



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

TIAGO RAGUZE

**PERCEPÇÃO VISUAL:
DESIGN E TECNOLOGIA APLICADOS À GEOMETRIA DESCRITIVA**

Porto Alegre, 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

TIAGO RAGUZE

**PERCEPÇÃO VISUAL:
DESIGN E TECNOLOGIA APLICADOS À GEOMETRIA DESCRITIVA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Professor Dr. Régio Pierre da Silva

Porto Alegre, 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Raguze, Tiago
PERCEPÇÃO VISUAL: Design e Tecnologia Aplicados à
Geometria Descritiva / Tiago Raguze. -- 2016.
146 f.

Orientador: Régio Pierre da Silva.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Geometria Descritiva. 2. Percepção Visual. 3.
Design Instrucional. 4. Design de Interação. 5.
Engenharia de Software. I. Silva, Régio Pierre da,
orient. II. Título.

Tiago Raguze

**PERCEPÇÃO VISUAL: DESIGN E TECNOLOGIA
APLICADOS À GEOMETRIA DESCRITIVA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 20 de janeiro de 2016.

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Orientador

Programa de Pós-graduação em Design / UFRGS

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Programa de Pós-graduação em Design / UFRGS

Prof^a. Dra. Tânia Luísa Koltermann da Silva

Programa de Pós-graduação em Design / UFRGS

Prof. Dr. Gustavo Javier Zani Núñez

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Design – PGDesign pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Régio Pierre da Silva, pela orientação, apoio, contribuição e conhecimentos compartilhados.

Aos professores membros da banca, pelas importantes contribuições para a realização deste trabalho.

Aos professores Fábio Gonçalves Teixeira e Fernando Batista Bruno, pelas sugestões e contribuições para o enriquecimento da pesquisa.

Aos professores das disciplinas de Geometria Descritiva, que se dispuseram a contribuir e participar da pesquisa, compartilhando suas experiências.

A Nathalia Barbosa Matias, pelo apoio, compreensão e paciência nesta jornada que exigiu muita dedicação.

Aos colegas da Universidade Feevale que apoiaram e contribuíram este trabalho.

RESUMO

A Geometria Descritiva é uma disciplina abstrata e complexa por sua origem lógica e visual. É de fundamental importância para o desenvolvimento da imaginação e criatividade espacial, assim como para qualquer estudo que envolva projeto. Os aprendizes apresentam dificuldades ao iniciar o estudo da disciplina, principalmente no entendimento do processo de representação por vistas ortogonais. Devido às características da disciplina, a mesma demanda material didático especializado. A tecnologia atual permite produzir e entregar materiais instrucionais em diversos formatos, inclusive através de simulações de ambientes tridimensionais em tempo real. Nesse contexto, a presente pesquisa tem por objetivo desenvolver e avaliar um protótipo de ferramenta interativa de ensino, na forma de recurso didático tecnológico, para auxílio no entendimento do processo de representação por vistas ortogonais. O processo de desenvolvimento foi realizado a partir da metodologia ADDIE do design instrucional em conformidade com os princípios de usabilidade do design de interação. O recurso foi implementado a partir da metodologia ágil Scrum da engenharia de software. Como resultado, aponta-se que a utilização do recurso desenvolvido poderia contribuir no entendimento da disciplina de Geometria Descritiva, possibilitando a concretização dos processos da disciplina.

Palavras-chave: Geometria Descritiva, Percepção Visual, Design Instrucional, Design de Interação, Engenharia de *Software*.

ABSTRACT

The Descriptive Geometry is an abstract and complex discipline due to its logical and visual source. It is essential for the development of spatial imagination and creativity as well as any study involving project and design. The learners find it difficult to begin the study of the discipline, especially in understanding the process of representation by orthographic views. Because of these discipline characteristics, it needs specialized courseware. The current technology allows to produce and deliver instructional materials in several formats, including real time three-dimensional environment simulation. In this context, the objective of the current research is to develop and to evaluate a prototype of interactive learning tool, shaped in a technological teaching resource for assistance in understanding the representation process by orthogonal views. The development process was done through the ADDIE methodology from instructional design following the usability principles of interaction design. The resource was implemented using Scrum agile methodology of software engineering. The result points out that the usage of the developed resource could contribute to the understanding of Descriptive Geometry discipline, enabling the concretization of discipline's process.

Keywords: Descriptive Geometry, Visual Perception, Instructional Design, Interaction Design, Software Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interface do 3DMath e modos de exibição	15
Figura 2 – Animações interativas	16
Figura 3 – Virtual Spaces	17
Figura 4 – Exercícios de percepção	17
Figura 5 – Telas do livro eletrônico HyperCAL ^{GD}	18
Figura 6 – Interface do HyperCAL ^{3D}	19
Figura 7 – Formas geométricas do material didático.....	20
Figura 8 – Diedros.....	27
Figura 9 – Projeção cônica.....	28
Figura 10 – Projeção cilíndrica oblíqua	29
Figura 11 – Projeção cilíndrica ortogonal	30
Figura 12 – Projeções múltiplas	31
Figura 13 – Planificação da épura.....	32
Figura 14 – Interações cognitivas que envolvem a atividade geométrica	38
Figura 15 – Processos que afetam o pensamento espacial.....	40
Figura 16 – Fases do modelo de Design Instrucional	43
Figura 17 – Processo incremental.....	55
Figura 18 – Esquema da pesquisa.....	63
Figura 19 – Etapas da atividade dos blocos.....	70
Figura 20 – Blocos modulares.....	72
Figura 21 – Perspectivas de câmera.....	74
Figura 22 – Representação de arestas	75
Figura 23 – Eixos de Coordenada na origem do ambiente virtual.....	75
Figura 24 – Planos de projeção.....	76
Figura 25 – Convenção para ângulos de rotação e inclinação.....	77
Figura 26 – Quadros de animação de transposição	78
Figura 27 – Esquema da interface	79
Figura 28 – Telas da primeira versão do protótipo	81
Figura 29 – Projetantes e eixos de coordenada	92
Figura 30 – Remover blocos	93
Figura 31 – Regras de encaixe e botões para confirmar e cancelar	93

Figura 32 – Manipulação da visualização dos planos de projeção.....	94
Figura 33 – Alteração do afastamento da câmara axonométrica	95
Figura 34 – Ícones dos blocos.....	96
Figura 35 – Interface de rotação dos blocos	96
Figura 36 – Painel de interface dos planos de projeção.....	97
Figura 37 – Tela da segunda versão do protótipo	98
Figura 38 – Aspectos Tecnológicos	101
Figura 39 – Plataformas para utilização do recurso	102
Figura 40 – Plataforma preferencial para o recurso didático.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise contextual	71
Quadro 2 – Nomenclatura dos blocos	73
Quadro 3 – Requisitos para o ciclo incremental	80
Quadro 4 – Análise do teste de protótipo com Especialista 1	83
Quadro 5 – Análise do teste de protótipo com Especialista 2	84
Quadro 6 – Análise do teste de protótipo com Especialista 3	85
Quadro 7 – Análise do teste de protótipo com Especialista 4	87
Quadro 8 – Análise do teste de protótipo com Especialista 5	88
Quadro 9 – Análise do teste de protótipo com Especialista 6	89
Quadro 10 – Análise do teste de protótipo com Especialista 7	90
Quadro 11 – Análise do teste de protótipo com Especialista 8	91
Quadro 12 – Revisão de requisitos	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação Especialistas	100
--	-----

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE QUADROS.....	9
LISTA DE TABELAS	10
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 DEMARCAÇÃO DO NÍVEL DE INVESTIGAÇÃO DO FENÔMENO.....	21
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	22
1.4 HIPÓTESE DA PESQUISA	22
1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA	22
1.5.1 Objetivo geral.....	22
1.5.2 Objetivos específicos	22
1.6 JUSTIFICATIVA.....	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1 GEOMETRIA DESCRITIVA.....	26
2.1.1 Percepção.....	35
2.1.2 Percepção visual	36
2.2 DESIGN INSTRUCIONAL.....	41
2.2.1 Análise	43
2.2.2 Design	45
2.2.3 Desenvolvimento.....	47
2.2.4 Implementação	47
2.2.5 Avaliação	48
2.3 DESIGN DE INTERAÇÃO	48
2.3.1 Princípios de usabilidade	50
2.4 TECNOLOGIA.....	52
2.4.1 Engenharia de <i>software</i>.....	52
2.4.2 Modelo de processo de <i>software</i>	54
2.4.3 Desenvolvimento incremental	55
2.4.4 Metodologias ágeis	56
2.4.5 Scrum.....	58
2.4.6 Tecnologia Unity 3D	61
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	63
3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	64

3.2	DESENVOLVIMENTO DO RECURSO DIDÁTICO TECNOLÓGICO	65
3.2.1	Análise e design	65
3.2.2	Desenvolvimento.....	65
3.2.3	Teste protótipo	66
3.2.4	Avaliação	68
3.3	FINALIZAÇÃO DA PESQUISA	68
4	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO	69
4.1	ANÁLISE E DESIGN.....	69
4.1.1	Requisitos de projeto.....	73
4.1.2	Visualização e representação	73
4.1.3	Combinar blocos	75
4.1.4	Projeção ortogonal.....	76
4.1.5	Navegação.....	77
4.1.6	Animação.....	78
4.1.7	Interface.....	78
4.2	DESENVOLVIMENTO.....	79
4.3	TESTE DE PROTÓTIPO.....	82
4.3.1	Teste Especialista 1	82
4.3.2	Teste Especialista 2	83
4.3.3	Teste Especialista 3	84
4.3.4	Teste Especialista 4	86
4.3.5	Teste Especialista 5	87
4.3.6	Teste Especialista 6	88
4.3.7	Teste Especialista 7	89
4.3.8	Teste Especialista 8	90
4.3.9	Revisão de requisitos	91
4.4	AValiação	99
4.4.1	Discussão dos resultados.....	103
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
	APÊNDICE A – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM ESPECIALISTA.....	119
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA ENTREVISTA COM ESPECIALISTAS	120
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO COM ESPECIALISTA.....	121

APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA AVALIAÇÃO COM ESPECIALISTAS.....	124
APÊNDICE E – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 1.....	125
APÊNDICE F – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 2.....	127
APÊNDICE G – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 3.....	131
APÊNDICE H – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 4.....	134
APÊNDICE I – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 5.....	136
APÊNDICE J – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 6.....	138
APÊNDICE K – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 7.....	140
APÊNDICE L – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 8.....	142

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho de pesquisa é proposto e contextualizado neste capítulo. São apresentados a delimitação do tema, o problema e a hipótese de pesquisa, assim como os objetivos geral e específicos. Por fim, apresenta-se a justificativa da pesquisa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Geometria Descritiva (GD) é o ramo da matemática aplicada que tem seu objetivo na representação de elementos tridimensionais sobre um plano, de tal maneira a interpretar problemas em três dimensões (LACOURT, 1995). O desenho projetivo, segundo Silva, R. (2005), é o “ramo da Geometria que estuda a representação de figuras sobre uma superfície”. Com este estudo, resolvem-se problemas relativos à forma, à grandeza e à posição. A GD, devido à sua natureza conceitual e lógica, apresenta-se como sendo abstrata e complexa.

Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o estudo de Geometria Descritiva é desenvolvido nas disciplinas de Geometria Descritiva II-A (ARQ-03317), Geometria Descritiva III (ARQ-03320), Geometria Descritiva Aplicada à Arquitetura (ARQ-03004) e Geometria Descritiva para Designers (ARQ-03065). A disciplina de Geometria Descritiva II-A é pré-requisito para a disciplina Geometria Descritiva III. Ambas as disciplinas possuem a carga horária de 30 horas e integram os currículos dos cursos de Engenharia (UFRGS, 2014a, 2014b).

A disciplina de Geometria Descritiva II-A (UFRGS, 2014a) trata das representações gráficas dos entes geométricos primários, ponto, reta e plano, assim como as relações e operações entre essas entidades. Entre elas, destacam-se aqui dupla projeção cilíndrica ortogonal, sistema de referência, projeções acumuladas, projeções reduzidas, projeções em verdadeira grandeza, vistas auxiliares primárias e secundárias, interseções, perpendicularismo, paralelismo e distâncias. É utilizado o método de Gaspar Monge (1746-1818) para a realização das operações. Em sua metodologia de ensino, a disciplina utiliza objetos sólidos como suporte para as entidades geométricas abstratas. Desta forma, as entidades primárias são abstraídas. Os pontos são analisados como vértices, as retas são entendidas como arestas e os planos como faces de um sólido. A disciplina de Geometria Descritiva III

(UFRGS, 2014b) trata do estudo de superfícies, a partir da sua construção, representação e solução de problemas, assim como as operações pertinentes citadas anteriormente.

As disciplinas de Geometria Descritiva Aplicada à Arquitetura e Geometria Descritiva para Designers contemplam todos os conteúdos das disciplinas de Geometria Descritiva II-A e Geometria Descritiva III em uma mesma disciplina, possuindo ambas a carga horária de 60 horas.

Segundo Silva, R. (2005), a maioria dos alunos egressos do Ensino Médio não possui o conhecimento dos conteúdos básicos para o estudo da Geometria Descritiva. Portanto, nota-se uma carência de pré-requisitos para o entendimento de uma disciplina complexa por natureza.

Uma das necessidades básicas para qualquer estudo projetual é a capacidade de percepção espacial (MOHLER, 2001). A percepção espacial compreende determinados aspectos: o reconhecimento de um objeto tridimensional a partir de diferentes ângulos, a percepção de uma estrutura interna dada determinada configuração espacial, determinação das relações espaciais entre o contexto e o individual. Uma correta interpretação sobre a percepção espacial seria a capacidade de criar representações a partir de um ponto de vista arbitrário qualquer (MORÁN et al., 2008).

Um estudo realizado por Montenegro (2005, p. 21) demonstra que estudantes que ingressam na universidade possuem baixa percepção espacial. As principais falhas se encontram na representação tridimensional, mais precisamente, no entendimento de como o bidimensional transpõe-se no tridimensional e como o tridimensional transpõe-se no bidimensional.

A disciplina de GD trabalha com a representação de objetos através de duas ou mais vistas, geradas a partir de projeções cilíndricas ortogonais. A concepção e a criação de objetos a partir dessas projeções ortogonais são fundamentais para a compreensão e resolução de problemas na disciplina. As dificuldades relatadas pelos alunos de GD referem-se às operações gráficas da disciplina, tanto a transposição do objeto real tridimensional para a sua representação bidimensional quanto na reconstrução do objeto real a partir de sua representação bidimensional (SILVA, R., 2005). Ambas as operações gráficas requerem da parte do indivíduo alta capacidade de percepção espacial para visualizar a transposição de um objeto em outro (MORÁN et al., 2008).

Por se tratar de uma disciplina com certo grau de complexidade, a GD necessita de recursos e procedimentos de ensino mais adequados para melhorar a sua compreensão. O ensino desta disciplina, limitado ao uso somente das projeções, torna-se difícil e tedioso (SILVA, R., 2005).

De acordo com Gutiérrez (1996), a origem das principais dificuldades encontradas no aprendizado de geometria é a falta de certas habilidades de visualização, como a habilidade de rotação mental e a percepção de relações espaciais e de relações de posição. A visualização é entendida como o raciocínio que utiliza elementos visuais e espaciais para resolver problemas. A rotação mental é a habilidade de imaginar um objeto tridimensional a partir de um ângulo arbitrário. Por fim, a percepção de relações espaciais e relações de posição tratam-se da habilidade de relacionar objetos entre si, simultaneamente (GUTIÉRREZ, 1996).

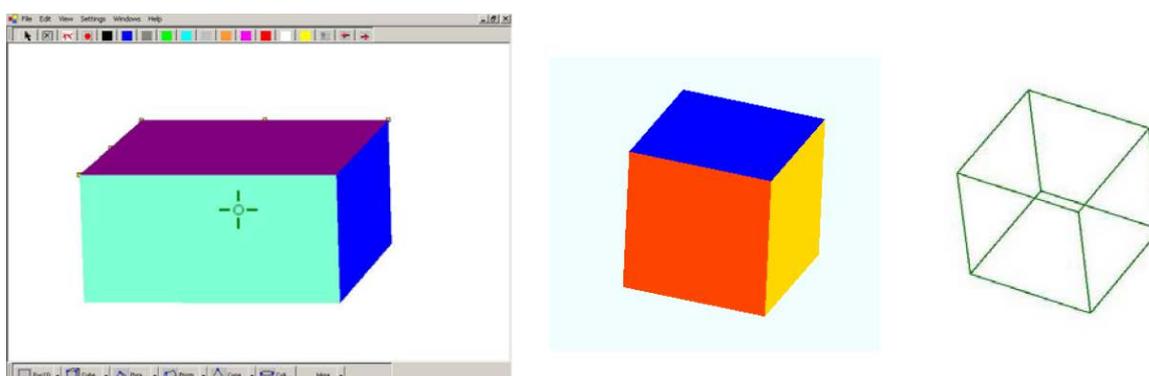
Visualização é o componente básico para o aprendizado de geometria tridimensional. A maioria dos livros de GD apresenta elementos tridimensionais aos estudantes através de representações em figuras planas. Em muitos casos, para mitigar a limitação dos livros, os professores utilizam modelos criados com madeira, gesso ou dobraduras de papel, para representar os objetos tridimensionais. Com o avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) outras formas de materiais foram proporcionadas: computadores com *softwares* especialmente desenvolvidos para permitir aos estudantes visualizar a representação de sólidos de várias maneiras possíveis na tela e ao mesmo tempo transformá-los. As TICs são uma parte relevante para ajudar os estudantes a adquirir e desenvolver habilidades de visualização no contexto da geometria espacial (GUTIÉRREZ, 1996).

A revolução tecnológica ocorrida nas últimas décadas, com a popularização dos computadores e outros dispositivos de mídia, possibilita novos recursos para reformular a maneira de ensinar geometria espacial. Uma das novas ferramentas utilizadas nas salas de aula são os programas de computador que possibilitam a representação tridimensional de objetos espaciais, permitindo que os usuários transformem os mesmos dinamicamente, através de rotações, translações e escala. Nesse contexto, apresentam-se a seguir estudos que apontam a utilização desses novos recursos para o ensino de geometria.

Muitas pesquisas foram realizadas com a intenção de aproximar o aprendizado de geometria tridimensional com os ambientes computacionais. Christou et al. (2006) apresentam o 3DMath, *software* para o desenvolvimento de

geometria tridimensional, que permite ao estudante construir, observar, manipular figuras geométricas no espaço e especificar relações entre os objetos. A principal intenção no desenvolvimento do 3DMath é a melhoria do entendimento de geometria tridimensional, a partir da ênfase em visualização. O 3DMath permite ao estudante visualizar as representações de sólidos geométricos em diferentes modos de exibição, ao mesmo tempo em que permite transformar os objetos tridimensionais, o que, dentro do contexto da geometria tridimensional, ajuda os alunos a desenvolver habilidades de visualização. A Figura 1 apresenta uma tela do *software* e os modos de exibição.

Figura 1 – Interface do 3DMath e modos de exibição



Fonte: Christou et al. (2006, p. 170).

García et al. (2007) apresentam animações interativas multimídia, criadas com o Adobe Flash. Através de animações vetoriais, conceitos complexos de GD são ensinados aos estudantes. Pelo processo da visualização das animações, os alunos podem pausar a qualquer momento ou pular para qualquer parte da animação, podendo revisar os pontos mais importantes ao mesmo tempo em que permite que cada estudante estude no seu próprio tempo. Os autores apontam como um dos principais pontos positivos o fato de o aluno aprender inconscientemente conceitos complexos, ao manipular as animações, ajudando a acelerar o desenvolvimento da percepção espacial. Por outro lado, os autores colocam que apesar do aluno controlar a visualização da animação, ela por si só não soluciona dúvidas a qualquer momento. De forma geral, os autores concluem que as animações devem ser cuidadosamente planejadas e projetadas. Caso contrário, não

serão produtivas para a solução para problemas de aprendizagem. A Figura 2 demonstra uma tela com as animações.

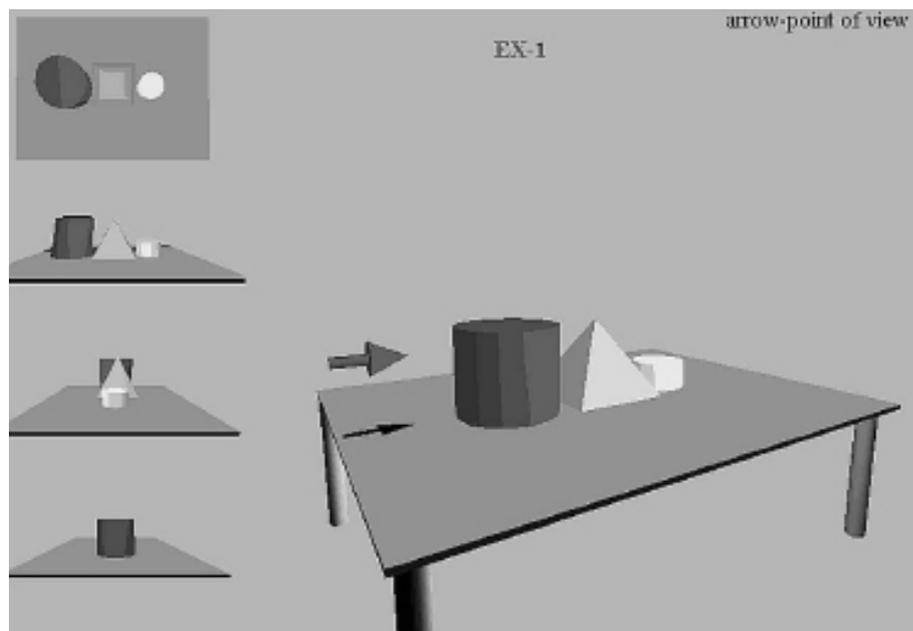
Figura 2 – Animações interativas



Fonte: García et al. (2007, p. 631).

