mais rapidamente	<input type="radio"/>				
Reconhecimento de falhas e erros	<input type="radio"/>				
Simular soluções para facilitar modificação de conceitos	<input type="radio"/>				
Melhorar a compreensão do produto	<input type="radio"/>				
Reconhecimento de requisitos desconhecidos	<input type="radio"/>				
Testar funcionalidade do produto	<input type="radio"/>				

Importância da Prototipagem Digital em Design de Produto

19 Como Designer valorize de 1 a 5 (1 mínimo, 5 máximo) a importância que atribui às tecnologias de Prototipagem Digital na fase conceptual de desenvolvimento de produto. *

Por favor, seleccione apenas uma das seguintes opções:

- 1
 2
 3
 4
 5

ANEXO B - Projetos alunos - Exploração de técnicas

Projeto 2008_01_M61



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	23,3	60,0	46,7	46,4

Projeto 2008_02_M62



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	46,0	56,7	52,1

Projeto 2008_03_M63



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	30,0	46,0	36,7	38,6

Projeto 2008_04_M64



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	38,0	48,3	45,7

Projeto 2008_05_M65



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	52,0	46,7	50,0

Projeto 2008_06_M66



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	33,3	42,0	45,0	41,4

Projeto 2008_07_M67



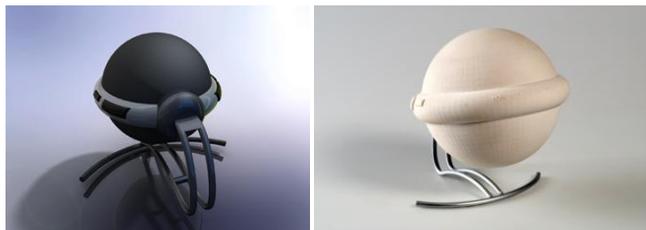
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	50,0	42,0	45,0	45,0

Projeto 2008_08_M68



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	56,0	48,3	49,3

Projeto 2008_09_M69



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	73,3	44,0	48,3	52,1

Projeto 2008_10_M70



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	23,3	56,0	46,7	45,0

Projeto 2008_11_M71



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	56,0	60,0	57,1

Projeto 2008_12_M72



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	56,7	48,0	58,3	54,3

Projeto 2008_13_M73



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	26,7	52,0	48,3	45,0

Projeto 2009_01_M01



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	26,7	54,0	50,0	46,4

Projeto 2009_02_M02



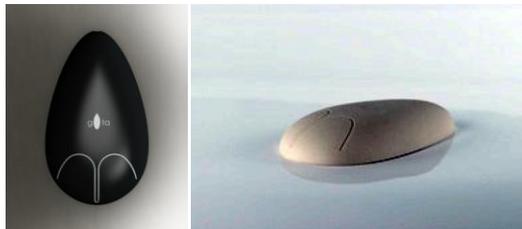
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	46,0	58,3	54,3

Projeto 2009_03_M03



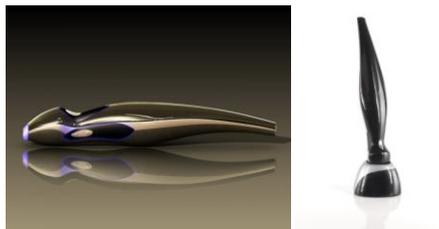
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	76,7	56,0	63,3	63,6

Projeto 2009_04_M04



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	43,3	60,0	60,0	56,4

Projeto 2009_05_M05



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	60,0	63,3	57,1

Projeto 2009_06_M06



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	30,0	48,0	46,7	43,6

Projeto 2009_07_M07



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	58,0	48,3	52,9

Projeto 2009_08_M08



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	26,7	28,0	53,3	38,6

Projeto 2009_09_M09



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	56,0	48,3	49,3

Projeto 2009_10_M10



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	48,0	45,0	45,0

Projeto 2009_11_M11



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	38,0	45,0	41,4

Projeto 2009_12_M12



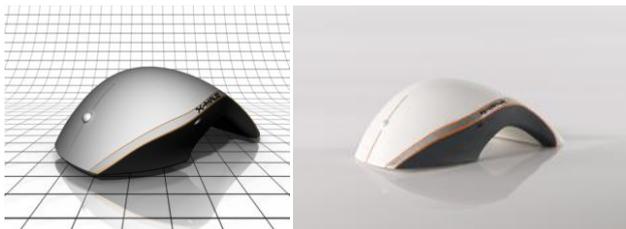
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	36,7	56,0	48,3	48,6