Hauptman (2010) apresenta o Virtual Spaces 1.0, um *software* de realidade virtual imersiva, desenvolvido para melhorar a habilidade de pensamento espacial dos estudantes de geometria tridimensional. O Virtual Spaces foi construído como um ambiente de exercícios e não como uma ferramenta de construção para o estudo de objetos geométricos. Através da solução de exercícios de dificuldade progressiva o aluno estuda os conceitos geométricos. Uma das vantagens da utilização de realidade virtual está no fato de que uma ação realizada no ambiente virtual reflete uma ação feita no mundo real. Desta forma, no momento em que o estudante realiza um movimento no mundo real, o mesmo se realiza no virtual, facilitando a compreensão. Hauptman afirma que os estudantes que utilizaram o Virtual Spaces tiveram resultados melhores na sua aprendizagem. A Figura 3 apresenta uma tela do *software*.

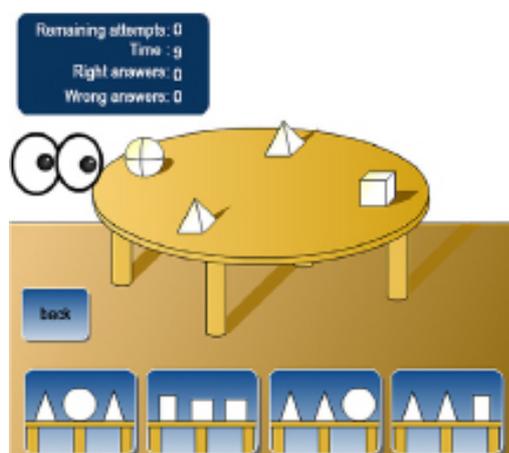
Figura 3 – Virtual Spaces



Fonte: Hauptman (2010, p. 132).

Morán et al. (2008) apresentam um estudo no qual utiliza um aplicativo produzido com o Adobe Flash para desenvolver a percepção espacial. O aplicativo trata da solução de exercícios de percepção, com dificuldade progressiva, a partir da abstração de sólidos. O problema do exercício é proposto e são dispostas alternativas de respostas, no qual apenas uma está correta. O usuário então escolhe a resposta adequada para o problema proposto. A Figura 4 apresenta a tela de um dos exercícios de percepção.

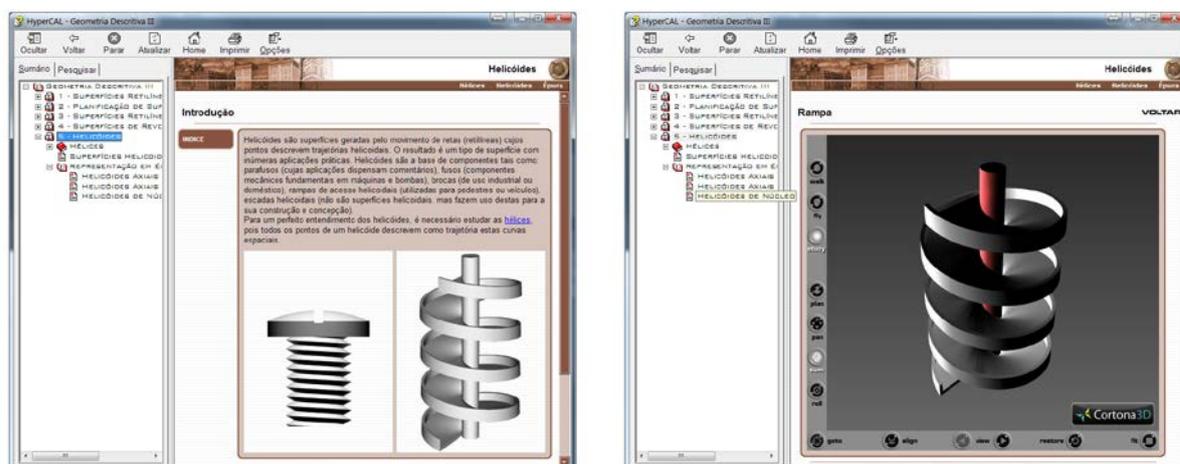
Figura 4 – Exercícios de percepção



Fonte: Morán et al. (2008, p. 775).

O grupo de pesquisa Virtual Design (ViD) da UFRGS desenvolve desde 1999, iniciativas para aprimorar a metodologia de ensino e adequar o conteúdo e as experiências de aprendizagem da GD (TEIXEIRA et al., 2015). Em 1999, foi desenvolvido o HyperCAL^{GD}, *software* no estilo livro eletrônico que utiliza hipertexto e multimídia para o ensino de GD. A Figura 5 apresenta algumas telas do *software*. Seu conteúdo textual é integrado por vídeos, animações 2D e 3D, e por modelos em realidade virtual, tecnologia que, para a época, apresentava um bom grau de interatividade. O HyperCAL^{GD} também foi utilizado como plataforma para pesquisas relacionadas com GD, incluindo uma dissertação de mestrado (SILVA, 1999) e uma tese de doutorado (SILVA, R., 2005). Devido ao seu resultado, o HyperCAL^{GD} é utilizado até hoje como o livro texto da disciplina de Geometria Descritiva III da UFRGS para os cursos de Engenharia.

Figura 5 – Telas do livro eletrônico HyperCAL^{GD}

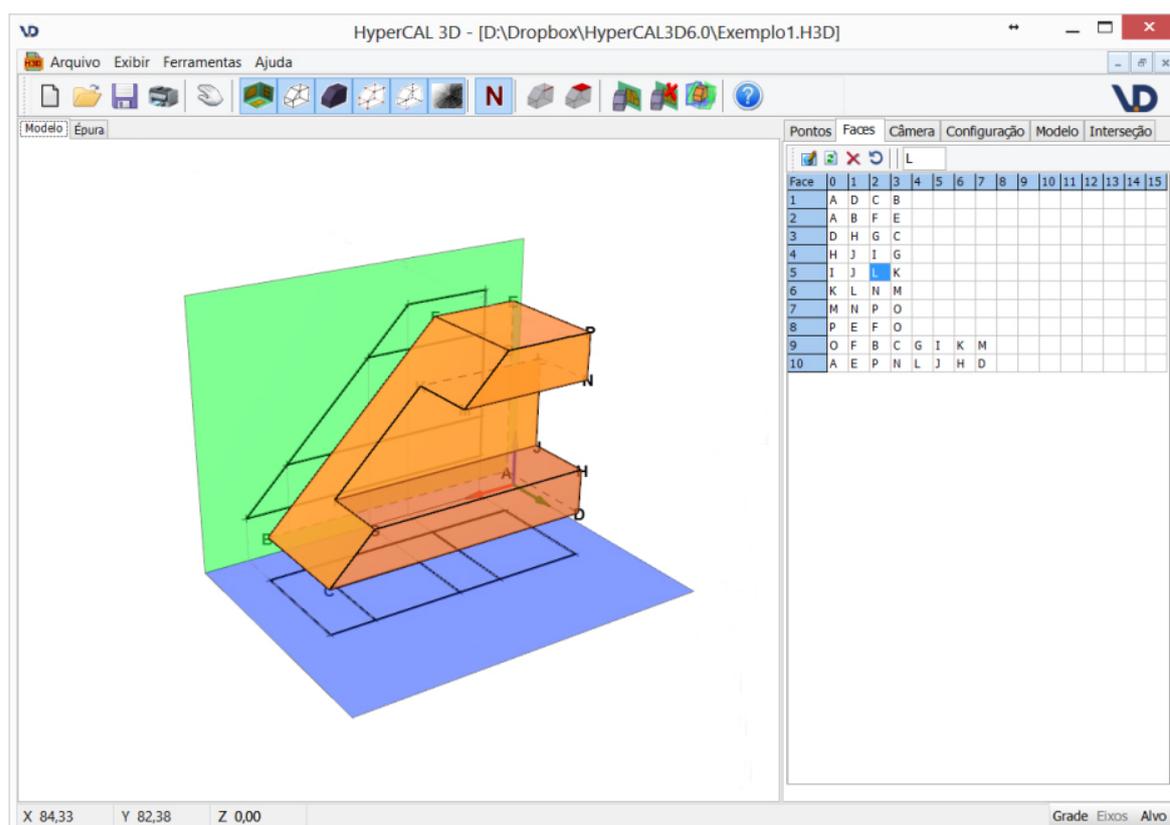


Fonte: Teixeira et al. (2015, p. 7).

Posteriormente, o grupo ViD entre os anos de 2002 e 2005, desenvolveu o HyperCAL Online, uma plataforma de educação a distância (EaD). Uma tese de doutorado (SILVA, T., 2005) implementou como experimento, o conceito de objetos de aprendizagem para a produção de material didático para GD no HyperCAL Online, permitindo a distribuição flexível de conteúdo. Este sistema serviu como base para o desenvolvimento de outras pesquisas acadêmicas, incluindo 4 dissertações de mestrado (TEIXEIRA et al., 2015).

A partir de 2005 foi desenvolvido o HyperCAL^{3D}. Trata-se de um programa computacional para o apoio à aprendizagem da GD, conforme mostra Figura 6, que simula os processos da disciplina em um ambiente tridimensional, em tempo real, através da manipulação de objetos (TEIXEIRA; SANTOS, 2013). O objetivo do aplicativo é proporcionar uma experiência interativa, possibilitando a aplicação dos processos da GD no espaço tridimensional e posteriormente sua representação bidimensional com a intenção de reduzir o nível de abstração necessário para o aprendizado dos conceitos básicos. Desse modo, aproveitam-se os conhecimentos prévios dos estudantes, garantindo-se o entendimento dos processos, ao mesmo tempo em que estimula a aprendizagem a partir da solução de problemas de ordem prática.

Figura 6 – Interface do HyperCAL^{3D}



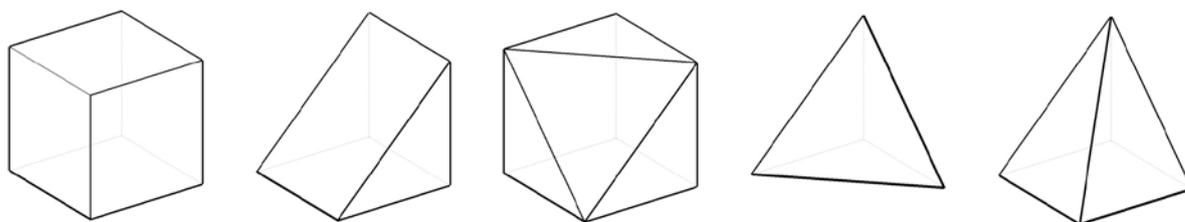
Fonte: Teixeira e Santos (2013, p. 27).

Este *software* conta com várias funcionalidades, entre elas a representação de linhas ocultas nos modelos tridimensionais e nas projeções, representação de projeções nos planos de projeção, mudança de sistema de referência em tempo real

em três dimensões e representação em *épura*. O HyperCAL^{3D} proporcionou um avanço significativo de qualidade no ensino de GD, pois foi o primeiro aplicativo com capacidade de representar em 3D e em tempo real, os processos gráficos específicos da disciplina. O programa dispõe de ferramentas para a realização das operações de GD, porém o usuário deve ter o conhecimento teórico necessário para utilizá-las na solução de problemas, uma vez que o aplicativo não resolve problemas automaticamente (TEIXEIRA et al., 2015).

O ViD também desenvolveu material didático empírico-concreto para atividades em sala de aula. Este material consiste em peças com formas básicas, criadas através de cortes de um cubo, conforme mostra a Figura 7, resultando em cinco blocos modulares. Os blocos podem ser combinados em diferentes configurações, formando-se geometrias de maior complexidade. A atividade com os blocos possibilita ao aluno experimentar na prática as posições, relações e projeções relativas aos objetos. A utilização deste material didático proporciona uma experiência concreta para o aluno (TEIXEIRA et al., 2015).

Figura 7 – Formas geométricas do material didático



Fonte: Teixeira et al. (2015, p. 9).

As pesquisas realizadas para melhorar a aprendizagem de GD, em sua maioria são focadas no desenvolvimento de percepção espacial, no reforço para a resolução de exercícios de abstração ou na produção de material didático específico para a disciplina. Christou et al. (2006) com o 3dMath, focam no desenvolvimento de habilidades espaciais dos estudantes. García et al. (2007), por sua vez, trabalham com o entendimento de conceitos complexos, através de animações passo a passo, demonstrando processos como a construção da *épura*. Hauptman (2010) apresenta o Virtual Space, que tem a intenção de melhorar o pensamento espacial. Morán et

al. (2008) desenvolvem exercícios de percepção com dificuldade progressiva. O grupo ViD, por sua vez, trabalhou na produção de materiais didáticos, empíricos e digitais para a GD, assim como desenvolveu ambientes e aplicativos para contribuir com o aprendizado da disciplina. Todos os experimentos até então realizados tratam de questões importantes para o entendimento da GD. Porém, as pesquisas apresentadas não tratam especificamente das dificuldades no processo de aprendizagem da transposição de objetos tridimensionais em representações bidimensionais através do processo de projeção cilíndrica ortogonal. Esta é uma das principais dificuldades apontadas por Montenegro (1991), uma vez que a representação bidimensional através das projeções cilíndricas ortogonais não se assemelha à visão natural das coisas. Nota-se aqui a oportunidade para o desenvolvimento de pesquisa, focada na melhoria do entendimento deste processo.

As iniciativas e pesquisas apresentadas apontam que as tecnologias digitais podem potencializar o desenvolvimento de recursos didáticos. No caso da GD, dada sua natureza abstrata e complexa, é imprescindível a concepção de materiais especializados. Para que recursos didáticos especializados sejam mais eficazes, tanto para contribuir com o aprendizado de GD quanto para o entendimento do processo de transposição, é fundamental a utilização de uma abordagem baseada no Design Instrucional e no Design de Interação. Conceitos que contribuem para o desenvolvimento de ferramentas de aprendizagem interativas.

1.2 DEMARCAÇÃO DO NÍVEL DE INVESTIGAÇÃO DO FENÔMENO

A disciplina de GD possui um amplo conjunto de conceitos a serem estudados. Desta forma, é essencial definir o objeto de estudo e o escopo deste trabalho. Sendo assim, delimita-se este trabalho ao conceito das vistas ortogonais, fomentando a capacidade de percepção visual, utilizando tecnologia que permita a visualização e o entendimento de como objetos tridimensionais transpõem-se em representações bidimensionais. Considera-se percepção visual o conceito colocado por Montenegro (2005), o qual compreende a capacidade de uma pessoa manipular mentalmente uma figura ou representação tridimensional e imaginá-la a partir de qualquer uma de suas vistas. A pesquisa contextualiza-se no ensino de GD na UFRGS dada a exequibilidade do trabalho.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Como auxiliar no entendimento do conceito de vistas ortogonais, visando o desenvolvimento da habilidade de percepção visual no contexto de ensino da Geometria Descritiva?

1.4 HIPÓTESE DA PESQUISA

O uso de recursos tecnológicos interativos que qualifiquem a visualização e o entendimento da transposição de entidades geométricas tridimensionais em projeções ortogonais contribui para a compreensão do processo de representação por vistas ortogonais.

1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA

A seguir, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

1.5.1 Objetivo geral

Propor a utilização de tecnologias digitais como recurso didático interativo, para auxiliar no entendimento do processo de visualização de vistas ortogonais.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Identificar as dificuldades apresentadas na aprendizagem do conceito de representação por vistas ortogonais;
- b) propor requisitos que irão compor o recurso didático tecnológico interativo;
- c) desenvolver recurso didático tecnológico, na forma de protótipo funcional, que auxilie no processo de entendimento da representação por vistas ortogonais;
- d) verificar se o recurso didático tecnológico foi eficaz para o entendimento do conceito de representação por vistas ortogonais.

1.6 JUSTIFICATIVA

A GD é uma disciplina que apresenta certa complexidade e que exige um determinado nível de abstração por parte do aluno para a compreensão das relações entre os elementos fundamentais.

Montenegro (1991, p.8) afirma que a GD é base teórica para diversos ramos profissionais, desde as engenharias até a arquitetura, bem como o desenho industrial, pintura, escultura, entre muitos outros. É difícil encontrar uma profissão que não faça o uso de alguma forma de desenho para representar e visualizar suas aplicações. Segundo o autor,

a Geometria Descritiva, corretamente estudada, desenvolve a habilidade de imaginar objetos ou projetos no espaço, e não apenas a leitura ou interpretação de desenhos. Algumas profissões exigem a capacidade de pensar em três dimensões; sem este tipo de pensamento, mais a habilidade de transportá-lo para o desenho, é impraticável a criatividade, a inteligência para criar coisas novas. (MONTENEGRO, 1991, p. 9).

A GD é uma disciplina fundamental para a atividade de projeto (TEIXEIRA; SANTOS, 2013). A disciplina é a base das vistas ortogonais e do desenho técnico moderno. Segundo os autores:

O desenvolvimento da GD e, conseqüentemente, do desenho técnico alavancou a revolução industrial, pois possibilitou o desenvolvimento de máquinas e equipamentos com mecanismos de precisão, o que era impossível até então, sem métodos gráficos para o projeto geométrico de peças e estruturas. (TEIXEIRA; SANTOS, 2013, p. 20).

A partir da sua importância para a atividade de projeto, a GD é parte dos currículos dos cursos de Engenharia e Arquitetura, assim como mais recentemente, dos cursos de Design. A aprendizagem efetiva de GD é fundamental para o desempenho destas profissões assim como para a atividade de projeto (TEIXEIRA; SANTOS, 2013).

De acordo com Montenegro (1991, p. 4) uma das dificuldades no ensino de GD vem da própria característica da projeção ortogonal, uma vez que esta se difere da visão em perspectiva. Mesmo que a perspectiva seja coerente com a GD, as representações feitas nos dois sistemas, projeção cônica e projeção ortogonal, resultam em desenhos bem diferentes. A perspectiva é entendida normalmente sem

um preparo prévio por parte do observador, uma vez que se assemelha à visão natural das coisas enquanto o sistema mongeano necessita de treino.

Montenegro (2005, p. 10) afirma que

“Como resultado da deficiência do estudo de geometria, as formas tridimensionais e a relação da geometria com o mundo físico deixam de ser conhecidas. Consequentemente, perde-se a noção de que o mundo real é que da origem aos conceitos básicos da geometria e não o contrário, como se poderia supor”.

Todo o fundamento dos métodos desenvolvidos para a GD é baseado em conhecimentos do século XVIII. Naquela época a visualização era resolvida através das projeções, formando desenhos planos (SILVA, R., 2005). O avanço da tecnologia permitiu o desenvolvimento de novas formas para representar objetos em três dimensões e em tempo real, o que possibilita uma significativa melhoria no processo de aprendizagem de conceitos complexos da GD. Segundo Silva, R. (2005, p. 21), “a Geometria Descritiva requer o uso de recursos visuais para sua melhor compreensão”. As TICs têm sido incorporadas como recurso pedagógico de ensino aprendizagem para melhorar o desempenho das disciplinas de engenharia. Apesar de toda a tecnologia de representação tridimensional existente atualmente, ainda é necessário o domínio dos conceitos de transposição do tridimensional para o bidimensional. Uma vez que o meio bidimensional é a principal forma utilizada para a comunicação no âmbito de projetos, torna-se fundamental o entendimento pleno destes conceitos para um bom exercício profissional.

Muitos autores afirmam que para um bom desempenho com geometria tridimensional, é necessário possuir determinadas habilidades relacionadas à percepção. Segundo Morán et al. (2008), a capacidade de percepção espacial varia conforme o indivíduo, porém, ela pode ser desenvolvida, aprimorada e melhorada através da prática. García et al. (2007) afirmam que para o aprimoramento da percepção espacial dos estudantes é necessário a utilização não somente de métodos tradicionais como exercícios de repetição estruturados, mas também o uso de novas tecnologias, capazes de dar suporte a este aprendizado.

O desenvolvimento de *software* especializado para o aprendizado de Geometria pode contribuir para o processo de ensino aprendizagem da disciplina. Os alunos podem visualizar os sólidos em muitas posições diferentes na tela, em relação aos livros, com sua representação apenas plana. Como consequência,

obtém-se uma experiência mais rica, se comparado aos livros texto e poderiam melhorar sua habilidade de criar imagens mentais dinâmicas (GUTIÉRREZ, 1996).

Do ponto de vista do Design Instrucional, Filatro (2008, p. 6) afirma que os avanços proporcionados pela ciência da computação são significativos para o design instrucional, uma vez que possibilitam a oferta de ferramentas de aprendizagem variadas e flexíveis, podendo-se basear em modelos complexos e simulações. García et al. (2007) afirmam que ferramentas de ensino interativas proporcionam maior retenção da atenção dos estudantes.

A presente pesquisa dá continuidade aos trabalhos e pesquisas realizados pelo grupo de pesquisa Virtual Design da UFRGS, envolvendo um conceito específico da GD ainda pouco explorado: o entendimento do processo de projeção cilíndrico ortogonal, isto é, como objetos tridimensionais transpõem-se em representações bidimensionais.

O objeto de estudo da presente pesquisa é o desenvolvimento de um protótipo funcional de ferramenta interativa instrucional, na forma de recurso didático tecnológico. Visa ao apoio à percepção visual para o entendimento do processo de projeção cilíndrica ortogonal na disciplina de Geometria Descritiva, uma vez que esta demanda material de aprendizado especializado. Com este estudo e posteriormente com a implementação da ferramenta instrucional, o aluno será capaz de acessar o material educacional de forma interativa, intuitiva, rápida, de qualquer lugar, a qualquer momento. Desta forma, a presente pesquisa tem a intenção de contribuir com os trabalhos já realizados pelo Virtual Design adicionando outro recurso didático tecnológico às iniciativas já desenvolvidas pelo grupo.