Projeto 2009_13_M13



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	43,3	52,0	46,7	47,9

Projeto 2009_14_M14



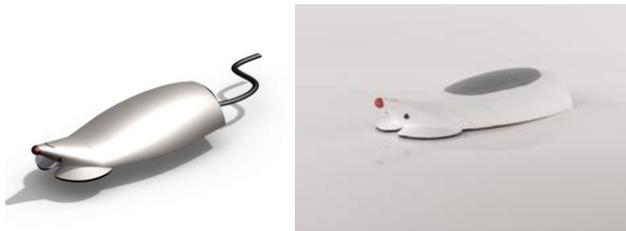
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	50,0	53,3	49,3

Projeto 2009_15_M15



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	56,7	58,0	55,0	56,4

Projeto 2009_16_M16



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	56,7	32,0	58,3	48,6

Projeto 2009_17_M37



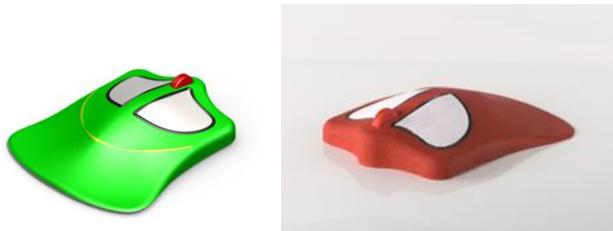
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	43,3	56,0	46,7	49,3

Projeto 2009_18_M38



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	43,3	24,0	38,3	34,3

Projeto 2009_19_M39



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	26,7	26,0	40,0	32,1

Projeto 2010_01_M17



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	36,7	52,0	53,3	49,3

Projeto 2010_02_ M18



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	58,0	56,7	56,4

Projeto 2010_03_ M19



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	30,0	60,0	56,7	52,1

Projeto 2010_04_ M20



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	76,7	66,0	75,0	72,1

Projeto 2010_05_ M21



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	56,0	50,0	52,9

Projeto 2010_06_ M22



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	44,0	46,7	44,3

Projeto 2010_07_ M23



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	33,3	36,0	50,0	41,4

Projeto 2010_08_M24



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	48,0	41,7	45,0

Projeto 2010_09_M25



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	30,0	58,0	56,7	51,4

Projeto 2010_10_M26



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	56,0	63,3	60,0

Projeto 2010_11_M27



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	30,0	50,0	53,3	47,1

Projeto 2010_12_M28



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	43,3	54,0	60,0	54,3

Projeto 2010_13_M29



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	36,7	36,0	38,3	37,1

Projeto 2010_14_M30



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	34,0	53,3	45,0

Projeto 2010_15_M31



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	70,0	65,0	64,3

Projeto 2010_16_M32



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	33,3	56,0	56,7	51,4

Projeto 2010_17_M33



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	33,3	42,0	43,3	40,7

Projeto 2010_18_M34



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	56,0	48,3	49,3

Projeto 2010_19_M35



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	50,0	38,0	61,7	50,7

Projeto 2010_20_M36



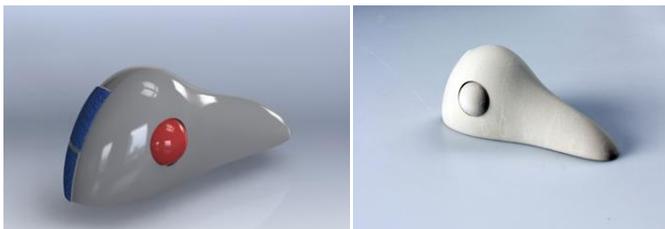
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	66,7	52,0	66,7	61,4

Projeto 2010_21_M40



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	50,0	62,0	60,0	58,6

Projeto 2010_22_M41



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	76,7	64,0	68,3	68,6

Projeto 2010_23_M42



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	54,0	53,3	52,1

Projeto 2010_24_M43



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	33,3	42,0	45,0	41,4

Projeto 2010_25_M44



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	33,3	52,0	43,3	44,3

Projeto 2010_26_M45



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	50,0	56,7	55,0

ANEXO C - Projetos alunos - Aplicação de técnicas

Projeto 2009_01_PF01



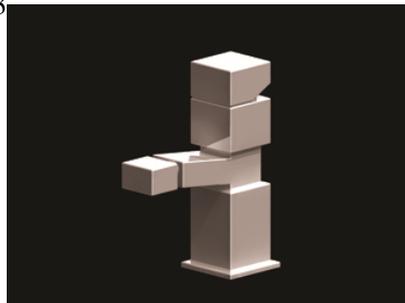
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	48,0	56,7	51,4

Projeto 2009_02_PF02



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	56,0	46,7	48,6

Projeto 2009_03_PF03



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	32,0	26,7	31,4

Projeto 2009_04_PFO4



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	66,7	80,0	86,7	80,0

Projeto 2009_05_PFO5



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	66,7	76,0	90,0	80,0

Projeto 2009_06_PFO6



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	73,3	84,0	96,7	87,1

Projeto 2009_07_PFO7



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	60,0	63,3	58,6

Projeto 2009_08_PFO8



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	60,0	60,0	55,7

Projeto 2009_09_PFO9



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	64,0	76,7	67,1

Projeto 2009_10_PF10



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	56,0	56,7	55,7

Projeto 2009_11_PF11



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	72,0	86,7	75,7

Projeto 2009_12_PF12



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	68,0	90,0	75,7

Projeto 2009_13_Pf1?



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	52,0	40,0	44,3

Projeto 2009_14_Pf14



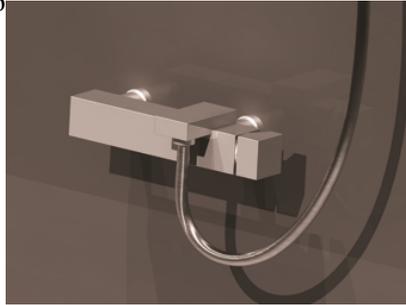
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	66,7	84,0	96,7	85,7

Projeto 2009_15_Pf15



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	48,0	50,0	50,0

Projeto 2009_16_Pf16



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	48,0	33,3	40,0

Projeto 2009_17_Pf54



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	73,3	84,0	93,3	85,7

Projeto 2009_18_Pf55



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	80,0	80,0	90,0	84,3

Projeto 2009_19_Pf56



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	60,0	56,7	57,1

Projeto 2009_20_Pf57



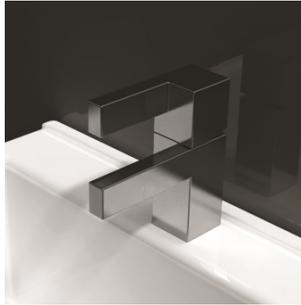
	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	68,0	80,0	71,4

Projeto 2009_21_Pf58



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	56,0	56,7	54,3

Projeto 2009_22_Pf59



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	60,0	60,0	57,1

Projeto 2010_23_Pf18



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	44,0	50,0	45,7

Projeto 2010_24_Pf19



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	72,0	73,3	68,6

Projeto 2010_25_PF20



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	88,0	93,3	84,3

Projeto 2010_26_PF21



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	60,0	66,7	60,0

Projeto 2010_27_PF22



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	46,7	56,0	46,7	50,0

Projeto 2010_28_PF23



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	64,0	63,3	62,9

Projeto 2010_29_PF24



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	40,0	64,0	66,7	60,0

Projeto 2010_30_PF25



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	66,7	84,0	93,3	84,3

Projeto 2010_31_PF26



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	100,0	92,0	93,3	94,3

Projeto 2010_32_PF27



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	33,3	60,0	63,3	55,7

Projeto 2010_33_PF28



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	60,0	64,0	53,3	58,6

Projeto 2010_34_PF29



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	100,0	88,0	83,3	88,6

Projeto 2010_35_PF30



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média				

Projeto 2010_36_PF31



	Novidade	Resolução	Elaboração e Síntese	Produto Criativo
Média	53,3	80,0	76,7	72,9