Considerando as dificuldades apresentadas quanto ao aprendizado de Geometria Descritiva e a importância da disciplina para a formação de profissionais que atuam em atividades de projeto, a presente pesquisa mostra-se relevante por auxiliar e promover o conhecimento da disciplina de GD.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas as principais teorias que formam a base fundamental para o desenvolvimento da pesquisa. A primeira parte trata dos conceitos de Geometria Descritiva, abordando os aspectos da percepção visual e habilidades necessárias para o aprendizado eficaz da disciplina. Na segunda parte, apresentam-se os conceitos relacionados ao design instrucional e design de interação, necessários para a compreensão do problema de pesquisa. A terceira parte aborda os procedimentos e conceitos envolvidos no desenvolvimento de artefatos tecnológicos, auxiliando na produção do protótipo da pesquisa.

2.1 GEOMETRIA DESCRITIVA

A GD é o ramo da Geometria que estuda a representação de objetos tridimensionais sobre um plano, utilizando sistemas baseados nos conceitos de projeção de pontos sobre um plano, com a intenção de reduzir dimensões espaciais tridimensionais para dimensões bidimensionais sobre o plano (GARCÍA et al., 2007). A GD estabelece três elementos geométricos primitivos: o ponto, a reta e o plano, assim como define as relações entre esses elementos, pertencer, estar situado e congruente (SILVA, R., 2005). De forma geral, a disciplina tem como objetivo a resolução gráfica de problemas relativos à forma, grandeza e posição de objetos (BORGES et al., 1993). De acordo com García et al. (2007), tradicionalmente, a GD é aprendida através da prática, realizando inúmeros exercícios sobre cada conceito os quais utilizam aparato tradicional de desenho, lápis, esquadros, régua, compassos e papel.

Segundo Lacourt (1995), no final do século XVIII, a GD foi sistematizada e metodizada pelo matemático francês Gaspar Monge. O matemático não criou propriamente a disciplina, mas sim estabeleceu normas para equacionar a GD, que já era abordada há muito tempo. De acordo com Borges et al. (1993, p. 15), Monge relacionou dois planos principais de projeção cortando-se perpendicularmente e os chamou de plano vertical e plano horizontal de projeção. Com os estudos realizados pelo grupo de pesquisa ViD e visando uma maior coerência na nomenclatura dos planos principais de projeção, a denominação de um desses planos foi alterada. Para os fins desta pesquisa se adotará a nomenclatura conforme Teixeira e Silva

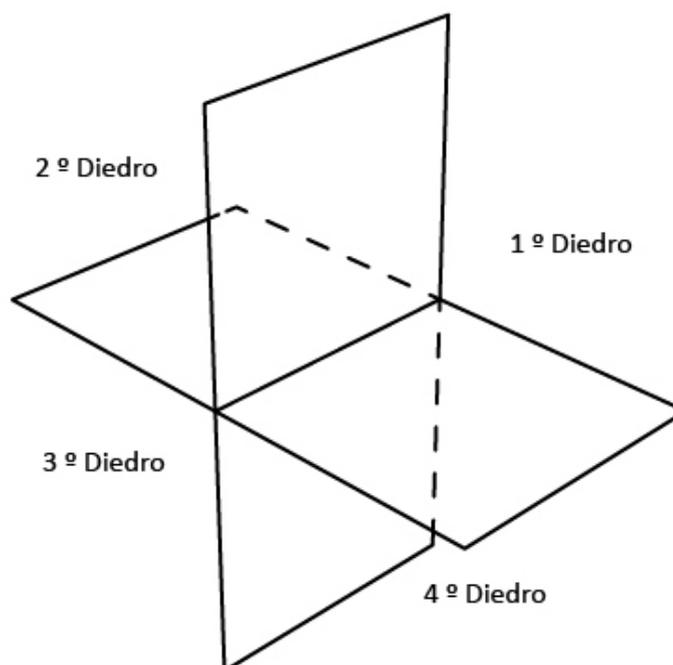
(2013), na qual os planos principais de projeção são nomeados: plano frontal e plano horizontal.

Esses planos dividem o espaço geométrico em quatro partes, chamadas de diedros, aos quais Monge numerou de acordo com o sentido trigonométrico, ou anti-horário, conforme Figura 8.

Para Monge, os dois principais objetivos da GD eram:

- representar através de desenhos bidimensionais os objetos tridimensionais que são susceptíveis de definição rigorosa (linguagem para quem concebe o projeto, dirige a execução ou executa diferentes partes do trabalho);
 - inferir, a partir da descrição exata dos objetos, informações sobre sua forma e posição.
- (TEIXEIRA; SILVA, 2013, p. 3).

Figura 8 – Diedros



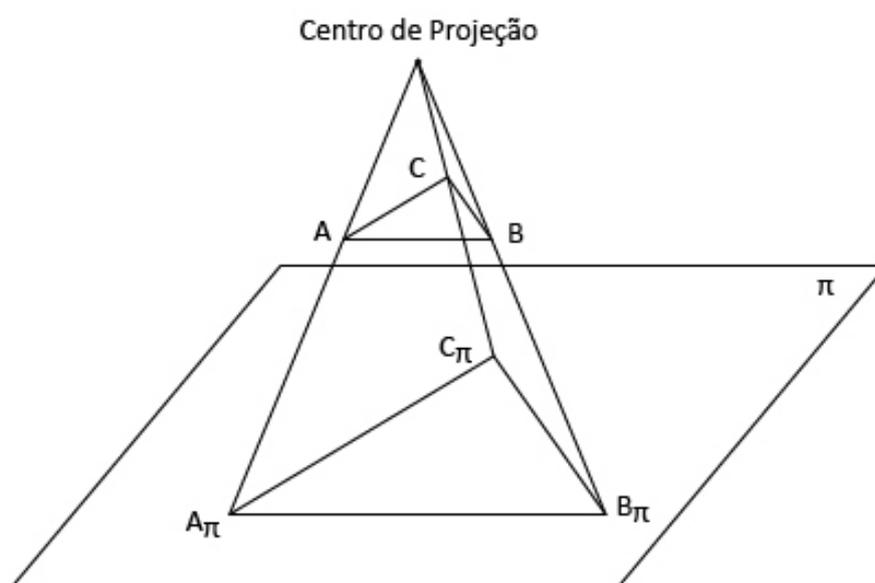
Fonte: Borges et al. (1993, p. 18).

A GD classifica dois tipos básicos de sistemas projetivos, o Sistema de Projeção Central ou Cônico e o Sistema de Projeção Cilíndrico. A forma de cada sistema depende da posição relativa dos seus elementos: plano de projeção, objeto e centro de projeção (TEIXEIRA; SILVA, 2013).

O Sistema de Projeção Central caracteriza-se por ter distância finita entre o centro de projeção e o objeto, conforme observado na Figura 9. Com esta

configuração o ângulo entre as projetantes não é desprezível, o que causa distorções na imagem projetada. A distância entre o centro de projeção e o plano de projeção define o tamanho da imagem, assim como a distância entre o centro de projeção e o objeto definem o grau de distorção. Como exemplo deste tipo de projeção, temos a visão humana, as câmeras fotográficas, filmadoras, projetores, entre outros. Esse sistema é a base teórica para a construção das perspectivas cônicas, que consistem em um desenho em perspectiva, muito próximo à visão humana. Sua utilização é frequente na representação de objetos de ordem realística, como em aplicações de Design, Arquitetura, Publicidade e Artes Plásticas. No entanto, as imagens geradas pelo Sistema de Projeção Central não servem quando se necessita de precisão na representação, pois sua imagem apresenta distorções na forma e nas medidas tanto de ângulos quanto de comprimentos (TEIXEIRA; SILVA, 2013).

Figura 9 – Projeção cônica



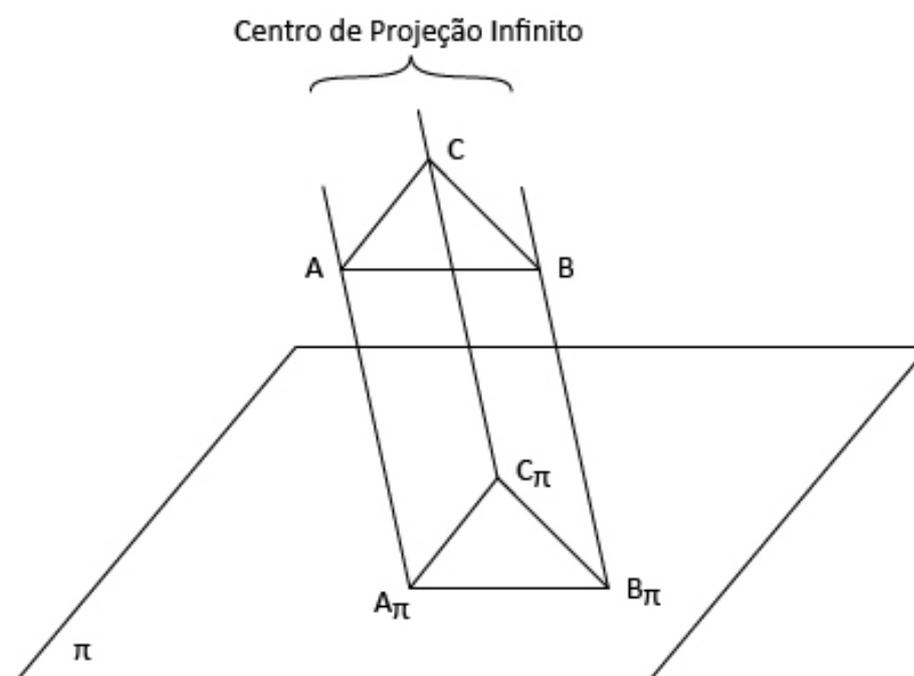
Fonte: Borges et al. (1993, p. 15).

O Sistema de Projeção Cilíndrico caracteriza-se por apresentar a distância entre o centro de projeção e o objeto tão grande em relação à própria dimensão do objeto, que se pode considerar como infinita. Desse modo, as projetantes tornam-se paralelas. Uma propriedade importante deste sistema é a distorção que se produz na imagem projetada. Todas as faces que se apresentam paralelas ao plano

projetivo projetam-se em verdadeira grandeza, o que permite aplicações onde a característica mais importante seja a precisão. Neste tipo de projeção, não ocorrem distorções na posição de arestas e planos, de outra forma, retas paralelas, projetam-se paralelas. Esta característica torna-se importante para um correto entendimento e compreensão das formas (TEIXEIRA; SILVA, 2013). O Sistema de Projeção Cilíndrico divide-se em dois tipos de acordo com a posição relativa das projetantes e do plano de projeção: Sistema de Projeção Cilíndrico Oblíquo e Sistema de Projeção Cilíndrico Ortogonal.

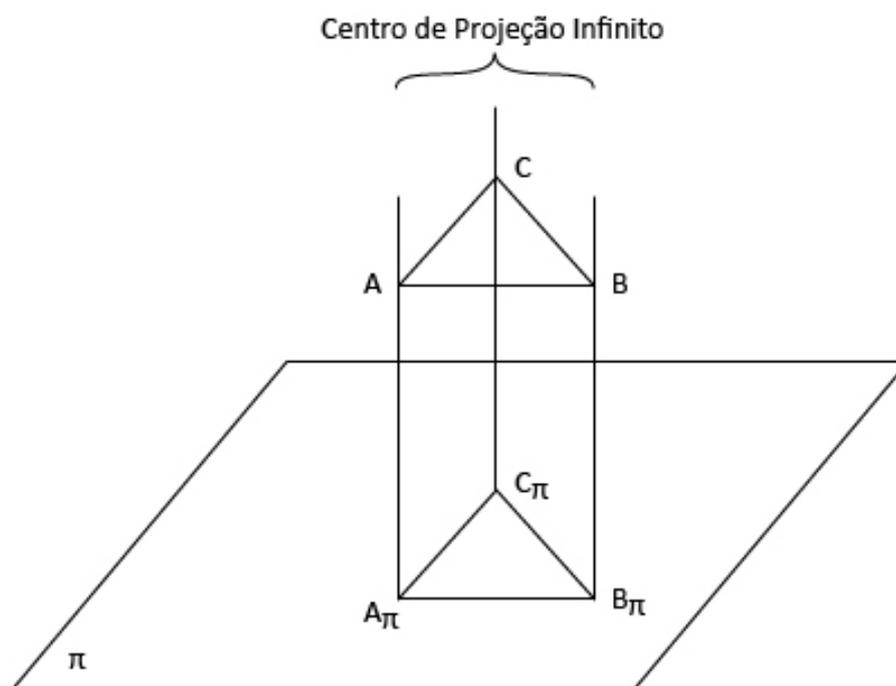
No Sistema de Projeção Cilíndrico Oblíquo, conforme Figura 10, as projetantes paralelas apresentam um ângulo diferente de 90° em relação ao plano de projeção, o que caracteriza uma imagem de projeção com distorções em relação ao objeto, podendo a projeção ser maior, menor ou igual à dimensão original do objeto. As faces paralelas ao plano de projeção são projetadas em verdadeira grandeza neste sistema projetivo. Porém, as distorções nas outras dimensões, restringem sua aplicação à representação de desenhos em perspectiva (TEIXEIRA; SILVA, 2013).

Figura 10 – Projeção cilíndrica oblíqua



No Sistema de Projeção Cilíndrico Ortogonal as projetantes paralelas apresentam um ângulo reto, 90° , com o plano de projeção, conforme apresentado na Figura 11. Como este é um sistema cilíndrico, as faces paralelas ao plano projetivo, são projetadas em verdadeira grandeza e as distorções das faces oblíquas dependem de sua posição em relação ao plano projetivo. A projeção neste sistema nunca se apresenta maior que o objeto e as reduções são proporcionais aos ângulos dos elementos em relação ao plano de projeção. Deste modo, ocorre uma relação entre o objeto real e a projeção que pode ser definida por uma equação matemática (TEIXEIRA; SILVA, 2013). Teixeira e Silva (2013) afirmam, "por esta razão, que o sistema cilíndrico ortogonal é a base para toda a Geometria Descritiva e para o Desenho Técnico, duas áreas onde a precisão e verdadeira grandeza são elementos fundamentais" (TEIXEIRA; SILVA, 2013, p. 7).

Figura 11 – Projeção cilíndrica ortogonal

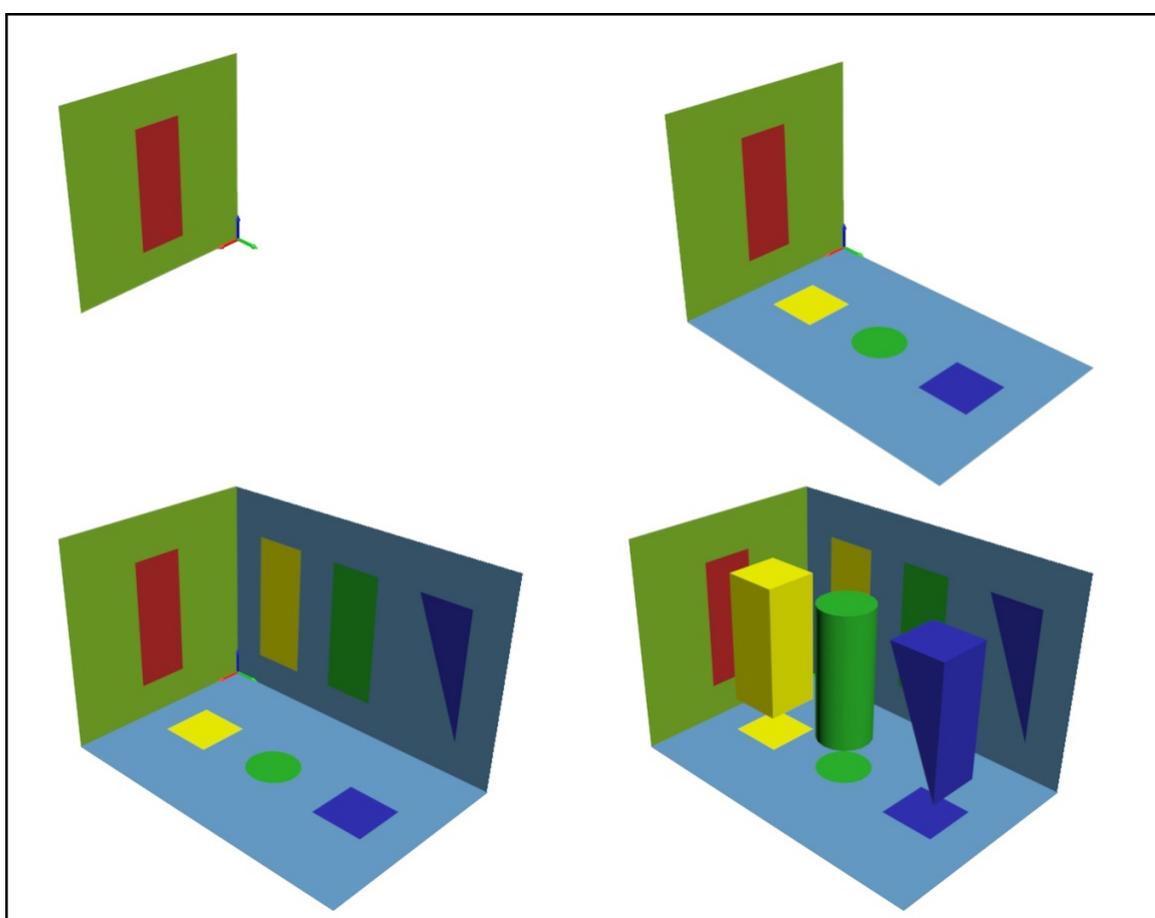


Fonte: Borges et al., (1993, p. 14).

De acordo com Teixeira e Silva (2013), a partir do Sistema de Projeção Cilíndrico Ortogonal, podem-se obter representações exatas de objetos com faces planas, uma vez que esses se posicionem paralelamente em relação ao plano

projetivo. Por outro lado, para representar objetos tridimensionais, só é possível a representação exata daquelas faces que apresentarem-se paralelas ao plano de projeção. A partir das propriedades do sistema de projeção ortogonal, Gaspar Monge propôs um sistema de dupla projeção, formado por planos ortogonais entre si, sendo um deles horizontal e outro frontal. A utilização desta abordagem permite a adição de mais planos, quando necessários, consistindo em um sistema de projeções múltiplas, apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Projeções múltiplas



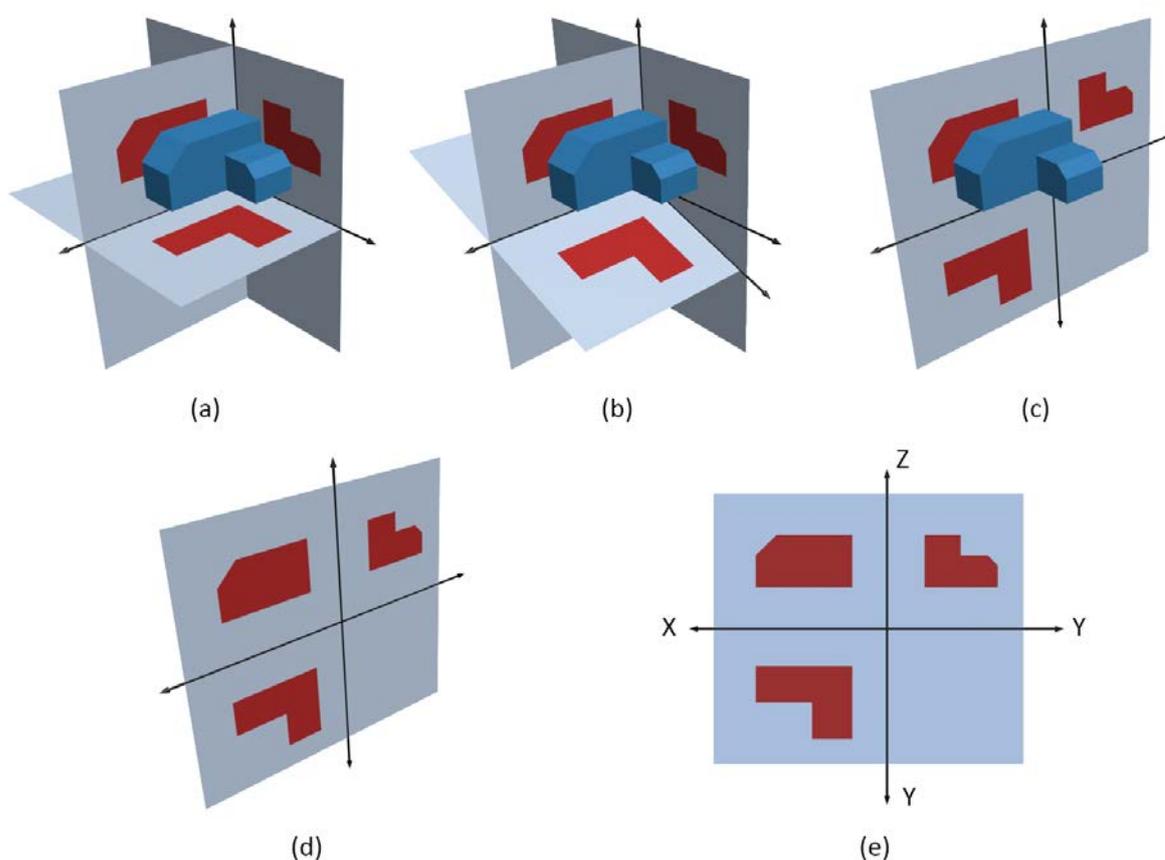
Fonte: Teixeira e Silva (2013, p. 8).

Nota-se na Figura 12 que objetos tridimensionais de formas diferentes podem apresentar projeções idênticas em determinados planos projetivos. Fica evidente a necessidade de se utilizarem mais planos de projeção para o entendimento do objeto tridimensional a partir de suas projeções (TEIXEIRA; SILVA, 2013). Os eixos presentes no sistema de múltiplos planos representam as coordenadas cartesianas.

Com a intenção de representar objetos em um único plano, tem-se a necessidade de planificar todo o sistema, representando o objeto apenas pelas suas projeções.

A planificação do sistema x,y,z , resulta na écura (BORGES et al., 1993). Pode-se descrever a écura como o rebatimento do plano frontal de projeção sobre o plano horizontal de projeção. O sistema planificado é formado pela interseção dos planos de projeção juntamente com o plano auxiliar. A Figura 13 demonstra a planificação do sistema.

Figura 13 – Planificação da écura



Fonte: Teixeira e Silva (2013, p.9).

À medida que os elementos não ocupam alguma posição particular em relação ao sistema mongeano, torna-se bastante difícil a resolução de problemas (BORGES et al., 1993). Com a finalidade de facilitar a solução, modificam-se as posições de uma figura através do deslocamento dos elementos ou da substituição do sistema de projeção. Quando se necessita obter a verdadeira grandeza (VG) dos

elementos, retas, ângulos, figuras planas, distâncias, utiliza-se artifícios denominados métodos descritivos: mudança de sistema de referência, rotação e rebatimento. O método de mudança de sistema de referência consiste na adição de um ou mais planos de projeção a um sistema existente, criando-se um novo sistema de referência, com a intenção de obter uma posição favorável para a resolução do problema. O método das rotações consiste em girar os elementos a partir de um eixo escolhido convenientemente, até obter-se a posição pretendida. O método do rebatimento é um caso particular da rotação, na qual o plano gira em torno de uma das retas contidas nele, de modo que o plano ocupe uma posição especial em relação aos outros planos projetivos.

Segundo Silva, R. (2005), considera-se que o aluno já possua uma base teórica para auxiliar no entendimento e compreensão do objeto geométrico, considerando a existência deste objeto e no estudo da própria geometria. Silva, R. (2005) coloca que os raciocínios e demonstrações, mesmo que auxiliados por figuras, no caso épuradas, são de difícil entendimento para o aluno, uma vez que este não dispõe do objeto propriamente dito para análise, dispõe apenas de uma representação.

De acordo com Silva, R. (2005), os procedimentos utilizados para o ensino das disciplinas de GD na UFRGS caracterizam uma aula expositiva, utilizando-se a comunicação verbal e o quadro para as representações em é pura. Desta forma, a organização do ensino consiste na exposição teórica, exploração dos conceitos e sua aplicação para a resolução de problemas. Para Silva, R. (2005), a abordagem tradicional da GD desenvolve-se através do raciocínio dedutivo, através do qual o aluno a partir da percepção das representações, projeções planas em é pura, imagine o objeto em três dimensões para então solucionar problemas relacionados. Segundo Silva, R. (2005), a percepção é um processo psicológico primário de relação com o mundo, os objetos e as coisas, estando sujeito à materialidade, enquanto a imaginação seria o processo psicológico primário de relação com o mundo, os objetos e as coisas que não estão sujeitas à materialidade, mas sim à espontaneidade da consciência do aluno.

Silva, R. (2005) coloca que na abordagem de GD tradicional, os processos psicológicos primários envolvidos referem-se à percepção e a imaginação. Na percepção o objeto é apenas uma aparência, o que se apresenta para o sujeito. Neste caso, uma representação em é pura na forma bidimensional através das

projeções mongeanas é apresentada, o objeto materialmente está ausente. Para a compreensão tridimensional do objeto, o aluno tem a percepção sustentada por uma razão lógica. Para Silva, R. (2005), "é na imaginação que implica uma relação entre a consciência imaginante e o objeto em imagem, que o aluno forma o objeto que entendeu". Sendo assim, o objeto em imagem regido pela espontaneidade da consciência do aluno, permite mudanças no objeto em questão que não se sustentariam materialmente, no caso de o objeto estar presente. Silva, R. (2005) afirma que as inconsistências do ensino em GD podem estar relacionadas à sua fundamentação lógica e à ausência do objeto de análise.

O sistema diédrico não é aprendido de forma rápida por se tratar de uma nova forma de raciocínio e expressão, ao mesmo tempo diferente de tudo o que já viu e estudou previamente (MONTENEGRO, 1991). Na GD fala-se em um ponto e desenham-se três, fala-se de um plano e desenham-se duas retas. Para quem está começando, é necessário um tempo para adaptar-se a esta nova linguagem. A GD exige visão espacial, ou seja, uma síntese para solucionar os problemas propostos (MONTENEGRO, 1991). Por outro lado, as representações são feitas em duas ou mais vistas, através das projeções, por procedimento analítico. A alternância entre o global e o parcial, que é a vista, pode criar certa confusão para quem está começando com GD. Outro obstáculo para a disciplina está na própria visão humana (MONTENEGRO, 1991), uma vez que a imagem vista dos objetos se assemelha à perspectiva cônica, que é bastante diferente se comparada à projeção ortogonal diédrica.

O método normalmente utilizado para o ensino de GD baseia-se na solução de exercícios que envolvam interseções de objetos tridimensionais, cilindros, prismas, tetraedros, esferas, pirâmides, com certo nível de complexidade. Os exercícios são dispostos de forma a gradualmente aumentarem sua dificuldade, de modo que o conceito de um exercício se torna a base conceitual para a execução do próximo exercício, e assim por diante, o que implica um grande esforço mental e visual. Desta forma, esses métodos são criados para educar, aumentar e desenvolver a percepção espacial do indivíduo (MOHLER, 2001).

Neste contexto, para um aprendizado eficaz de GD, devem-se considerar os aspectos relacionados à percepção, principalmente envolvendo a percepção visual, os quais são apresentados no próximo tópico.

2.1.1 Percepção

De acordo com Filatro (2008), "percepção é o processo por meio do qual as pessoas selecionam, organizam e interpretam as informações recebidas para dar sentido ao que veem, escutam e sentem". Esse processo começa a partir das sensações, a maneira que percebemos o mundo, seja pelo o que se vê, ouve, sente, cheira ou saboreia. As sensações ocorrem em um nível neurofisiológico, configurando uma resposta aos estímulos exteriores através dos órgãos sensoriais. Após, em um nível perceptivo, atribui-se significado às sensações, classificando-as em categorias previamente conhecidas. Pode-se citar o exemplo dos sabores, no momento em que se experimenta um sabor absolutamente novo, tende-se a classificá-lo como doce, salgado, amargo ou azedo.

As percepções variam significativamente de indivíduo para indivíduo expostos a uma mesma realidade. Este ponto envolve o nível cognitivo, que consiste na interpretação das informações percebidas sensorialmente e classificadas no nível perceptivo. A forma como se percebe a realidade é influenciada pelas características pessoais, como, por exemplo, as necessidades, motivações, interesses, expectativas, experiências, assim como o contexto social, histórico, político e cultural, no qual as percepções estão ocorrendo (FILATRO, 2008).

Segundo Filatro (2008), para a construção de modelos mentais coerentes, o indivíduo deve envolver-se ativamente no processamento cognitivo. Para isto, o indivíduo necessita prestar atenção, organizar a informação e integrar a informação ao conhecimento já existente.

As pessoas aprendem a partir da interação com conteúdos, recursos e pessoas (FILATRO, 2008). As imagens, sons e palavras captadas, são armazenados na memória sensorial visual e auditiva. Após um rápido intervalo, estes elementos vão para a memória de trabalho. "A memória de trabalho é o centro da cognição, onde a informação é temporariamente armazenada e processada. É onde todo o pensamento ativo ocorre" (FILATRO, 2008, p. 72). Porém, a memória de trabalho possui capacidade limitada para o processamento.

Para ocorrer a aprendizagem, os novos conhecimentos processados na memória de trabalho devem se integrar com os conhecimentos da memória de longo prazo. Esta, por sua vez, armazena os conhecimentos na forma de modelos mentais e é ilimitada. Denomina-se este processo codificação. Manter os conhecimentos na

memória de longo prazo, não é suficiente. Devem-se retomá-los para a memória de trabalho, e submetê-los a novas situações. Este processo denomina-se recuperação (FILATRO, 2008).

O entendimento dos conceitos de percepção é fundamental para a compreensão dos conceitos e habilidades que envolvem a percepção visual. Muitos autores colocam que determinados conceitos e habilidades são importantes dentro do contexto de aprendizado de GD, conforme se apresenta a seguir.

2.1.2 Percepção visual

A percepção visual, assim como os conceitos espaciais, é útil para várias profissões e especialidades. A imaginação espacial é essencial para arquitetura, desenho industrial, engenharia, assim como é necessária para artistas, escultores e muitas outras atividades. Esboços e rascunhos são feitos como resultados da capacidade de imaginação espacial. A habilidade espacial está relacionada com o sucesso na arquitetura, desenho industrial, engenharia, entre outros (MONTENEGRO, 2005).

Segundo Montenegro (2005, p. 7), "a pessoa dotada de boa habilidade espacial pode mentalmente manipular, girar, torcer ou inverter uma figura representada". Se a figura for uma representação tridimensional, a pessoa será capaz de imaginá-la através de qualquer uma de suas vistas.

Para Montenegro (2005, p. 7), a função espacial é um processo mental que ocorre quando o indivíduo interpreta determinados tipos de informação. A habilidade espacial envolve diferentes tipos de habilidades para identificar posição, direção, tamanho, forma e distância entre objetos. Os detalhes percebidos são agrupados em conjuntos formando padrões dentro de uma base conhecida, atendendo a um determinado uso. O autor afirma que a habilidade espacial, por ser uma capacidade humana, pode ser estimulada. A estimulação se faz a partir de sua utilização frequente, tanto pela aplicação direta, quanto pela prática de exercícios que envolvam rotação mental, orientação espacial, analogia de forma, vistas ou perspectivas.

Para o desenvolvimento da imaginação espacial, Montenegro (2005) propõe a solução de problemas construtivos. Este procedimento pode ser realizado utilizando-

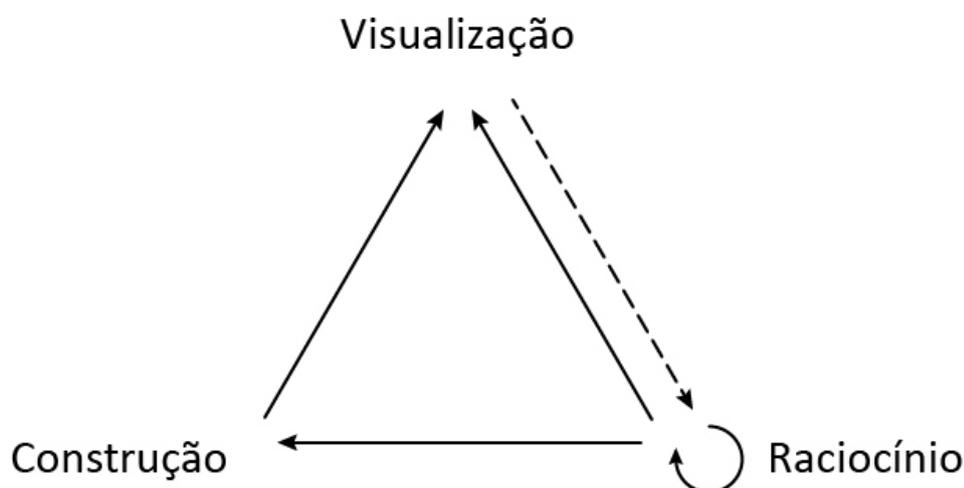
se projeções ortogonais. Porém, o seu estudo tende a fixar-se nas regras e convenções mais que no raciocínio autônomo.

Geometria pode ser considerada como a origem da visualização da matemática. De acordo com Gutiérrez (1996), visualização é um tipo de atividade do raciocínio que utiliza elementos visuais e espaciais, tanto imaginários quanto reais, para a solução de problemas ou para provar propriedades. Visualização é reconhecida como um componente necessário para o ensino de Geometria (GUTIÉRREZ, 1996).

A proficiência em geometria pode ser alcançada através de três processos cognitivos que envolvem funções epistemológicas específicas: visualização, construção e raciocínio. O processo de visualização trata-se da percepção espacial e consistência entre um objeto em imagem e outro na consciência imaginante, como exemplo, a representação visual de um estado geométrico específico. O processo de construção trata da criação de imagens espaciais e da rotação mental, podendo utilizar-se de ferramentas para a construção. Por fim, o processo de raciocínio trata da resolução de problemas e exercícios (JONES; BILLS, 1998). Os processos descritos por Jones e Bills baseiam-se no estudo do psicólogo francês Raymond Duval, que descreve a relação entre os processos cognitivos para o desenvolvimento do raciocínio geométrico. Os três processos cognitivos podem ser realizados individualmente. O processo de visualização não depende, necessariamente, do processo de construção. Embora o processo de construção envolva o processo de visualização, o mesmo depende das conexões entre as propriedades matemáticas relevantes e as restrições da ferramenta utilizada. De forma similar, a visualização pode ajudar no raciocínio auxiliando a encontrar alguma prova, porém, sem um prévio conceito ou conhecimento, pode também levar a algum engano como visualizar uma imagem em um caso especial (DUVAL, 1998, apud JONES; BILLS, 1998, p. 124).

Na Figura 14, as setas representam o caminho no qual cada processo cognitivo pode dar suporte para outro processo em uma atividade geométrica. A seta entre o processo de visualização e o processo de raciocínio é tracejada para representar que nem sempre a visualização ajuda no processo de raciocínio. Por fim, a seta circular indica que o processo de raciocínio pode-se desenvolver de forma independente em relação aos processos de visualização e construção (JONES; BILLS, 1998).

Figura 14 – Interações cognitivas que envolvem a atividade geométrica



Fonte: Jones e Bills (1998, p. 125).

Para o entendimento e desenvolvimento do raciocínio geométrico, Duval (1998, apud JONES; BILLS, 1998) aponta para os seguintes pontos: os três tipos de processos devem ser desenvolvidos separadamente; trabalhar na diferenciação do processo de visualização e na diferenciação do processo de raciocínio é necessário para o currículo; e a coordenação dos três processos somente ocorre após o trabalho de diferenciação. De outra forma, o raciocínio geométrico envolve a relação interdependente entre imagens e conceitos (JONES; BILLS, 1998).

Para Hauptman (2010), pode-se assumir que o pensamento espacial é um processo mental que realiza a interação entre os mecanismos e a informação contida na cognição espacial. Neste processo, constrói-se a imagem espacial, manipulando a mesma, para a resolução de problemas de cunho teórico e prático. A imagem espacial é o conceito central para o aprendizado de matemática. Ela é o produto final do processo mental que utiliza vários aspectos do objeto concreto para criar uma representação do objeto dentro da mente. Este processo depende fortemente dos sinais visuais recebidos pelo indivíduo e da maneira que ele interage com o objeto (HAUPTMAN, 2010).

A habilidade espacial é dividida em três principais componentes (CHRISTOU et al., 2006): orientação espacial descreve a habilidade de como um conjunto de estímulos irá ser representado a partir de outra perspectiva; relação espacial pode ser definida como a velocidade na manipulação de simples padrões visuais,

juntamente com a habilidade de rotacionar mentalmente um objeto espacial da forma correta, rapidamente; e a visualização espacial, sendo esta a habilidade de compreender movimentos imaginários no espaço tridimensional ou a capacidade de manipular objetos na imaginação.

Na psicologia cognitiva, o significado de imagem mental está em uma quase imagem criada na mente a partir da memória, sem qualquer suporte físico. A imagem mental é a representação mental de um conceito matemático ou propriedade que contém informação baseada em elementos pictóricos, gráficos ou diagramáticos. Visualização, ou pensamento visual, é o tipo de raciocínio baseado no uso dessas imagens mentais (GUTIÉRREZ, 1996).

Segundo Gutiérrez (1996), a visualização é integrada por quatro principais elementos: imagens mentais, representações externas, processo de visualização e habilidades de visualização.

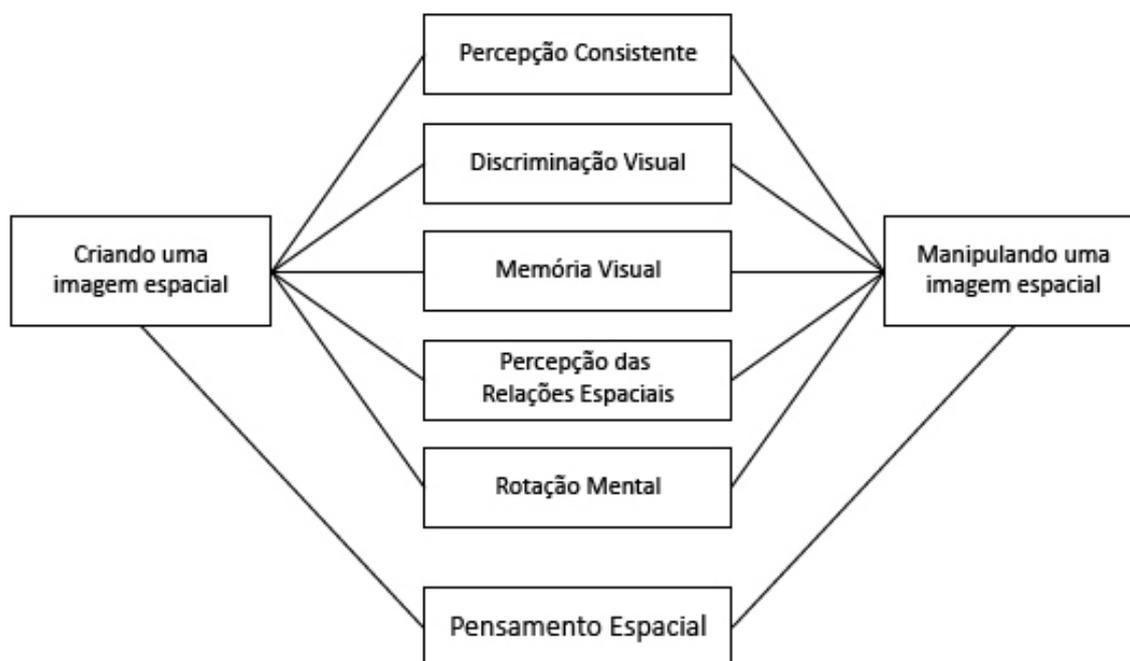
Imagem mental é qualquer tipo de representação cognitiva de um conceito matemático ou propriedade através dos elementos visuais ou espaciais (GUTIÉRREZ, 1996).

A representação externa pertinente à visualização é qualquer tipo de representação verbal ou gráfica de conceitos ou propriedades incluindo imagens, desenhos, diagramas, entre outros, que ajudam a criar ou transformar imagens mentais e ajudam no raciocínio visual (GUTIÉRREZ, 1996).

Processo de visualização é a ação mental ou física onde as imagens mentais são envolvidas. Existem dois processos realizados na visualização: interpretação visual da informação, para criar as imagens mentais, e a interpretação das imagens mentais para gerar informação. O processo de interpretação das imagens mentais ocorre a partir da observação e análise das mesmas, transformando as imagens mentais em outras imagens mentais e por sua vez, transformando em outros tipos de informação (GUTIÉRREZ, 1996).

Um indivíduo deve ser capaz de adquirir e melhorar o conjunto de habilidades de visualização para realizar os processos necessários com específicas imagens mentais para a solução de problemas. Para Gutiérrez (1996), o processo do pensamento espacial, conforme Figura 15, possui pré-requisitos na forma de habilidades que permeiam e influenciam o processo.

Figura 15 – Processos que afetam o pensamento espacial



Fonte: Hauptman (2010).

Christou et al. (2006) consideram que se deve levar em conta essas habilidades no design de *softwares* de geometria tridimensional dinâmica:

- a) percepção consistente – a habilidade de reconhecer que determinadas propriedades de um objeto, real ou em uma imagem mental, são independentes de seu tamanho, posição, cor e textura, e não confundir quando um objeto ou imagem é percebido em uma orientação diferente;
- b) rotação mental – a habilidade de produzir imagens mentais dinâmicas e ao mesmo tempo visualizar sua configuração em movimento.
- c) percepção das relações espaciais – habilidade de relacionar vários objetos, imagens ou imagens mentais, umas com as outras, ou relacionar simultaneamente com ela mesma;
- d) discriminação visual – a habilidade de comparar vários objetos, imagens e imagens mentais para identificar similaridades e diferenças entre elas;
- e) memória visual – a habilidade de imaginar os objetos ordenados lado a lado.

Estudantes com uma alta capacidade de percepção espacial atingem melhores resultados no desenho técnico (RUBIO, 2003). Estudantes que praticam exercícios para desenvolver sua percepção espacial podem aumentar sua capacidade visual para entender exercícios de visualização que não eram entendidos anteriormente (GARCÍA et al., 2007).

2.2 DESIGN INSTRUCIONAL

O design instrucional é um campo que estuda as teorias e metodologias para o design e desenvolvimento de projetos instrucionais. Para Filatro (2008), o Design Instrucional é a ação intencional e sistemática de ensino que envolve desde o planejamento, desenvolvimento e a aplicação de métodos, técnicas, atividades e materiais com a finalidade de promover a aprendizagem humana.

Teorias de design instrucional são teorias orientadas ao design que descrevem métodos de instrução e situações nas quais os métodos deveriam ser utilizados. O design instrucional nos apresenta uma seleta coleção de métodos, regras, processos, diretrizes e ferramentas para projetar com qualidade qualquer objeto de cunho instrucional (REIGELUTH, 1999).