ANEXO D - Avaliação do produto criativo - grelha

Matriz de Análise do Produto Criativo (Creative Product Analysis Matrix - CPAM)

Modelo proposto por Besemer & Quin (1987)



Escala : 1 (Não descreve o objecto) a 5 (Descreve muito bem o objecto)

1. Dimensão NOVIDADE, em termos de novos processos, materiais ou conceitos utilizados;

1.1 GERMINAL: sugere a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos

1 2 3 4 5

1.2 ORIGINAL: é pouco usual ou infrequente

1 2 3 4 5

1.3 TRANSFORMACIONAL: revolucionário e convida os utilizadores a encarar a realidade sob outras perspectivas

1 2 3 4 5

2. Dimensão RESOLUÇÃO, reflectindo o grau em que o produto resolve o problema implícito na sua criação, isto é, a sua utilidade ou grau de satisfação da finalidade para que foi criado;

2.1 ADEQUADA: responde às necessidades do problema

1 2 3 4 5

2.2 APROPRIADA: aplicada ao problema que pretende resolver

1 2 3 4 5

2.3 LÓGICA: segue um esquema lógico e aceita como solução

1 2 3 4 5

2.4 ÚTIL: mostra a sua utilidade de forma clara e prática

1 2 3 4 5

2.5 VALIOSA: considerada adequada pelos utilizadores porque satisfaz necessidades físicas, sociais e psicológicas.

1 2 3 4 5

3. Dimensão ELABORAÇÃO e SÍNTESE, qualifica os atributos estéticos do produto, o seu grau de complexidade, refinamento, elegância e síntese

3.1 ATRACTIVO: chama a atenção dos utilizadores

1 2 3 4 5

3.2 COMPLEXO: contém muitos elementos em diversos níveis

1 2 3 4 5

3.3 ELEGANTE: expressa-se de forma refinada

1 2 3 4 5

3.4 EXPRESSIVO: comunicativo e compreensível

1 2 3 4 5

3.5 ORGÂNICO: apresenta um sentido de totalidade

1 2 3 4 5

3.6 ELABORADO: foi trabalhado de forma a conseguir um alto nível de desenvolvimento

1 2 3 4 5

ANEXO E - Quadros de comparação múltipla de médias - modos

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of utexto		Intervalo de Confiança 95%			
DMS		Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Limite inferior superior
(I) Experiência	Aluno				
	Designer há menos de 2 anos	-42,931732*	17,164535	,013	-76,64780 -9,21567
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-68,640981*	18,860353	,000	-105,68812 -31,59384
	Designer há mais de 5 anos	-65,174200*	18,086642	,000	-100,70155 -29,64685
Designer há menos de 2 anos	Aluno	42,931732*	17,164535	,013	9,21567 76,64780
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-25,709248	21,069714	,223	-67,09620 15,67771
	Designer há mais de 5 anos	-22,242468	20,380053	,276	-62,27473 17,78980
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	68,640981*	18,860353	,000	31,59384 105,68812
	Designer há menos de 2 anos	25,709248	21,069714	,223	-15,67771 67,09620
	Designer há mais de 5 anos	3,466780	21,827465	,874	-39,40862 46,34218
Designer há mais de 5 anos	Aluno	65,174200*	18,086642	,000	29,64685 100,70155
	Designer há menos de 2 anos	22,242468	20,380053	,276	-17,78980 62,27473
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-3,466780	21,827465	,874	-46,34218 39,40862

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro E-1 – Quadro de comparação múltipla de médias - texto

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of esquema
DMS

(I) Experiência	(J) Experiência	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
Aluno	Designer há menos de 2 anos	-81,239586*	16,716549	,000	-114,07568	-48,40349
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-84,388437*	18,368107	,000	-120,46866	-48,30821
	Designer há mais de 5 anos	-94,620673*	17,614590	,000	-129,22077	-60,02057
Designer há menos de 2 anos	Aluno	81,239586*	16,716549	,000	48,40349	114,07568
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-3,148850	20,519805	,878	-43,45563	37,15793
	Designer há mais de 5 anos	-13,381086	19,848144	,500	-52,36863	25,60636
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	84,388437*	18,368107	,000	48,30821	120,46866
	Designer há menos de 2 anos	3,148850	20,519805	,878	-37,15793	43,45563
	Designer há mais de 5 anos	-10,232236	21,257779	,630	-51,98861	31,52413
Designer há mais de 5 anos	Aluno	94,620673*	17,614590	,000	60,02057	129,22077
	Designer há menos de 2 anos	13,381086	19,848144	,500	-25,60636	52,36863
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	10,232236	21,257779	,630	-31,52413	51,98861

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro E-2 – Quadro de comparação múltipla de médias - esquema

ANEXO F - Quadros de comparação múltipla de médias - efeitos CAD 3D

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of CI				Intervalo de Confiança 95%		
DMS				Limite inferior	Limite superior	
(I) Experiência	(J) Experiência	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.		
Aluno	Designer há menos de 2 anos	50,677034*	16,940642	,003	17,40076	83,95331
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	42,316790*	18,614341	,023	5,75289	78,88069
	Designer há mais de 5 anos	37,453281*	17,850722	,036	2,38935	72,51721
Designer há menos de 2 anos	Aluno	-50,677034*	16,940642	,003	-83,95331	-17,40076
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-8,360244	20,794883	,688	-49,20735	32,48686
	Designer há mais de 5 anos	-13,223752	20,114217	,511	-52,73384	26,28633
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	-42,316790*	18,614341	,023	-78,88069	-5,75289
	Designer há menos de 2 anos	8,360244	20,794883	,688	-32,48686	49,20735
	Designer há mais de 5 anos	-4,863509	21,542750	,821	-47,17964	37,45262
Designer há mais de 5 anos	Aluno	-37,453281*	17,850722	,036	-72,51721	-2,38935
	Designer há menos de 2 anos	13,223752	20,114217	,511	-26,28633	52,73384
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	4,863509	21,542750	,821	-37,45262	47,17964

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro F-1 – Quadro de comparação múltipla de médias - concretizar ideias mais rapidamente

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of RRD
DMS

(I) Experiência	(J) Experiência	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
Aluno	Designer há menos de 2 anos	-6,157153	17,114014	,719	-39,77398	27,45967
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-49,037558*	18,804841	,009	-85,97565	-12,09946
	Designer há mais de 5 anos	-22,037859	18,033408	,222	-57,46064	13,38492
Designer há menos de 2 anos	Aluno	6,157153	17,114014	,719	-27,45967	39,77398
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-42,880405*	21,007699	,042	-84,14555	-1,61526
	Designer há mais de 5 anos	-15,880706	20,320068	,435	-55,79514	24,03373
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	49,037558*	18,804841	,009	12,09946	85,97565
	Designer há menos de 2 anos	42,880405*	21,007699	,042	1,61526	84,14555
	Designer há mais de 5 anos	26,999699	21,763220	,215	-15,74950	69,74890
Designer há mais de 5 anos	Aluno	22,037859	18,033408	,222	-13,38492	57,46064
	Designer há menos de 2 anos	15,880706	20,320068	,435	-24,03373	55,79514
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-26,999699	21,763220	,215	-69,74890	15,74950

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro F-2 – Quadro de comparação múltipla de médias - reconhecimento de requisitos desconhecidos