Os métodos podem ser separados em componentes de métodos mais simples nos quais os métodos são probabilísticos (REIGELUTH, 1999). Como Filatro (2008) afirma, as regras aplicadas ao design instrucional não são determinísticas e sim probabilísticas, pois elas não garantem o sucesso do resultado, apenas aumentam a probabilidade de alcançá-lo.

O design instrucional é relevante para a presente pesquisa à medida que estabelece métodos e diretrizes para o desenvolvimento de soluções instrucionais, assim como proporciona o entendimento de conceitos fundamentais para a escolha de recursos e decisões de design conforme o contexto que se aplicará o produto instrucional. Determinadas características das mídias, influenciam na percepção dos conteúdos, assim como no armazenamento e recuperação das informações. A partir deste ponto, Filatro afirma que “diferentes mídias estimulam o desenvolvimento de diferentes habilidades de processamento da informação. Como resultado, cada mídia requer diferentes considerações de design instrucional” (FILATRO, 2008, p.5).

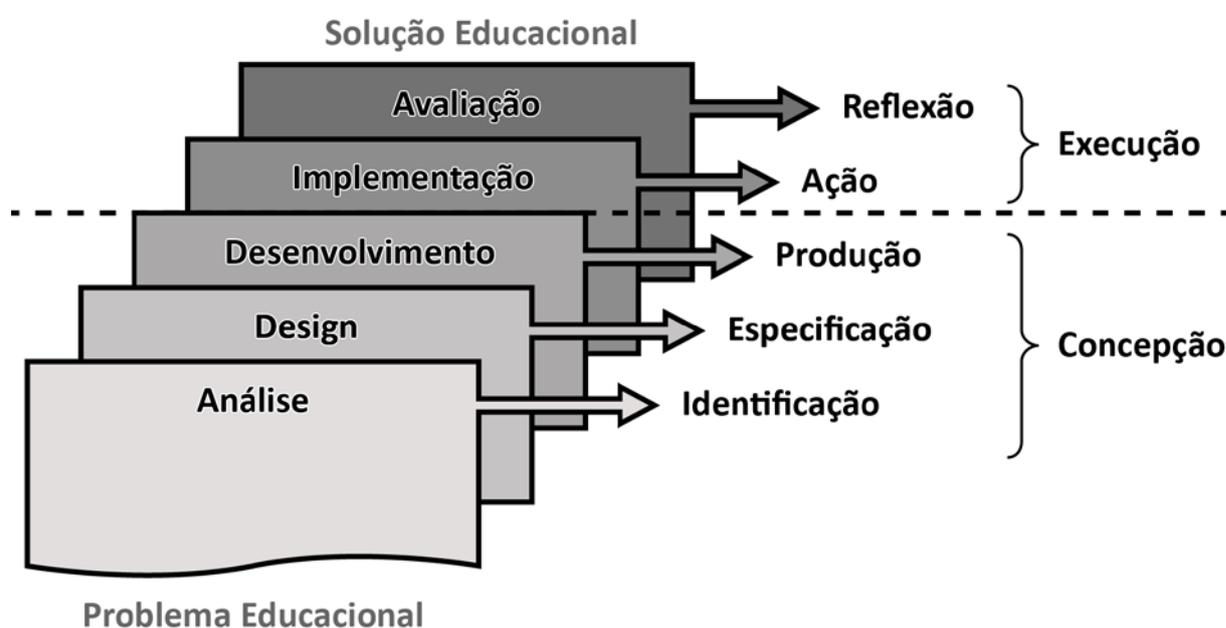
Para melhor entendimento do aprendizado mediado por tecnologias, Filatro (2008) agrupa as TICs em três categorias conforme sua aplicação e necessidade educacional:

- a) distributivas: são do tipo um para muitos. Utilizadas quando o objetivo é a aquisição de informação. Pressupõem um aluno passivo em frente a um ensino mais diretivo. Exemplo: rádio, televisão;
- b) interativas: são do tipo um para um. Empregadas quando o objetivo é o desenvolvimento de habilidades. Pressupõem um aluno ativo que aprende de forma isolada. Exemplo: multimídia interativa, jogos eletrônicos;
- c) colaborativas: são do tipo muitos para muitos. Apropriadas quando o objetivo é a formação de novos esquemas mentais. Pressupõem a participação de vários alunos que interagem entre si. Exemplo: salas de bate papo, fóruns, editores de texto colaborativos.

No entanto, para o desenvolvimento de um artefato instrucional, se faz necessário a utilização de um processo de design. Um processo para o Design Instrucional amplamente aceito é o ISD (*Instructional System Design*, design de sistemas instrucionais). O ISD divide o desenvolvimento das ações educacionais em pequenas etapas sequenciais: análise de necessidade, projeto da solução, desenvolvimento da solução, implementação da solução e avaliação da solução. Cada etapa gera um produto resultante que é avaliado e revisado antes de seguir para a próxima etapa. Também é conhecido como modelo ADDIE, oriundo dos termos *analysis, design, development, implementation, evaluation*. É um modelo de etapas cíclicas que representa um dinâmico e flexível conjunto de diretrizes para o design instrucional (FILATRO, 2008). A Figura 16 apresenta as fases do modelo ADDIE.

As primeiras etapas do modelo, análise, design e desenvolvimento, caracterizam-se como as fases de concepção, onde o problema instrucional será analisado e a solução será projetada e desenvolvida. As etapas posteriores, implementação e avaliação, caracterizam-se como fase de execução do projeto, onde ocorre a utilização e teste do projeto educacional, e posteriormente, sua avaliação quanto ao processo como um todo e sua efetividade. A seguir, são apresentadas as etapas do modelo ADDIE.

Figura 16 – Fases do modelo de Design Instrucional



Fonte: Filatro (2008, p.26).

2.2.1 Análise

A etapa de análise trata identificar e entender o problema instrucional, levantar as necessidades de aprendizagem juntamente com os conhecimentos já existentes dos alunos e suas habilidades, e, por fim, as restrições contextuais para projetar uma solução aproximada (FILATRO, 2008).

A realização desta etapa é feita por meio da análise contextual, que envolve o levantamento das necessidades de aprendizagem, a determinação do perfil dos alunos e as restrições verificadas. Visa a identificar as variáveis mais importantes que podem restringir ou favorecer determinado processo de aprendizagem (FILATRO, 2008).

Para a produção da análise contextual, Filatro (2008) subdivide este processo nas seguintes etapas:

- identificar o problema de aprendizagem, os resultados esperados, as características dos alunos, os recursos disponíveis e as limitações técnicas, orçamentárias e administrativas;
- identificar os fatores contextuais de orientação, compreendidos como os fatores anteriores à aprendizagem, os de instrução, que ocorrem durante o

processo de aprendizagem envolvendo recursos físicos e pessoas, e por fim, fatores de transferência que tenham relevância para o projeto, aqueles posteriores à aprendizagem, onde a aprendizagem será aplicada;

- c) listar os dados que devem ser coletados, as fontes digitais e os documentos que necessitam ser estudados, as pessoas que devem ser consultadas e, por fim, as ferramentas que precisam ser analisadas;
- d) selecionar o(s) método(s) mais adequado(s) aos objetivos e às restrições do projeto;
- e) localizar, construir ou modificar ferramentas e técnicas para análise contextual do projeto em questão.

As necessidades de aprendizagem devem ser analisadas com o objetivo de verificar as demandas educacionais dentro do contexto. A necessidade educacional é muitas vezes detectada por pessoas envolvidas com o contexto. Desta forma, uma necessidade pode surgir da avaliação de problemas educacionais já existentes, que requerem revisão, atualização, ou desenvolvimento de novas ações. Para conduzir uma análise de necessidades pode-se partir de uma análise de objetivos, que consiste nos passos: identificar os objetivos relacionados ao problema educacional, com o apoio de especialistas; refinar os objetivos, eliminando-se as redundâncias e investigando-se os mais relevantes; ordenar os objetivos de acordo com uma ordem de importância ou dificuldade, de modo a auxiliar na solução da necessidade de aprendizado identificada. Pode-se também, substituir objetivos por habilidades necessárias para o desempenho de determinada tarefa e aplicar-se os mesmos passos (FILATRO, 2008).

Uma das partes fundamentais da análise contextual é a caracterização dos alunos envolvidos no processo instrucional. Deve-se conhecer o perfil dos estudantes antes de projetar a solução. Para isso, é necessário identificar as características centrais dos alunos quanto aos objetivos delimitados. Dados gerais dos estudantes, conhecimentos anteriores e competências, apontam quais atividades de aprendizagem, mídias e linguagem devem ser utilizadas. De maneira prática, pode-se pensar nos seguintes aspectos em relação aos alunos: conhecimentos a respeito do problema educacional, experiências educacionais anteriores, o que já sabem e o que precisam saber, e por fim, situação de aplicação dos conhecimentos e habilidades (FILATRO, 2008).

Quanto às restrições, devem-se considerar as questões técnicas, profissionais, orçamentárias e cronológicas, de modo a estimar eventuais riscos para o desenvolvimento do projeto instrucional. Como limitação técnica, por exemplo, deve-se considerar a falta de infraestrutura tecnológica por parte da instituição, o que dificulta o acesso a ferramentas de aprendizado tecnológicas (FILATRO, 2008).

O resultado da etapa de análise é o relatório de análise. Este relatório contém as necessidades de aprendizagem, a caracterização dos alunos, o levantamento das restrições e, por fim, o encaminhamento das soluções. Uma vez finalizado o relatório de análise, inicia-se a etapa de Design.

2.2.2 Design

A etapa de design aborda o planejamento e o design da situação didática através do sequenciamento de conteúdos, definição de estratégias e atividades para alcançar os objetivos, seleção de mídias, ferramentas e materiais mais apropriados para o contexto definido (FILATRO, 2008).

Para a realização desta etapa, devem-se desenvolver as especificações da solução instrucional, onde se tomam as decisões técnicas, funcionais e estéticas que irão definir a qualidade final do produto instrucional e dos materiais escolhidos. Especificar é descrever cada característica do material, obra ou produto. Para o aprendizado através de recursos tecnológicos, Filatro (2008) sugere que a especificação seja feita em três níveis distintos:

- a) especificação da estrutura e do fluxo da informação – como a informação é sequenciada e estruturada;
- b) especificação dos conteúdos – informações pertinentes sobre o tema tratado e sua apresentação;
- c) especificação de interface – aspectos gráficos e funcionais do produto e dos elementos que o integram.

A especificação em design instrucional é registrada por documentos de especificação. Estes podem ser na forma de roteiro escrito ou *storyboard*, muito próximo aos modelos tradicionais para especificar produtos multimídia comerciais. A partir do roteiro e *storyboard* podem-se especificar detalhadamente os conteúdos de um curso, na forma de texto ou imagens, as orientações das atividades propostas,

determinando a sequência dos conteúdos exibidos no produto final (FILATRO, 2008).

Quando um produto multimídia envolve animações e interações, apenas a descrição textual pode ser insuficiente para representar os elementos que precisam ser visualizados. Neste caso, o *storyboard* é mais adequado por mostrar visualmente como a sequência telas e ações se desenrolam, conforme o usuário utiliza o produto, assim como as funcionalidades do mesmo. O nível de detalhamento do *storyboard* depende do contexto no qual o produto instrucional será produzido. Existem inúmeras variações de modelos de *storyboard*, à medida que se combinam diferentes mídias e se ajusta conforme os contextos. Filatro (2008) afirma que se devem considerar alguns elementos fundamentais para compor os *storyboards*. A apropriação dos elementos mais relevantes para a presente pesquisa se apresenta a seguir:

- a) informações gerais (metadados) – data, versão, título do programa, tela;
- b) tela principal – área visual para a exibição dos conteúdos, controles de navegação, identificadores de navegação, botões e ícones, menus;
- c) títulos e textos – tamanho e tipos das fontes, posicionamento na tela, recursos gráficos, efeitos associados;
- d) imagens – posicionamento na tela, efeitos associados, integração texto imagem;
- e) animações – movimentação dos elementos, mudança de forma, cor e textura, surgimento e desaparecimento de objetos, movimentação de câmera;
- f) interação – opções de resposta, resultados da seleção de cada opção, tipo de *feedback*;
- g) *feedback* – formato (janelas, marcas, ícones), conteúdo, condições para exibição (por exemplo, após determinada ação ou entrada do usuário).

Anterior a especificação, Filatro (2008) sugere o design estrutural, que pode ser na forma de um diagrama de fluxo. Este documento determina o fluxo da informação entre as possíveis telas e meios de navegação fornecidos, considerando as funcionalidades descritas nas especificações.

Para o desenvolvimento de soluções instrucionais multimídia mais eficazes, Filatro (2008) sugere a utilização da teoria da carga cognitiva durante a fase de projeto. A memória humana possui capacidade limitada para processar. De forma

geral, o aprendizado eletrônico é carregado com inúmeras informações simultâneas, que causam sobrecarga na capacidade de processamento da memória. Deve-se apoiar o aluno nos processos de seleção, armazenamento e recuperação da informação (FILATRO, 2008).

As pessoas representam apenas parcialmente o que veem e o que escutam. Isto depende da carga cognitiva empregada, que pode ser em duas formas: intrínseca e extrínseca. A carga cognitiva intrínseca refere-se à dificuldade inerente do material de ensino, como quantos elementos são representados simultaneamente e quais as relações entre eles. A carga cognitiva extrínseca trata-se da maneira como a mensagem é organizada e apresentada. Quando se eliminam informações irrelevantes e apresentam-se conteúdos mais objetivos e simples, reduz-se a carga cognitiva, liberando a memória de trabalho para processar a integração com os modelos mentais (FILATRO, 2008).

A partir das especificações e documentos gerados nesta etapa, inicia-se o desenvolvimento do projeto instrucional, descrito na próxima seção.

2.2.3 Desenvolvimento

A etapa de desenvolvimento envolve a produção e adaptação dos recursos e materiais didáticos impressos e/ou digitais. Compreende a fase onde se constrói todo o material planejado da etapa de design. Este desenvolvimento pode ser realizado tanto internamente, quando a instituição ou indivíduo possui competências multidisciplinares, quanto externamente através da contratação de terceiros especializados para a produção das mídias escolhidas (FILATRO, 2008).

2.2.4 Implementação

A etapa de implementação consiste na aplicação da proposta de design instrucional. Os recursos são disponibilizados para os alunos, que por sua vez, irão realizar as atividades propostas, interagindo com os conteúdos e ferramentas (FILATRO, 2008).

2.2.5 Avaliação

A avaliação consiste em mensurar a efetividade da solução proposta assim como revisar as estratégias implementadas. Avaliam-se desde a solução educacional quanto os resultados de aprendizagem dos alunos, uma vez que estes apontarão as adequações do design instrucional (FILATRO, 2008).

A avaliação deve permear o processo de design instrucional como um todo, desde a etapa de análise. Para isto, deve-se avaliar, revisar e validar os envolvidos e os produtos resultantes das fases anteriores.

2.3 DESIGN DE INTERAÇÃO

Para proporcionar experiências de aprendizagem significativas, é necessário que a solução educacional projetada seja interativa. Dois conceitos são fundamentais para o entendimento do design de interação: interação e interatividade. Interação envolve o comportamento das pessoas em relação a outras pessoas e aos sistemas. Liga-se a ação recíproca na qual os objetos e indivíduos se influenciam mutuamente. Por outro lado, a interatividade é a capacidade ou o potencial de um sistema proporcionar a interação, tornando-se um pré-requisito para a interação (FILATRO, 2008).

Para a construção do conhecimento, tecnologias podem ser utilizadas como ferramentas. Segundo Filatro (2008), as ferramentas tecnológicas ampliam a capacidade de o aluno aprender por si mesmo, em vez de conduzi-lo por lições fixas e pré-programadas. A utilização dessas tecnologias implica no uso de computadores como tecnologias cognitivas. Aprender é um fenômeno social que envolve interagir com pessoas e ferramentas, para tanto, a formação de processos superiores de pensamento ocorre pela atividade instrumental e prática, a partir da interação.

Para Preece et al. (2005, p. 28), design de interação é entendido como o “design de produtos interativos que fornecem suporte às atividades cotidianas das pessoas, seja no lar ou no trabalho”. De outro modo, está ligado ao significado de criar experiências para estender e aprimorar a maneira como as pessoas trabalham, interagem e se comunicam.

O design de interação está essencialmente conectado ao conceito de usabilidade, o qual pode ser definido como um atributo de qualidade que está

diretamente relacionado à facilidade do uso de algo (NIELSEN; LORANGER, 2007). De forma mais específica, a usabilidade

refere-se à rapidez com que os usuários podem aprender a usar alguma coisa, a eficiência deles ao usá-la, o quanto lembram daquilo, seu grau de propensão a erros e o quanto gostam de utilizá-la. Se as pessoas não puderem ou não utilizarem um recurso, ele pode muito bem não existir. (NIELSEN; LORANGER, 2007, p.13).

No entanto, para o desenvolvimento de produtos interativos deve-se considerar a aplicação de um processo específico para contemplar as características interativas do produto. Segundo Preece et al. (2005), o processo de design de interação consiste em quatro atividades básicas:

- a) identificar necessidades e estabelecer requisitos – deve-se conhecer os usuários para projetar produtos interativos que deem suporte às atividades das pessoas;
- b) desenvolver designs alternativos que preencham esses requisitos – é a atividade central do design, onde se sugere as ideias para atender aos requisitos;
- c) construir versões interativas dos designs, de maneira que possam ser comunicados e analisados – é a atividade que constrói o produto interativo para os usuários avaliarem a interatividade;
- d) avaliar o que está sendo construído durante o processo – atividade que ocorre a mensuração da usabilidade e aceitabilidade do produto interativo.

Para projetar um sistema interativo que atenda às necessidades do usuário, focando no seu objetivo principal, devem-se considerar as metas do design de interação, sendo essas metas de usabilidade e metas decorrentes da experiência do usuário. Os dois conjuntos de metas diferem-se na maneira como podem ser atingidas e por quais meios (PREECE et al., 2005). As metas de usabilidade referem-se a critérios específicos de usabilidade, enquanto as metas decorrentes da experiência de usuário referem-se à qualidade da experiência.

Usabilidade é considerada como o fator que assegura que os produtos sejam fáceis de usar, eficientes e agradáveis. Neste contexto, para garantir a qualidade de um produto interativo, Preece et al. (2005) dividem a usabilidade nas seguintes metas:

- a) eficácia – refere-se a quanto o sistema é bom em fazer o que se espera dele;
- b) eficiência – refere-se à maneira como o sistema auxilia o usuário na realização das tarefas. Relacionado à produtividade do sistema;
- c) segurança – refere-se a proteger o usuário de condições perigosas e situações indesejáveis. O primeiro relaciona-se a causas externas como o ambiente de trabalho. O segundo relaciona-se a auxiliar o usuário a evitar ações indesejáveis acidentalmente. Em sistemas computacionais, relaciona-se a prevenir o usuário de executar comandos erroneamente. Um sistema interativo seguro e confiável permite a livre exploração da interface pelo usuário, oportunizando a experiência de outras operações;
- d) utilidade – refere-se à medida que o sistema oferece o tipo correto de funcionalidades para o usuário realizar o que precisa;
- e) *learnability* – refere-se à capacidade de aprendizagem. Ou seja, a facilidade de aprender a utilizar o sistema;
- f) *memorability* – refere-se à capacidade de memorização. Entendida como a facilidade de lembrar como se utiliza o sistema, depois que já se aprendeu a utilizar o mesmo.

A emergência tecnológica oportunizou um conjunto maior de interesses ao design de interação, indo além da melhoria da eficiência e da produtividade no trabalho. Este conjunto baseia-se principalmente na experiência do usuário, isto é, como o usuário sente-se durante a interação com o sistema. Neste contexto, surgem as metas decorrentes da experiência do usuário. O design de interação preocupa-se cada vez mais com o projeto de sistemas que sejam: satisfatórios, agradáveis, divertidos, interessantes, úteis, motivadores, esteticamente apreciáveis, incentivadores de criatividade, compensadores e emocionalmente adequados.

Para maior aprofundamento quanto aos conceitos de usabilidade, a seguir são apresentados os princípios de usabilidade e design.

2.3.1 Princípios de usabilidade

Para Preece et al. (2005), os princípios de usabilidade são abstrações generalizáveis que orientam os designers de modo a refletir sobre os seus projetos. Esses princípios derivam de uma combinação de conhecimentos baseados em

teoria, experiência e senso comum. Entre os principais princípios desenvolvidos estão: visibilidade, *feedback*, restrições, mapeamento, consistência e *affordance*, os quais são descritos abaixo.

Visibilidade é o princípio que está relacionado a deixar as funcionalidades do sistema visíveis ao usuário. Quanto mais visíveis as funções estiverem, mais os usuários saberão como proceder.

Feedback se refere ao retorno de informações a respeito da ação que foi feita, permitindo que o usuário continue realizando a atividade. Apresenta-se de várias formas, podendo ser visual, verbal, tátil, audível, ou a combinação destes. Este princípio relaciona-se com a visibilidade, de modo que se utilizado da maneira correta, proporciona a visibilidade necessária para a interação.

Restrições é o princípio que delimita qual o tipo de interação pode ocorrer em um determinado momento, ou determinado contexto. Uma vantagem da restrição é impedir que o usuário selecione opções incorretas, o que reduz a ocorrência de erros.

Mapeamento refere-se à relação entre controles e suas funções no sistema. Praticamente todos os artefatos necessitam de algum tipo de mapeamento entre controle e efeito. Um exemplo de bom mapeamento é a utilização de setas para representar movimento para cima ou para baixo.

Consistência relaciona-se a projetar interfaces que utilizam elementos semelhantes e operações semelhantes para a realização de tarefas similares. Interface consistente é aquela que segue regras, como usar a mesma operação para selecionar objetos. A consistência traz benefícios ao design de interfaces, uma vez que tornam a mesma mais fácil de aprender e utilizar.