ANEXO G - Quadros de comparação múltipla de médias - efeitos PR

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of PRAMC
 DMS

(I) Experiência	(J) Experiência	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
Aluno	Designer há menos de 2 anos	34,042896*	13,301039	,011	7,86255	60,22324
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	19,670189	12,352593	,112	-4,64334	43,98372
	Designer há mais de 5 anos	14,647012	12,143878	,229	-9,25570	38,54973
Designer há menos de 2 anos	Aluno	-34,042896*	13,301039	,011	-60,22324	-7,86255
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-14,372707	15,239791	,346	-44,36909	15,62367
	Designer há mais de 5 anos	-19,395884	15,071113	,199	-49,06025	10,26849
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	-19,670189	12,352593	,112	-43,98372	4,64334
	Designer há menos de 2 anos	14,372707	15,239791	,346	-15,62367	44,36909
	Designer há mais de 5 anos	-5,023177	14,241045	,725	-33,05373	23,00738
Designer há mais de 5 anos	Aluno	-14,647012	12,143878	,229	-38,54973	9,25570
	Designer há menos de 2 anos	19,395884	15,071113	,199	-10,26849	49,06025
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	5,023177	14,241045	,725	-23,00738	33,05373

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro G-1 – Quadro de comparação múltipla de médias - PR - Apoiar e melhorar a comunicação

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of PREEP

DMS

(I) Experiência	(J) Experiência	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
Aluno	Designer há menos de 2 anos	27,819149*	12,106710	,022	3,98959	51,64870
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	18,284483	11,243427	,105	-3,84588	40,41484
	Designer há mais de 5 anos	22,983607*	11,053453	,038	1,22717	44,74004
Designer há menos de 2 anos	Aluno	-27,819149*	12,106710	,022	-51,64870	-3,98959
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-9,534666	13,871377	,492	-36,83760	17,76827
	Designer há mais de 5 anos	-4,835542	13,717845	,725	-31,83628	22,16520
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	-18,284483	11,243427	,105	-40,41484	3,84588
	Designer há menos de 2 anos	9,534666	13,871377	,492	-17,76827	36,83760
	Designer há mais de 5 anos	4,699124	12,962310	,717	-20,81450	30,21275
Designer há mais de 5 anos	Aluno	-22,983607*	11,053453	,038	-44,74004	-1,22717
	Designer há menos de 2 anos	4,835542	13,717845	,725	-22,16520	31,83628
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-4,699124	12,962310	,717	-30,21275	20,81450

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro G-2 – Quadro de comparação múltipla de médias - PR - Estudar ergonomicamente o objeto

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of PREE				Intervalo de Confiança 95%		
DMS				Limite inferior	Limite superior	
(I) Experiência	(J) Experiência	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.		
Aluno	Designer há menos de 2 anos	32,682395*	13,291468	,015	6,52089	58,84390
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	34,343437*	12,343705	,006	10,04741	58,63947
	Designer há mais de 5 anos	24,862374*	12,135139	,041	,97686	48,74789
Designer há menos de 2 anos	Aluno	-32,682395*	13,291468	,015	-58,84390	-6,52089
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	1,661042	15,228825	,913	-28,31375	31,63583
	Designer há mais de 5 anos	-7,820021	15,060268	,604	-37,46304	21,82300
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	-34,343437*	12,343705	,006	-58,63947	-10,04741
	Designer há menos de 2 anos	-1,661042	15,228825	,913	-31,63583	28,31375
	Designer há mais de 5 anos	-9,481063	14,230797	,506	-37,49145	18,52932
Designer há mais de 5 anos	Aluno	-24,862374*	12,135139	,041	-48,74789	-9,7686
	Designer há menos de 2 anos	7,820021	15,060268	,604	-21,82300	37,46304
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	9,481063	14,230797	,506	-18,52932	37,49145

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro G-3 – Quadro de comparação múltipla de médias - PR - Encurtar etapas no desenvolvimento de produto

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of PRCI		Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
DMS					Limite inferior	Limite superior
(I) Experiência	(J) Experiência					
Aluno	Designer há menos de 2 anos	23,402111	13,573102	,086	-3,31374	50,11796
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	28,785456*	12,605257	,023	3,97461	53,59630
	Designer há mais de 5 anos	16,038141	12,392272	,197	-8,35348	40,42977
Designer há menos de 2 anos	Aluno	-23,402111	13,573102	,086	-50,11796	3,31374
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	5,383346	15,551510	,729	-25,22659	35,99328
	Designer há mais de 5 anos	-7,363969	15,379382	,632	-37,63510	22,90716
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	-28,785456*	12,605257	,023	-53,59630	-3,37461
	Designer há menos de 2 anos	-5,383346	15,551510	,729	-35,99328	25,22659
	Designer há mais de 5 anos	-12,747315	14,532335	,381	-41,35121	15,85658
Designer há mais de 5 anos	Aluno	-16,038141	12,392272	,197	-40,42977	8,35348
	Designer há menos de 2 anos	7,363969	15,379382	,632	-22,90716	37,63510
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	12,747315	14,532335	,381	-15,85658	41,35121