Affordance é o termo utilizado para se referir ao atributo de um objeto que permite aos usuários utilizá-lo, identificando a sua funcionalidade, sem necessitar de explicações prévias. Seria como se o próprio objeto apresentasse uma dica de sua funcionalidade e de como utilizá-lo.

Os conceitos do design de interação são importantes para a presente pesquisa, pois a mesma trata do desenvolvimento de um recurso interativo. Neste contexto, o design de interação visa a melhorar a concepção dos requisitos do recurso de forma a direcioná-lo para o seu objetivo proposto. No entanto, para o desenvolvimento de recursos interativos tecnológicos, se faz necessário verificar

quais aspectos são envolvidos quanto ao desenvolvimento pelo viés da tecnologia, conforme se apresenta a seguir.

2.4 TECNOLOGIA

A seguir são abordados os aspectos tecnológicos envolvidos na pesquisa. A primeira parte apresenta os conceitos de engenharia de *software*, necessários para o desenvolvimento de recursos tecnológicos. Posteriormente, discute-se sobre metodologias ágeis, processo de *software* caracterizado pelo desenvolvimento incremental. Por fim, aborda-se a tecnologia Unity3d, utilizada para a construção do recurso didático tecnológico.

2.4.1 Engenharia de *software*

De acordo com Sommerville (2011), *softwares* são programas de computador que desempenham determinadas funcionalidades. A engenharia de *software* é uma disciplina cujo foco está em todos os aspectos da produção de *software*, abrangendo desde os estágios iniciais da especificação do *software* até a sua manutenção, quando o mesmo já está pronto e em uso. Seu objetivo é apoiar o desenvolvimento de *software* de forma profissional. Para dar suporte a este objetivo, a engenharia de *software* não aborda apenas os processos técnicos para o desenvolvimento, mas também as atividades de gerenciamento de projeto de *software*, desenvolvimento de ferramentas, métodos e teorias para a produção de *software*, incluindo técnicas para a especificação, projeto e evolução dos programas. Diferentemente da ciência da computação, a engenharia de *software* se preocupa com o lado prático do desenvolvimento ao invés das teorias relacionadas.

A atividade de desenvolver *software* é complexa. De acordo com Lacerda et al. (2010), uma série de fatores técnicos e humanos são envolvidos, desde o planejamento, entendimento dos requisitos, construção e evolução do *software*, até o relacionamento e comunicação com a equipe e clientes.

Sommerville (2011) aponta que conforme o tipo de projeto de *software* a ser construído, aplica-se diferentes técnicas e métodos. Sendo assim, não se pode dizer que determinado método é melhor que outro, mas sim qual o mais apropriado de acordo com o tipo de projeto que está se desenvolvendo.

Diferentes técnicas de engenharia de *software* são utilizadas para cada tipo de sistema, pois este apresenta características distintas. Como Sommerville (2011) exemplifica, um *software* que tem como requisito a interação do usuário apresenta a necessidade de um processo de desenvolvimento que contemple a prototipação de telas. Para o desenvolvimento de um sistema *web*, por exemplo, o processo de desenvolvimento baseado em entregas iterativas e incrementais, pode ser adequado, enquanto para outros tipos de *software* pode ser inviável.

Uma abordagem sistematizada é utilizada pela engenharia de *software* para a produção de *software*. O processo de *software* é um conjunto de atividades sequenciais que resulta na produção de um produto de *software*. De acordo com Sommerville (2011), existem atividades comuns e fundamentais a todos os processos de *software*:

- a) especificação de *software* – consiste na definição, por parte do cliente e engenheiros, das funcionalidades do *software* a ser desenvolvido e suas restrições operacionais;
- b) desenvolvimento de *software* – também chamada de design e implementação, é a atividade na qual o *software* é projetado e programado de maneira a cumprir as especificações definidas;
- c) validação de *software* – atividade na qual o *software* é verificado para garantir o seu funcionamento de acordo com o que foi especificado pelo cliente;
- d) evolução de *software* – modificação do *software* para se adaptar e refletir uma mudança de requisitos por parte do cliente.

Essas atividades permeiam todo o processo de *software* e são complexas em si mesmas, de tal forma que incluem subatividades como validação de requisitos, teste unitário, projeto de arquitetura, entre outras. Podem-se ter também atividades de apoio, principalmente ligadas a questões de documentação e gerenciamento. Sommerville (2011) afirma que os processos de *software* são complexos e demandam julgamento e decisão por parte das pessoas, assim como todos os processos intelectuais e criativos.

Segundo Sommerville (2011), os processos de desenvolvimento de *software* podem ser categorizados como dirigidos a planos ou processos ágeis. Processos dirigidos a planos são aqueles em que ocorre o planejamento de todas as atividades com antecedência e o seu progresso é medido através da comparação com o

planejamento inicial. Processos ágeis são aqueles em que o planejamento se apresenta de forma incremental e gradual, permitindo refletir de forma mais fácil as mudanças por parte do cliente. A seguir, apresenta-se o detalhamento dos processos de desenvolvimento de *software*.

2.4.2 Modelo de processo de *software*

De acordo com Sommerville (2011), um modelo de processo de *software*, chamado também de paradigma de processo, é uma representação simplificada e genérica de um processo de desenvolvimento de *software*. Os modelos de processo são apresentados a partir dos aspectos de suas arquiteturas e não do detalhamento de suas atividades. Desta forma, os modelos não são descrições definitivas dos processos de *software*, mas sim, uma abstração do processo como um todo, para explicar a abordagem de diferentes metodologias para o desenvolvimento de *software*.

O modelo em cascata considera todas as atividades fundamentais do processo de *software*, especificação, desenvolvimento, validação e evolução, como etapas distintas do processo.

O modelo de desenvolvimento incremental intercala as atividades de especificação, desenvolvimento e validação. O *software* é desenvolvido através de uma série de versões incrementais no qual a versão mais nova adiciona funcionalidades na versão anterior.

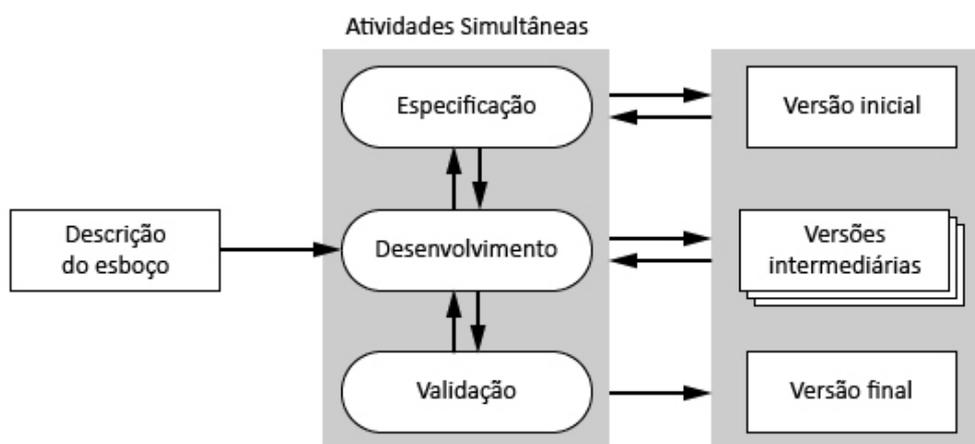
Os modelos não são exclusivos e devem ser utilizados em conjunto, principalmente em projetos de grande porte, assim aproveita-se o melhor aspecto de cada modelo, potencializando o processo. Sommerville (2011) sugere que para projetos onde se apresenta dificuldade para especificar antecipadamente, como interfaces de usuários, dever-se-ia sempre utilizar uma abordagem de desenvolvimento incremental.

Para os fins desta pesquisa, optou-se pelo modelo de desenvolvimento incremental para a construção do recurso didático. Como Sommerville (2011) coloca, este modelo se adéqua melhor quando o projeto envolve interatividade do usuário e prototipagem de telas, ao mesmo tempo em que possibilita mudanças de requisitos ao longo do projeto. A seguir, apresenta-se o detalhamento do modelo de desenvolvimento incremental.

2.4.3 Desenvolvimento incremental

O desenvolvimento incremental baseia-se em desenvolver uma implementação inicial, expô-la aos comentários dos usuários e continuar com o desenvolvimento de várias versões até atingir-se a versão adequada (SOMMERVILLE, 2011). O processo incremental, apresentado na Figura 17, inclui as atividades de especificação, desenvolvimento e validação de forma intercalada, assim, as atividades ocorrem paralelamente, e não de forma separada, o que facilita a rápida troca de informações entre as atividades.

Figura 17 – Processo incremental



Fonte: Sommerville (2011, p. 22).

Segundo Sommerville (2011), o desenvolvimento de *software* incremental é a abordagem fundamental das metodologias ágeis para a produção de *software*. *Softwares* desenvolvidos por meio deste processo tornam as mudanças mais baratas e mais fáceis de serem executadas.

A cada nova versão, para o incremento do *software* incorpora-se alguma funcionalidade necessária para o cliente. As primeiras versões do *software* normalmente incorporam as funcionalidades mais urgentes e importantes para o funcionamento do sistema. Desta forma o cliente pode avaliar o sistema desenvolvido desde o início do seu desenvolvimento, validando se as funcionalidades estão de acordo com os requisitos. Em caso de alguma funcionalidade não conforme, esta apenas será modificada ou adicionada na próxima versão a ser produzida (SOMMERVILLE, 2011).

Comparado com o modelo em cascata, Sommerville (2011) apresenta três vantagens do modelo de desenvolvimento incremental:

- a) o custo para a realização de uma mudança de requisitos é menor;
- b) facilidade de obter o *feedback* do cliente do trabalho que já foi feito;
- c) maior velocidade na entrega de *software* útil ao cliente, mesmo que este ainda não contemple todas as funcionalidades necessárias.

Da perspectiva gerencial, Sommerville (2011) aponta para a ocorrência de dois problemas no modelo incremental, os quais são mais críticos em sistemas longos e complexos:

- a) o processo não é visível. Em sistemas desenvolvidos rapidamente, não é economicamente viável documentar cada versão do projeto, o que dificulta a mensuração das entregas pelos gerentes;
- b) com a adição de incrementos, a estrutura do sistema tende-se a degradar. Não ser que se utilize mais dinheiro e tempo para refatorar o sistema, mudanças regulares nos sistemas tendem a corromper a estrutura do *software*. Incorporar novas mudanças torna-se cada vez mais oneroso e difícil.

2.4.4 Metodologias ágeis

Durante a década de 1980 e início da década de 1990 havia uma visão generalista sobre a melhor maneira de produzir *software*. Este deveria se produzir por meio de um planejamento cuidadoso, rígido e controlado, primando-se sempre sua pela qualidade da segurança formalizada. Esta percepção surgiu, principalmente, a partir do desenvolvimento de grandes projetos, duradouros e com equipes de produção distribuídas. Este tipo de abordagem implica em um tempo significativo no planejamento e documentação do sistema a ser desenvolvido (SOMMERVILLE, 2011).

Por outro lado, conforme Sommerville (2011), quando aplicamos este tipo de abordagem a um sistema de pequeno e médio porte, o excesso de trabalho envolvido se torna tão grande que acaba por dominar o processo de desenvolvimento como um todo. Por consequência, se gasta mais tempo analisando como deveria ser o desenvolvimento do sistema do que desenvolvendo propriamente o mesmo. A insatisfação com este tipo de abordagem pesada para

trabalhar-se com projetos pequenos levou os desenvolvedores a proporem uma nova abordagem de processo de *software*.

Em 2001, 17 profissionais da comunidade de *software* reuniram-se para discutir alternativas aos processos e práticas burocráticas de desenvolvimento de *software*, das abordagens tradicionais de Engenharia de *Software* e Gestão de Projetos. A partir desta discussão surge o Manifesto Ágil (BECK et al., 2001), onde destacam-se as principais diferenças entre as metodologias tradicionais e ágeis (LACERDA et al., 2010). A filosofia por trás do desenvolvimento rápido reflete-se no próprio manifesto ágil.

Estamos descobrindo maneiras melhores de desenvolver *software*, fazendo-o nós mesmos e ajudando outros a fazerem o mesmo. Através deste trabalho, passamos a valorizar:

- Indivíduos e interações mais que processos e ferramentas;
- Software* em funcionamento mais que documentação abrangente;
- Colaboração com o cliente mais que negociação de contratos;
- Responder a mudanças mais que seguir um plano.

Ou seja, mesmo havendo valor nos itens à direita, valorizamos mais os itens à esquerda. (BECK et al., 2001).

O requisito que se tornou mais crítico no desenvolvimento de sistemas de *software* é o desenvolvimento e entrega com rapidez. Outro fator que ressalta este requisito é a imprevisibilidade das funcionalidades iniciais do sistema. É praticamente impossível prever como um sistema irá funcionar em toda a sua totalidade (SOMMERVILLE, 2011). Os requisitos tornam-se mais claros à medida que se entrega o sistema, e, ao mesmo tempo, à medida que os usuários ganham experiência no mesmo. A partir deste cenário, com o desenvolvimento de *software* rápido surgem as abordagens ágeis no final da década de 1990. Seus principais métodos são o Scrum e o Extreme Programming.

Uma das principais diferenças entre as metodologias tradicionais e as metodologias ágeis é o enfoque na adaptação. Visa-se a ter o mínimo necessário para a realização do trabalho. A partir dessa estratégia busca-se aceitar e trabalhar a mudança constante, desta forma, reduzindo os custos de implementação (LACERDA et al., 2010).

Em uma abordagem rápida, o design incremental significa manter o design simples desde o início, para melhorá-lo continuamente ao longo do projeto, ao invés de deixá-lo perfeito no início do projeto e congelá-lo assim. Conforme Sommerville (2011) afirma, o desenvolvimento rápido de *software* permite para a equipe de

desenvolvimento focar no desenvolvimento do projeto em si, ao invés de focar em sua concepção e documentação.

Para projetos que apresentam mudanças rápidas de requisitos ao longo do seu processo de desenvolvimento, Sommerville (2011) sugere a utilização de métodos ágeis por serem mais adequados a este tipo de cenário.

Os processos de especificação, projeto e implementação ocorrem de forma intercalada. A documentação é mínima e apenas define as características mais relevantes ao sistema, que, por sua vez, é desenvolvido através de uma série de versões que são testadas e avaliadas pelos envolvidos. Novos requisitos podem surgir e devem ser implementados em uma versão futura do sistema (SOMMERVILLE, 2011).

Como Sommerville (2011) afirma, não existe uma especificação de sistema associada no desenvolvimento incremental, de modo que uma equipe externa possa realizar testes no sistema. Algumas abordagens incrementais apresentam um processo de teste muito informal, se comparado com outros processos de engenharia de *software*. Embora todos os métodos ágeis sejam baseados na mesma premissa de desenvolvimento e entrega incremental, cada método propõe seu próprio processo para alcançar seu objetivo. A seguir, apresenta-se o modelo Scrum.

2.4.5 Scrum

As metodologias de engenharia de *software*, assim como o desenvolvimento ágil, necessitam de gerenciamento para utilizar-se da melhor maneira, os recursos e o tempo de projeto. Desta maneira, implica-se utilizar uma abordagem adequada, que se adapte ao desenvolvimento incremental e aos outros pontos fortes do desenvolvimento ágil (SOMMERVILLE, 2011).

O Scrum é um *framework* para desenvolvimento rápido que tem sua ênfase no gerenciamento de projeto com desenvolvimento iterativo. Diferentemente de outras metodologias, que possuem práticas relacionadas à codificação e programação, o Scrum se caracteriza por desenvolver práticas gerenciais para projetos incrementais (SCHWABER; SUTHERLAND, 2013).

Schwaber e Sutherland (2013) definem o Scrum como um *framework* estrutural para o gerenciamento de produtos complexos. "Scrum não é um processo

ou uma técnica para construir produtos, em vez disso, é um *framework* dentro do qual você pode empregar vários processos e técnicas" (SCHWABER; SUTHERLAND, 2013).

De acordo com Sommerville (2011), o Scrum é dividido em três principais etapas de produção. A primeira é a fase de planejamento geral, onde são determinados os objetivos gerais do projeto e a arquitetura de *software* a ser utilizada. A próxima etapa é formada por uma série de ciclos, chamados de *sprint*, onde cada ciclo desenvolve um incremento para o sistema. Por fim, a etapa de encerramento do projeto, onde se completa a documentação e os manuais de usuário e aferem-se as lições aprendidas.

Segundo Lacerda (2010, p. 6), o principal objetivo do Scrum é "prover um *framework* para gerenciamento de projetos, onde, a partir de um *backlog* inicial, prioriza-se o trabalho que será realizado na iteração, gerando um potencial produto no final de cada ciclo".

Schwaber e Sutherland (2013) separam o Scrum em componentes específicos. Cada componente serve para um propósito específico e é essencial para o sucesso. O Scrum está associado a papéis, eventos, artefatos e regras. As regras integram os eventos, artefatos e papéis, administrando as relações entre eles. Como papéis apresenta o *Product Owner*, *Scrum Master*, *Scrum Team*. Como eventos apresenta a *Sprint*, a *Sprint Planning Meeting*, a *Daily Scrum Meeting*, *Sprint Retrospective*. Por fim, como artefatos apresenta o *Product Backlog* e a *Sprint Backlog*.

A lista de requisitos do Scrum chama-se *Product Backlog*. É a lista de todas as funcionalidades desejadas que ainda não façam parte do produto. As descrições de alto nível dos requisitos, muitas vezes escritas na forma de histórias, são coletadas no início do projeto, porém, são minimamente descritas neste momento. À medida que o projeto avança, as histórias são progressivamente refinadas. Diferentemente de um documento de requisitos tradicional, o *backlog* é altamente dinâmico. Itens são adicionados, removidos e repriorizados a cada *sprint*, à medida que se conhece melhor o produto e o cliente (COHN, 2009).

No Scrum as iterações são realizadas através de ciclos de trabalho. Esses ciclos são chamados de *sprints*. Uma *sprint* representa um período de tempo, no qual uma versão incremental potencialmente utilizável do produto é criada (SCHWABER; SUTHERLAND, 2013). No início de uma *sprint* ocorre uma reunião

chamada *sprint planning meeting*, na qual avalia-se e determinam-se quais são as funcionalidades para desenvolver na *sprint*. O conjunto de funcionalidades a ser desenvolvido em uma *sprint* chama-se *sprint backlog*. O planejamento do Scrum é baseado na priorização do *backlog* de trabalho e na seleção de tarefas mais importantes para a *sprint*. A partir do momento em que se começa a implementação das tarefas da *sprint*, as mesmas não podem se alterar até o final do ciclo. Ao término de uma *sprint* uma funcionalidade completa é entregue, gerando um potencial produto. Neste momento ocorre a *Sprint Retrospective*, reunião que tem o intuito de identificar o que funcionou bem e o que não funcionou, caracterizando assim, a prática de melhoria contínua do Scrum (LACERDA et al., 2010). O período de uma *sprint* é fixado normalmente entre duas a quatro semanas.

Diariamente, durante a *sprint*, ocorrem reuniões, chamadas de *daily scrum meeting* (SCHWABER; SUTHERLAND, 2013). Essas reuniões devem ser pequenas e focadas. Cada membro da equipe descreve o seu progresso desde a última reunião diária, sinaliza os problemas encontrados e os impedimentos, relata o que está planejado para o próximo dia, prioriza e prevê o trabalho que deverá ser feito antes da próxima reunião (SCHWABER; SUTHERLAND, 2013). Dessa forma, a comunicação interna da equipe é melhorada, de tal modo, que todos da equipe sabem o que está acontecendo, e podem replanejar em curto prazo.

O *Product Owner* é a pessoa responsável por trazer e definir os requisitos e funcionalidades que irão compor o *backlog* do projeto. O *Product Owner*, durante a reunião de início de *sprint*, descreve e prioriza os itens do *backlog*. É o responsável por gerenciar os itens do *product backlog* (SCHWABER; SUTHERLAND, 2013).

O *Scrum Master* é um facilitador, promove os valores e práticas do Scrum na equipe. Segundo Sommerville (2011), no Scrum não existe o termo gerente de projeto, de forma que toda a equipe tem poderes para tomar decisões. O *Scrum Master* é um facilitador apenas. Suas tarefas são organizar as reuniões diárias, registrar as decisões tomadas, controlar o *backlog* de trabalho, medir o progresso do trabalho em relação ao *backlog* e remover os impedimentos da equipe. Não existe hierarquia a partir do *Scrum Master*. Todos estão no mesmo nível.

Scrum Team é a própria equipe de desenvolvimento. Não existe necessariamente uma divisão funcional de papéis como programador, analista, designer. Todos os membros da equipe trabalham juntos para completar o trabalho ao qual se comprometeram conjuntamente para a *sprint*.

2.4.6 Tecnologia Unity 3D

Unity 3d, também conhecida como Unity, é uma plataforma de desenvolvimento para criar jogos e conteúdos 3d e 2d interativos, como simulações de treinamento e visualizações para médicos e arquitetos, através de dispositivos móveis, internet, desktop, console e outras plataformas (UNITY TECHNOLOGIES, 2015). Criada pela empresa Unity Technologies e lançada em 2005, apresenta como principal característica, uma interface gráfica e um editor como forma primária de autoria. Possui recursos avançados, o que permite o desenvolvimento rápido de aplicações tridimensionais, prototipagem rápida e integração com ferramentas externas (SANTOS, 2012).

A tecnologia Unity tem o seu foco na portabilidade, utilizando as principais bibliotecas gráficas, DirectX, OpenGL, OpenGL ES, o que possibilita a publicação em múltiplas plataformas. Como linguagem de programação, utiliza UnityScript, uma linguagem inspirada no Javascript; C#, linguagem de programação desenvolvida pela Microsoft; ou Boo, linguagem inspirada em Python. Em sua versão atual, a Unity possibilita a publicação de aplicativos para as plataformas Windows, MacOS, Linux, Android, iOS, Web Player, entre outras.

Integrada com as principais ferramentas de autoria de conteúdo, pode-se utilizar facilmente os principais formatos de imagem, modelos tridimensionais, animações, sons, diretamente no editor da plataforma, o que confere à Unity a capacidade de produzir aplicações complexas rapidamente.

A facilidade de uso, os recursos avançados e a publicação multiplataforma, tornaram a Unity popular entre os desenvolvedores de aplicativos tridimensionais (UNITY TECHNOLOGIES, 2015). Segundo a própria empresa, “a Unity foi criada com a visão de democratizar o desenvolvimento de jogos e nivelar o campo de jogos para desenvolvedores no mundo inteiro”.

Atualmente a Unity conta com mais de 4,5 milhões de desenvolvedores registrados na sua comunidade e é a plataforma de desenvolvimento de jogos com maior participação, apresentando mais 45% de participação no mercado global, número que representa o triplo de participação em relação ao concorrente mais próximo. Cada vez mais os desenvolvedores estão optando pela Unity, desde profissionais independentes, até pequenos e grandes estúdios como Cartoon

Network, Coca-Cola, Disney, Electronic Arts, LEGO, Microsoft, NASA, Nexon, Nickelodeon, Square, Ubisoft e Warner Bros (UNITY TECHNOLOGIES, 2015).

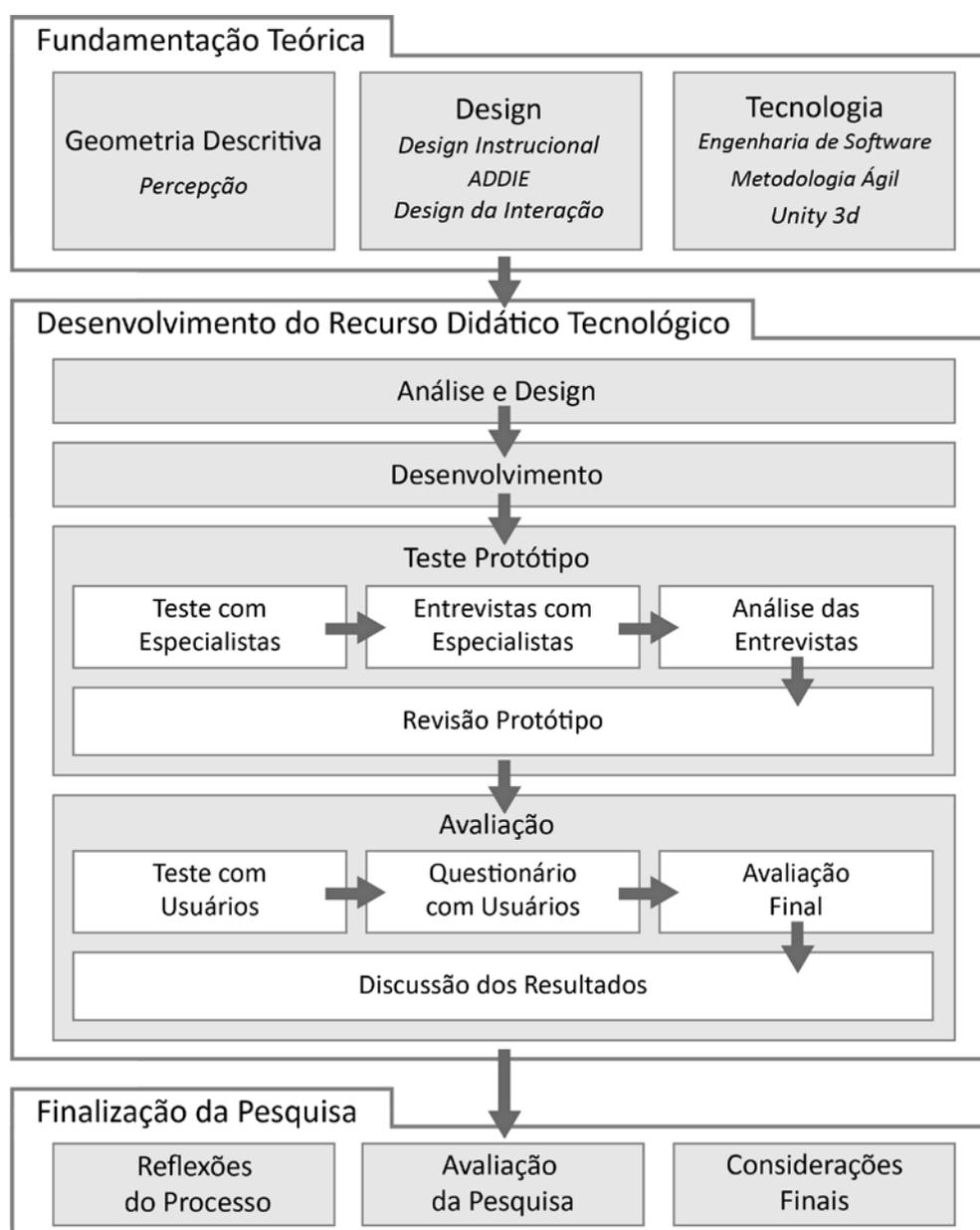
Apesar de sua principal finalidade ser a criação de jogos digitais, a plataforma Unity também é utilizada para outros fins. Projetos arquitetônicos, projetos educacionais, simuladores, têm cada vez mais utilizado a tecnologia para a criação de conteúdo interativo (UNITY TECHNOLOGIES, 2015).

Por apresentar todas essas características, pode-se desenvolver através da Unity, aplicativos para visualização de objetos virtuais tridimensionais, em tempo real, com interatividade avançada. Aliar esses aspectos à possibilidade de publicação em multiplataforma justifica a escolha desta tecnologia para o desenvolvimento do recurso didático tecnológico proposto pela presente pesquisa.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo apresenta-se o delineamento da pesquisa, com seus procedimentos metodológicos e detalhes. Este trabalho está dividido em três etapas: fundamentação teórica, desenvolvimento do recurso didático tecnológico e finalização da pesquisa. Cada etapa possui um grupo de atividades referente ao seu escopo, conforme mostra Figura 18:

Figura 18 – Esquema da pesquisa



Fonte: o autor.

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta etapa é realizado o levantamento das teorias envolvidas sobre os assuntos pertinentes a pesquisa. Através desta etapa, procura-se reunir e compreender os conhecimentos necessários para fundamentar as outras etapas da pesquisa. O levantamento bibliográfico ocorre a partir de livros, artigos de periódicos, dissertações e teses.

Para esta etapa utilizou-se o método de revisão bibliográfica sistematizada (RBS), que consiste no processo de coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de bibliografias com o propósito de criar um embasamento teórico sobre um determinado tópico ou assunto (CONFORTO et al., 2011). O processo da RBS é dividido em três etapas: entrada, onde as informações preliminares são processadas; processamento, onde são aplicadas as técnicas e ferramentas para conduzir a revisão; e saída, onde são gerados os relatórios e a síntese dos resultados. A utilização da RBS pressupõe a seleção de determinadas palavras-chave para realizar-se busca em repositórios literários. A partir desta busca, qualifica-se o grupo encontrado filtrando pelo título, resumo e palavras-chave. Com esta seleção, realiza-se a leitura da introdução e conclusão, de forma a filtrar novamente a seleção. Posteriormente, precede-se com a leitura total das obras selecionadas e cria-se um catálogo das mesmas. A partir das obras selecionadas, realizam-se buscas cruzadas quanto aos autores das referências e assuntos pertinentes, começando novamente o ciclo do processamento da RBS.

Quanto à GD, a maior parte das referências utilizadas compôs-se de livros, uma vez que este é um assunto que apresenta conceitos mais antigos. Os tópicos de percepção foram retirados de artigos e periódicos. Esses foram pesquisados a partir das palavras-chave *descriptive geometry*, *learning*, *perception* e posteriormente aplicou-se o método de RBS para compor o conjunto bibliográfico. As questões de design e tecnologia foram pesquisadas a partir de livros e teses. Por fim, os pontos mais relevantes de todas as obras catalogadas são classificados, de modo a guiar o trabalho.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO RECURSO DIDÁTICO TECNOLÓGICO

Os procedimentos para o projeto e desenvolvimento do recurso didático tecnológico fundamentam-se na utilização da metodologia ADDIE do design instrucional em conjunção com um recorte do modelo de desenvolvimento incremental Scrum. A seguir, apresenta-se o detalhamento de cada etapa.

3.2.1 Análise e design

A primeira fase do modelo ADDIE consiste na fase de análise. A partir do referencial teórico, é realizada uma análise contextual, identificando as dificuldades de aprendizagem e aspectos relacionados ao contexto da disciplina de Geometria Descritiva (FILATRO, 2008). Para fins metodológicos desta pesquisa, o perfil dos estudantes se compreende pelo aspecto dos conhecimentos prévios. Esta análise permite compreender o contexto que envolve o aprendizado do conceito de representação por vistas ortogonais.

A partir da análise da etapa anterior inicia-se a fase de Design do Modelo ADDIE. A fase de design compreende o planejamento da unidade de aprendizagem, sequenciando conteúdos, definindo estratégias, atividades e selecionando mídias e ferramentas adequadas para o contexto (FILATRO, 2008). Nesta etapa são analisados os conceitos da disciplina de Geometria Descritiva, juntamente com os conceitos de Design e tecnologia, de forma a criar um ponto de convergência para propor os requisitos necessários que irão compor o recurso didático tecnológico.

3.2.2 Desenvolvimento

Após a definição dos requisitos na etapa anterior, inicia-se a fase de desenvolvimento. Esta fase é responsável pelo desenvolvimento do recurso didático de acordo com o planejamento e requisitos definidos anteriormente. Como o protótipo do recurso didático proposto pela pesquisa é de caráter tecnológico digital, optou-se pela utilização de Metodologia Ágil para sua produção. O Scrum é um modelo incremental de desenvolvimento de *software* constituído por ciclos de produção. Para cada ciclo, também chamado de iteração, escolhem-se determinados requisitos para implementar. Ao final de um ciclo, tem-se uma versão

incremental e funcional do protótipo. Em cada ciclo posterior agregam-se mais requisitos ou modificam-se os requisitos anteriores, de modo que sempre se finaliza o ciclo com uma versão funcional (SCHWABER; SUTHERLAND, 2013). Para fins metodológicos desta pesquisa, utilizar-se-á um recorte do modelo Scrum, pois o mesmo abrange aspectos que estão fora do escopo da pesquisa. Assim sendo, o recorte se estabelece na utilização dos ciclos incrementais de produção para a construção do protótipo. A escolha do Scrum baseia-se no seu conceito de ciclos de iteração, permitindo flexibilidade para acrescentar ou modificar requisitos durante o processo de produção do recurso. Os ciclos incrementais de produção dividem-se em três fases: seleção de requisitos, implementação e validação.

A primeira etapa do ciclo de produção consiste na seleção de requisitos que serão inclusos na iteração. Os requisitos são escolhidos de acordo com o planejamento feito nas fases de análise e design do modelo ADDIE e procura-se produzir primeiro os requisitos que agregam mais valor ao protótipo final. Nas iterações seguintes, os requisitos são revisados para selecionar os mais pertinentes de acordo com o que já foi produzido.

Implementação é a etapa em que o protótipo é produzido. Corresponde à fase de desenvolvimento do Modelo ADDIE. Para o desenvolvimento do protótipo foi utilizada a tecnologia Unity3d, apresentada anteriormente. A tecnologia Unity3d é um programa de computador que reúne um conjunto de funcionalidades para simplificar o desenvolvimento de jogos eletrônicos. Possui recursos gráficos avançados, que permitem o desenvolvimento rápido de aplicações gráficas tridimensionais. A escolha da tecnologia se deve à facilidade de produção aliada aos seus recursos, juntamente com a possibilidade de publicação em múltiplas plataformas. Ao final desta etapa tem-se uma versão funcional, incremental do protótipo. Todos os requisitos implementados são testados durante o processo de produção. Ao término da iteração, realiza-se um teste geral de todos os requisitos, inclusive os requisitos das iterações anteriores. Por fim, a versão obtida é encaminhada para a validação.

3.2.3 Teste protótipo

De acordo com Sommerville (2011), a etapa de validação compreende submissão da versão incremental produzida para teste do usuário. Consideram-se

usuários os sujeitos envolvidos na disciplina de GD: alunos e professores. Para a realização do teste nesta etapa, optou-se por uma escolha intencional por conveniência, caracterizada pela seleção de um subgrupo considerado representativo, contribuindo para um maior aprofundamento nesta etapa da pesquisa (PRODANOV; DE FREITAS, 2013). Os sujeitos selecionados para o teste se enquadram na categoria de especialistas (DUARTE, 2006), pessoas da área acadêmica ou com grande conhecimento, experiência no assunto. Como a pesquisa trata do desenvolvimento de um recurso didático especializado para GD, buscaram-se como sujeitos integrantes do corpo docente das disciplinas de Geometria Descritiva da UFRGS com no mínimo dois anos de experiência em docência e, preferencialmente, com dissertações e/ou teses relacionadas ao assunto. Foram selecionados oito especialistas, mestres ou doutores, integrantes do corpo docente das disciplinas de Geometria Descritiva para a realização do teste individual do protótipo. Para coletar dados durante o teste, optou-se por realizar entrevistas semiestruturadas e qualitativas (disponíveis no APÊNDICE A, de acordo com o Termo de Consentimento disponível no APÊNDICE B), utilizando um roteiro para tratar dos temas pelo qual se tem liberdade de explorar mais amplamente as questões (PRODANOV; DE FREITAS, 2013). A utilização desta técnica permite o aprofundamento dos tópicos abordados pela percepção e realidade do entrevistado, possibilitando maior compreensão. A função desta etapa é a validação dos requisitos desenvolvidos através de teste do protótipo, e, ao mesmo tempo, a coleta de informações referentes aos tópicos da pesquisa, possibilitando, assim, maior compreensão para o problema de pesquisa.

A análise dos dados obtidos foi realizada através da sequência de atividades sugeridas por Prodanov e Freitas (2013): redução de dados, categorização e interpretação. A redução de dados consiste na análise crítica dos dados efetuando a seleção, simplificação e abstração de acordo com os objetivos da pesquisa. A categorização trata-se da organização dos dados em categorias descritivas fundamentadas no referencial teórico. Por fim, os dados são dispostos em tabelas ou quadros para facilitar sua interpretação e compreensão. A partir da interpretação dos dados e seu relacionamento com o referencial teórico, foi gerado um conjunto de requisitos para o protótipo. Com as informações obtidas, os requisitos foram revisados a fim de adequar o protótipo à realidade percebida pelos especialistas.

Após a revisão dos requisitos, iniciou-se um novo ciclo de produção através do Modelo de Desenvolvimento Incremental. Para a escolha dos requisitos utilizou-se o critério de viabilidade. Uma vez escolhidos os requisitos para o novo ciclo, os mesmos foram implementados no protótipo. Ao término deste, todos os requisitos, tanto os novos quanto os anteriores, foram testados. Uma vez concluído o desenvolvimento do ciclo, tem-se uma nova versão do protótipo mais adequado às necessidades para a solução do problema de pesquisa. Inicia-se a etapa de avaliação.

3.2.4 Avaliação

Após a revisão do protótipo iniciou-se a avaliação, compreendendo a última etapa do Modelo ADDIE. O protótipo foi submetido ao uso individual dos especialistas designados anteriormente. Para coletar dados, o instrumento utilizado foi um questionário fechado com perguntas escalonadas em formulário digital (disponível no APÊNDICE C, de acordo com o Termo de Consentimento disponível no APÊNDICE D). De acordo com Prodanov e Freitas (2013), perguntas escalonadas captam a intensidade das respostas, as quais, por sua vez, permitem mensurar a eficácia da utilização do protótipo como recurso didático tecnológico. Para cada tópico do instrumento foi atribuída uma escala de um a cinco, na qual o valor um representa menor concordância e o valor cinco representa máxima concordância. Após a avaliação, os dados foram agrupados, compilados e discutidos, formando os resultados desta pesquisa. As reflexões sobre o processo, a avaliação da pesquisa, assim como as considerações finais, são apresentadas ao final desta etapa.

3.3 FINALIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta etapa consiste no fechamento da pesquisa, na qual se realizou a reflexão quanto ao processo desenvolvido, a avaliação da experiência de pesquisa e, por fim, as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Este capítulo tem por objetivo apresentar o processo de desenvolvimento do recurso didático tecnológico conforme os procedimentos metodológicos descritos no capítulo anterior.

4.1 ANÁLISE E DESIGN

Para o desenvolvimento efetivo de uma solução instrucional, deve-se conhecer e compreender o contexto ao qual o problema está inserido. Para tanto, aplicou-se a análise contextual, referente à primeira etapa da metodologia de Design Instrucional ADDIE (FILATRO, 2008).

A disciplina de Geometria Descritiva apresenta como um dos seus primeiros conteúdos, os conceitos de projeção. A projeção cilíndrica ortogonal, que integra o sistema Mongeano, é a base fundamental de todo o estudo de GD. Sendo esta, primordial para o entendimento dos conteúdos posteriores da disciplina. O sistema Mongeano é convencionalizado, possuindo regras para a sua construção. Montenegro (1991) aponta que uma das principais dificuldades apresentadas pelos estudantes está na diferença entre a visão natural, que se apresenta na forma de perspectiva cônica, e o sistema Mongeano, que se apresenta na forma de projeção cilíndrica ortogonal. Deste modo, o processo de representação por vistas ortogonais, apresenta-se como uma nova linguagem para o aprendiz.

Os conteúdos de GD sem uma base conceitual prévia tornam-se difíceis de serem aprendidos. Segundo Silva, R. (2005), os egressos do ensino médio, na maioria das vezes, não apresentam os conteúdos básicos para o ensino de GD. Esta carência de base teórica relacionada à disciplina acarreta em dificuldades no processo de aprendizagem na primeira vez que os alunos se defrontam com a complexidade dos conteúdos de GD.

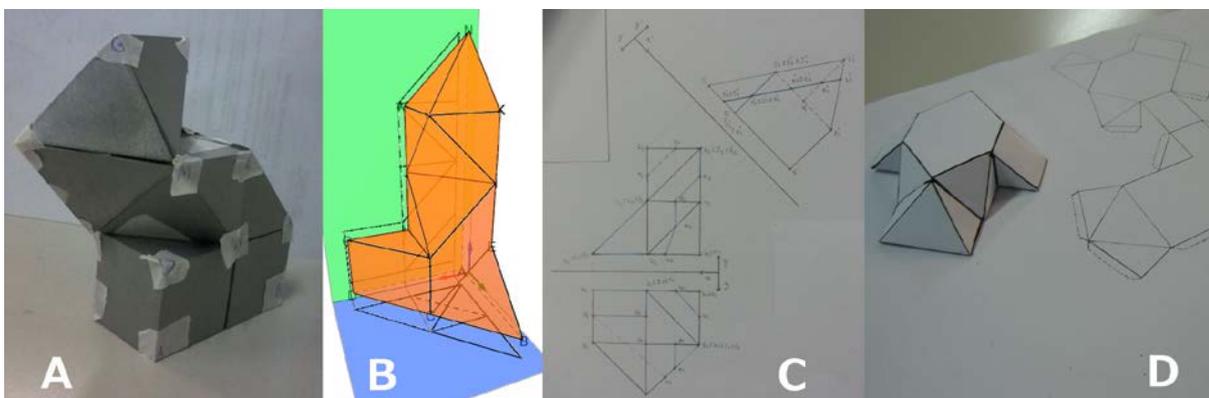
O ensino de GD, na maioria dos casos, ocorre em salas de aula convencionais, utilizando-se instrumentos manuais de desenho, através da exposição dos conteúdos e seguindo as instruções do professor. Silva, R. (2005) aponta para a reduzida quantidade de material de apoio para a disciplina, principalmente no aspecto tecnológico para auxiliar no processo de mediação da

transposição das representações tridimensionais para as bidimensionais e vice-versa.

Na UFRGS para atividades em sala de aula, utiliza-se um material didático empírico-concreto. Trata-se de peças com formas básicas obtidas a partir de cortes de um cubo, constituindo cinco blocos modulares. Estes blocos são combinados para construir geometrias mais complexas. A combinação destes blocos a partir de diferentes configurações, permite a experimentação prática aos alunos das posições dos objetos em relação ao sistema de projeção, das posições relativas entre os objetos e a utilização de sistema de coordenada (TEIXEIRA et al., 2015). A atividade dos blocos tem como objetivo percorrer etapas de projeto com determinados requisitos:

- Etapa de modelagem – projetar um sólido, utilizando no mínimo um bloco de cada tipo que possua todos os tipos de projeção de faces e arestas (Figura 19A);
- Etapa de representação – representar a é pura e construir o modelo virtual no HyperCAL^{3D} (Figura 19B);
- Etapa de alteração – cortar o sólido através de um plano secante (Figura 19C);
- Etapa de planificação e prototipagem – planificar faces criando um projeto de dobra e corte (Figura 19D).

Figura 19 – Etapas da atividade dos blocos



Fonte: Teixeira et al. (2015, p. 10).

No Quadro 1, apresentam-se resumidamente os tópicos da análise contextual.

Quadro 1 – Análise contextual

Problema de Aprendizagem	Dificuldade na aprendizagem do processo de representação por vistas ortográficas; Dificuldade no entendimento da transposição de objetos tridimensionais em bidimensionais;
Caracterização dos Alunos	Carência de conteúdos base para o entendimento de GD;
Recursos	Utilização de material didático empírico concreto; Carência de recurso didático tecnológico;
Restrições	As aulas de Geometria Descritiva são ministradas em salas de aula convencionais.