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro G-4 – Quadro de comparação múltipla de médias - PR - Concretizar ideias mais rapidamente

ANEXO H - Quadros de comparação múltipla de médias - efeitos PD

Comparações múltiplas

Variável dependente: Rank of VPD
DMS

(I) Experiência	(J) Experiência	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
Aluno	Designer há menos de 2 anos	43,830891*	16,298111	,007	11,81673	75,84505
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	24,155273	17,908329	,178	-11,02182	59,33236
	Designer há mais de 5 anos	34,174241*	17,173673	,047	,44023	67,90826
Designer há menos de 2 anos	Aluno	-43,830891*	16,298111	,007	-75,84505	-11,81673
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-19,675618	20,006167	,326	-58,97346	19,62223
	Designer há mais de 5 anos	-9,656649	19,351318	,618	-47,66818	28,35488
Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	Aluno	-24,155273	17,908329	,178	-59,33236	11,02182
	Designer há menos de 2 anos	19,675618	20,006167	,326	-19,62223	58,97346
	Designer há mais de 5 anos	10,018968	20,725668	,629	-30,69218	50,73012
Designer há mais de 5 anos	Aluno	-34,174241*	17,173673	,047	-67,90826	-4,4023
	Designer há menos de 2 anos	9,656649	19,351318	,618	-28,35488	47,66818
	Designer há mais de 2 anos e menos de 5 anos	-10,018968	20,725668	,629	-50,73012	30,69218

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Quadro H-1 – Quadro de comparação múltipla de médias - Prototipagem Digital

ANEXO I - Software CAD aprendido durante o curso de Design

Verifica-se que, em relação a esta questão, os designers aprenderam mais do que uma aplicação de modelação 3D. Nos quadros seguintes, comparamos o AutoCAD, o SolidWorks e o 3DStudio Max com as outras aplicações referenciadas. Podemos constatar que existe alguma complementaridade entre aplicações de modelação paramétrica, tipo SolidWorks, e modelação direta, tipo 3DStudio MAX.

Quadro I-1 – Software CAD aprendido

		Respostas	
		N	Percentagem
Software_curso	AutoCAD	169	80,1%
	ProEngineer	3	1,4%
	SolidWorks	121	57,3%
	CATIA	17	8,1%
	Rhinoceros	54	25,6%
	StudioMAX	139	65,9%
	StudioTools	28	13,3%
	MAYA	14	6,6%
	Outro	17	8,1%
Total		562	

Quadro I-2 – Software CAD aprendido - AutoCAD/outros

		AutoCAD
		Apreendeu no curso
Software	ProEngineer	2 1,2%
	SolidWorks	91 53,8%
	CATIA	14 8,3%
	Rhinoceros	41 24,3%
	StudioMAX	120 71,0%
	StudioTools	27 16,0%
	MAYA	12 7,1%

Quadro I-3 – Software CAD aprendido - SolidWorks/outros

		SolidWorks
		Apreendeu no
		curso
Software	AutoCAD	91
		75,2%
	ProEngineer	1
		0,8%
	CATIA	4
		3,3%
	Rhinoceros	44
		36,4%
	StudioMAX	76
		62,8%
	StudioTools	26
		21,5%
	MAYA	8
		6,6%

Quadro I-4 – Software CAD aprendido - 3D StudioMAX/outros

		StudioMAX
		Aprendeu no curso
Software_curso	AutoCAD	120 86,3%
	SolidWorks	76 54,7%
	CATIA	16 11,5%
	Rhinoceros	21 15,1%
	StudioTools	9 6,5%
	MAYA	11 7,9%
	Outro	8 5,8%