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise de contexto permite um melhor direcionamento para o projeto da solução instrucional. Uma vez concluída a análise de contexto do problema instrucional, inicia-se o processo de design, onde será projetada a solução em si.

Os blocos utilizados de forma empírica nas atividades da disciplina de GD apresentam-se como um recurso eficaz uma vez que proporcionam a concretização do processo através de uma experiência concreta, criando-se modelos físicos. Para o projeto do recurso didático tecnológico, utilizar-se-á o conceito dos blocos como ponto de partida para a construção do protótipo. Segundo Teixeira et al.

talvez a contribuição mais importante deste material seja a compreensão, através da reflexão e ação na manipulação de formas concretas, das relações abstratas entre a geometria dos objetos no espaço tridimensional e sua representação no sistema de dupla projeção na épura (TEIXEIRA et al., 2015, p. 10).

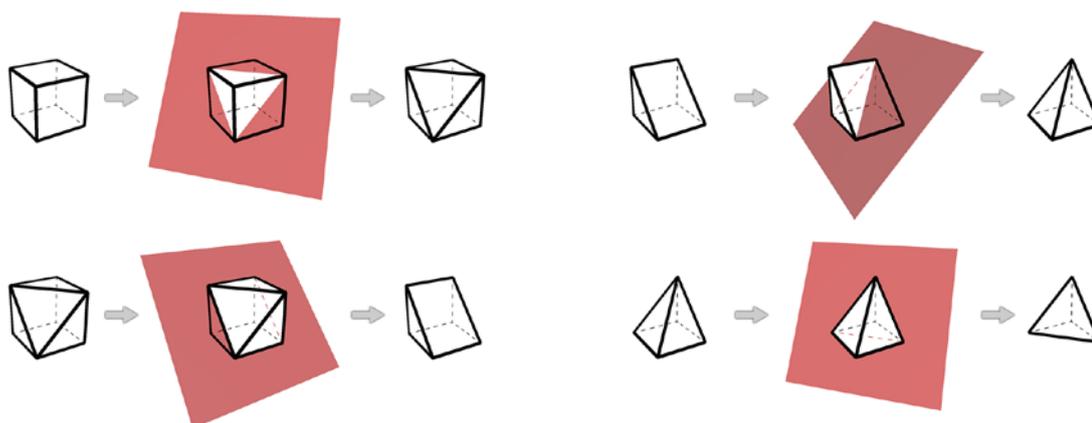
Desta forma, o recurso tecnológico se conecta ao recurso físico utilizado em sala de aula, contribuindo para a compreensão das relações entre a geometria dos objetos e sua representação no sistema projetivo. Ao mesmo tempo, por utilizar o mesmo conceito da atividade dos blocos, facilita sua utilização e integração com as outras atividades já exercidas em sala de aula.

O recurso didático tecnológico consiste em um ambiente virtual que simula a atividade empírica dos blocos, na qual o aluno pode combiná-los formando

geometrias mais complexas. Neste ambiente, são apresentados os planos de projeção, permitindo visualizar as vistas ortogonais dos blocos combinados. No momento em que ocorre qualquer alteração na geometria através da combinação de blocos, as projeções são atualizadas visualizando-se a nova configuração de geometrias nas vistas ortogonais. Para a manipulação dos blocos, o recurso permite a rotação do ambiente virtual, podendo-se visualizar as geometrias de qualquer ângulo. Para o entendimento do processo de projeção em vistas ortogonais, o recurso possui animações que simulam a transposição da geometria tridimensional para a representação bidimensional.

Os blocos utilizados são modulares, possuindo uma medida padronizada, e foram criados a partir de cortes de seção de um cubo. Cada bloco apresenta uma forma diferente ao mesmo tempo em que possui faces compatíveis para encaixe, facilitando a combinação das geometrias. O cubo que origina os blocos possui oito vértices, representados pelos pontos no espaço tridimensional. A cada bloco construído, o corte de seção foi alinhado com os vértices do cubo de forma a remover um dos vértices do mesmo, resultando em cinco blocos com quantidade diferente de vértices: oito vértices, sete vértices, seis vértices, cinco vértices e quatro vértices. A Figura 20 apresenta os cortes realizados no cubo para gerar os blocos.

Figura 20 – Blocos modulares

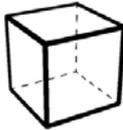
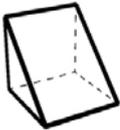


Fonte: o autor.

Para referenciar os blocos construídos e facilitar a comunicação, cada um recebeu uma nomenclatura conforme sua quantidade de vértices. Assim sendo, os

blocos possuem os seguintes nomes: Bloco8v, Bloco7v, Bloco6v, Bloco5v e Bloco4v. O Quadro 2 apresenta cada um dos blocos com seus respectivos nomes.

Quadro 2 – Nomenclatura dos blocos

Representação Tridimensional					
Quantidade de Vértices	8 vértices	7 vértices	6 vértices	5 vértices	4 vértices
Nomenclatura	Bloco8v	Bloco7v	Bloco6v	Bloco5v	Bloco4v

Fonte: o autor.

Após a descrição conceitual do recurso instrucional e suas principais características, apresenta-se a seguir o detalhamento dos requisitos de projeto.

4.1.1 Requisitos de projeto

A partir da descrição conceitual do recurso digital foram definidos os requisitos de projeto. A definição dos requisitos baseou-se na fundamentação teórica, de modo a contemplar a atividade empírica dos blocos em um ambiente virtual, proporcionando as funcionalidades necessárias para a utilização do recurso.

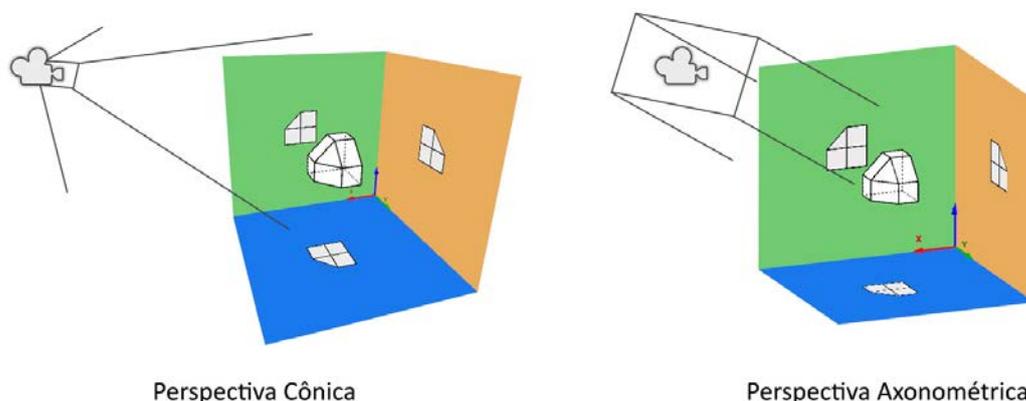
Os requisitos de projeto para o desenvolvimento do recurso didático foram agrupados de acordo com o seu contexto, em cinco grupos distintos: visualização e representação; combinação de blocos; projeções ortogonais; navegação; animação; e interface. Cada um dos grupos é especificado a seguir.

4.1.2 Visualização e representação

O recurso didático apresenta-se como um ambiente virtual tridimensional no qual se visualiza os objetos tridimensionais através de um observador. Este observador trata-se de uma câmera virtual que permite a manipulação de sua posição, possibilitando visualizar as geometrias por qualquer ângulo. A câmera possui dois modos de representação: perspectiva cônica e perspectiva axonométrica. Ambos os modos de representação, conforme a Figura 21 apresenta,

referem-se aos conceitos de perspectiva da disciplina de GD. Deste modo, pode-se visualizar o ambiente tanto pelo viés de uma projeção cônica, que se aproxima da visão natural das coisas (MONTENEGRO, 1991), quanto pelo viés da projeção ortogonal, onde as projetantes são paralelas entre si e perpendiculares ao plano de projeção.

Figura 21 – Perspectivas de câmera

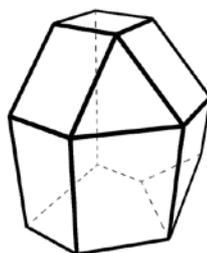


Fonte: o autor.

Um aspecto importante para tornar qualquer ambiente tridimensional mais interativo é a resposta em tempo real. Este aspecto foi considerado como um dos mais importantes e permeou todo o processo de desenvolvimento do recurso didático. Para cada ação realizada no recurso, a resposta visual sempre acontece no instante seguinte, facilitando o uso e a intuitividade do mesmo (PREECE et al., 2005).

A disciplina de GD possui convenções para as representações. Para tanto, as arestas visíveis dos blocos devem ser representadas por linhas de espessura maior enquanto as arestas invisíveis dos blocos devem ser representadas por linhas tracejadas de espessura menor (TEIXEIRA; SILVA, 2013). Seguindo este conceito, o recurso didático altera o modo de visualização das arestas dos blocos de acordo com sua visibilidade no ambiente virtual. A Figura 22 apresenta um sólido com arestas visíveis e invisíveis e suas respectivas convenções de representação.

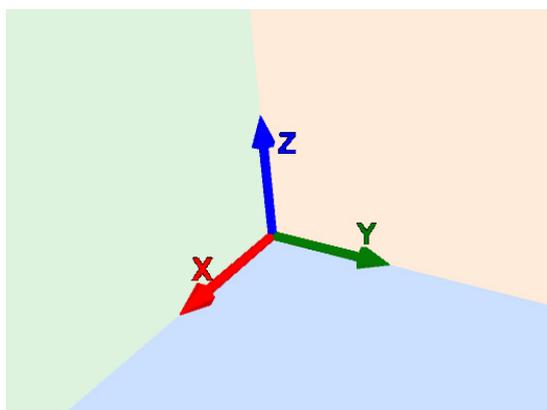
Figura 22 – Representação de arestas



Fonte: o autor.

Para a localização dos blocos no espaço tridimensional, foi colocada uma referência aos eixos de coordenada do ambiente tridimensional. Os eixos partem da coordenada de origem do espaço tridimensional e apontam para o seu respectivo eixo positivo. A Figura 23 demonstra os eixos de coordenada colocados no ambiente virtual.

Figura 23 – Eixos de Coordenada na origem do ambiente virtual



Fonte: o autor.

4.1.3 Combinar blocos

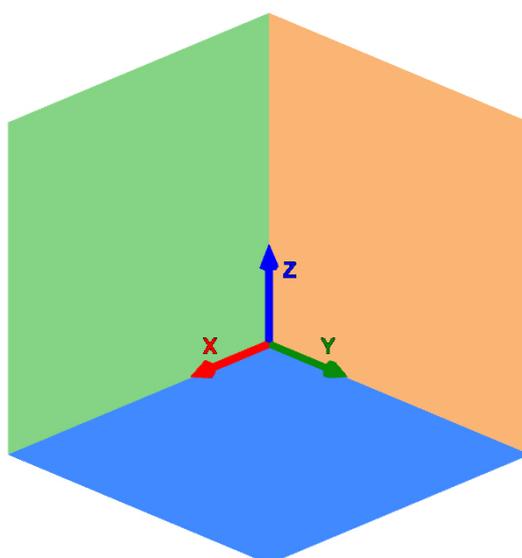
A atividade dos blocos realizada durante as aulas de GD consiste na criação de sólidos a partir da combinação dos blocos. Esta atividade foi reproduzida no recurso didático. Escolhe-se o bloco que se deseja combinar para então escolher uma face de um bloco que já está no ambiente para combinar. Após escolher o bloco e a face para posicionar, o bloco adicionado combina-se com o sólido já existente, removendo as faces ocultas e mesclando as arestas comuns. Como resultado, é apresentada uma geometria única, formada a partir das operações de

combinação realizadas anteriormente. Como os blocos possuem diferentes inclinações de faces em relação aos outros blocos, pode-se rotacionar o bloco a partir de um eixo no momento de sua combinação.

4.1.4 Projeção ortogonal

Ao mesmo tempo em que se visualiza a geometria tridimensional no ambiente do recurso didático, visualizam-se também os três planos de projeção ortogonal: plano frontal, plano horizontal e plano auxiliar. Os planos foram dispostos de forma perpendicular e alinhados aos eixos de coordenada do ambiente. No momento em que se combina um bloco ao sólido tridimensional, as projeções dos planos ortogonais são atualizadas, mostrando a nova representação do sólido para cada plano. As convenções da GD foram consideradas nas projeções, assim, as projeções também apresentam diferentes modos de visualização para as arestas, de acordo com a visibilidade das mesmas. As arestas visíveis se apresentam como linhas sólidas de espessura maior enquanto as arestas invisíveis se apresentam como linhas tracejadas de espessura menor. Como o HyperCAL^{3D} já apresenta a funcionalidade para representar os planos de projeção, optou-se por utilizar as mesmas cores e disposição, assim se conserva a consistência entre as ferramentas de ensino. A Figura 24 demonstra a disposição dos planos de projeção no ambiente tridimensional.

Figura 24 – Planos de projeção



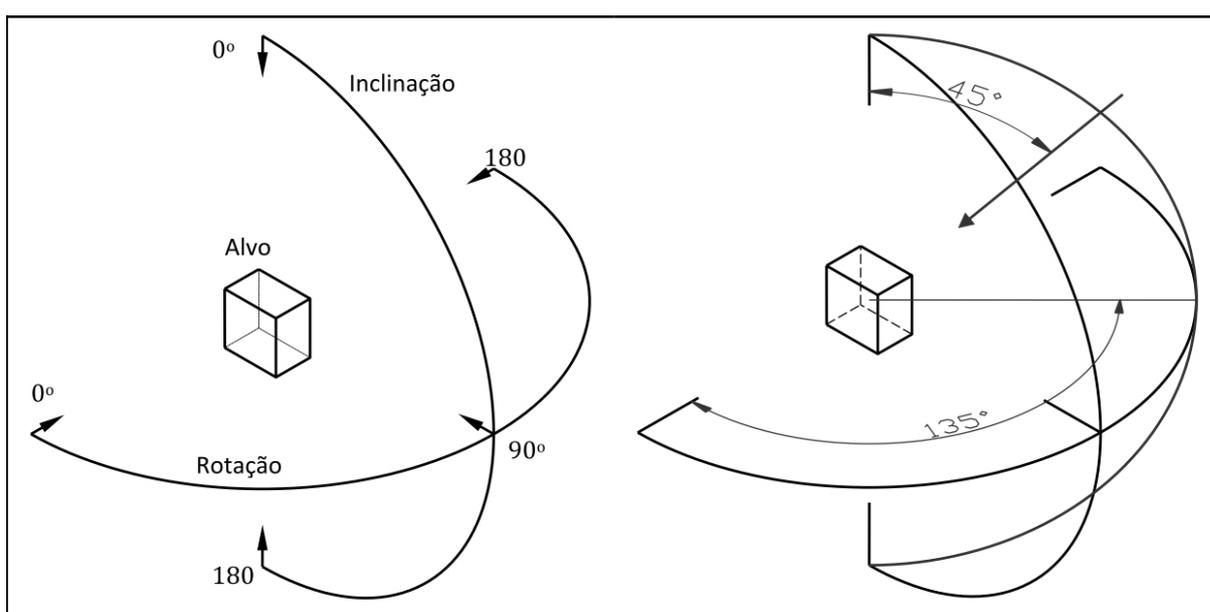
Fonte: o autor.

4.1.5 Navegação

Uma vez que o recurso didático trata de um ambiente virtual tridimensional, o mesmo necessita de mecanismos que permitam ao usuário manipular o espaço tridimensional. Para tanto, o recurso deve apresentar funcionalidades de navegação. Como o recurso didático é focado no estudo de determinados conceitos de GD, foram criadas funcionalidades básicas de navegação. A rotação do ambiente tridimensional compreende uma das funcionalidades principais de navegação. Com ela o usuário pode facilmente visualizar o sólido por qualquer ângulo, o que é fundamental para aumentar o grau de liberdade no momento de combinar os blocos ao sólido. Outra funcionalidade criada foi o zoom. Ele permite aproximar e afastar do sólido, também flexibilizando sua visualização e manipulação.

A rotação do ambiente tridimensional está relacionada a convenção de GD que se refere à rotação e inclinação do observador. Para representar este conceito foi adicionada uma espécie de transferidor (TEIXEIRA; SILVA, 2013), que é visualizado apenas no momento da rotação, indicando os ângulos de rotação e inclinação da atual representação do ambiente virtual. A Figura 25 demonstra a visualização do transferidor, apontando a rotação e inclinação do observador.

Figura 25 – Convenção para ângulos de rotação e inclinação

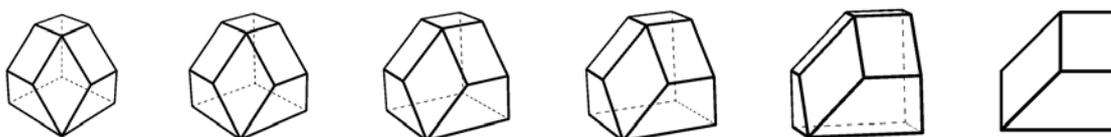


Fonte: Teixeira e Silva (2013, p. 66).

4.1.6 Animação

Uma das principais dificuldades da GD é o entendimento do processo de representação por vistas ortográficas. Para demonstrar este processo, foram criadas animações que permitem visualizar a transposição do sólido tridimensional para suas vistas ortográficas a partir de um observador em tempo real. Em conjunto, criou-se uma animação de transição entre os dois modos de câmera do recurso, perspectiva e axonométrica, auxiliando na visualização da transposição entre os modos. A Figura 26 demonstra alguns quadros da animação de transposição do sólido tridimensional para uma de suas projeções ortográficas.

Figura 26 – Quadros de animação de transposição

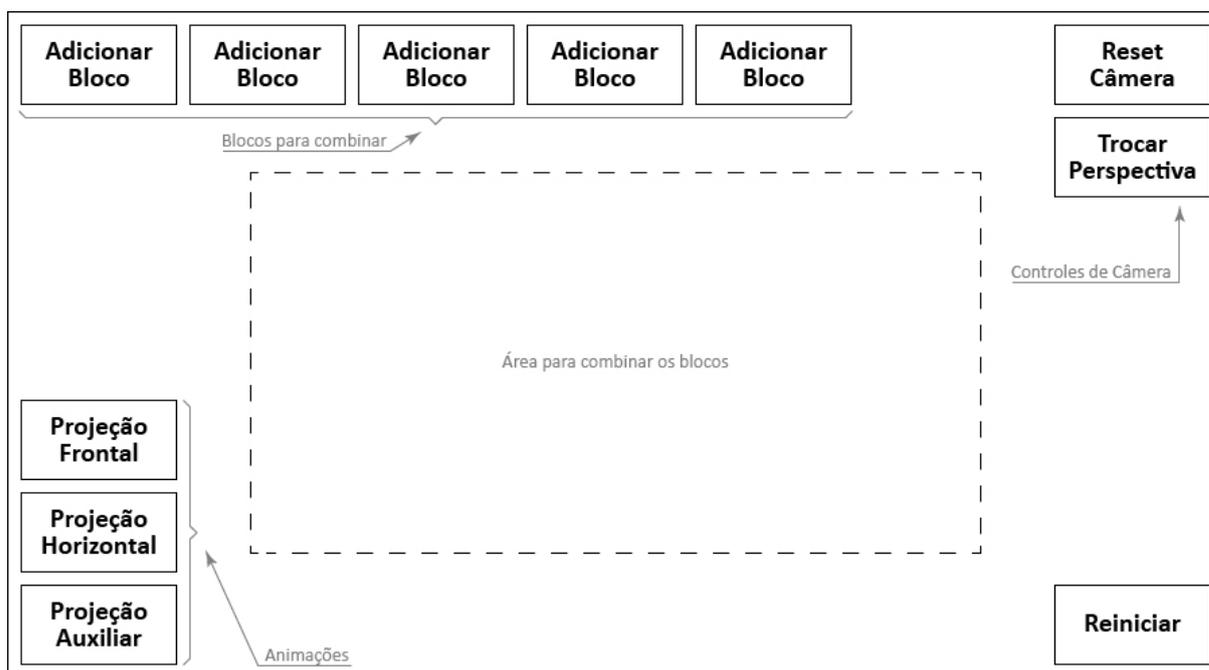


Fonte: o autor.

4.1.7 Interface

A interface é a camada que estabelece a comunicação entre o usuário e o aplicativo. Através dela, o usuário endereça suas ações para a aplicação executar determinado comando. É fundamental que esta comunicação seja eficiente. Com a intenção de aproximar o recurso aos materiais já existentes, adotou-se como base a interface do HyperCAL^{3D}. Os planos de projeção, assim como os eixos de coordenada, apresentam as cores e o posicionamento relativo do HyperCAL^{3D}. Os botões da interface foram posicionados nas margens da tela, permitindo maior visualização do ambiente tridimensional. Esta semelhança de características da interface tem a intenção de diminuir a carga cognitiva (FILATRO, 2008) assim como facilitar a memorização e tornar mais intuitiva a interação com o recurso (PREECE et al., 2005). A Figura 27 apresenta o esquema da interface, mostrando o posicionamento dos elementos.

Figura 27 – Esquema da interface



Fonte: o autor.

Para simplificar a interação com o recurso, todas as funcionalidades são acessadas apenas com o botão esquerdo do mouse. A rotação do ambiente virtual é realizada ao clicar e arrastar o cursor do mouse em qualquer lugar da tela que não seja da interface. Os comandos para combinar primitivas são acionados por botões, assim como as funcionalidades de animação e câmera.

Após a análise contextual para compreender o problema instrucional e o estabelecimento dos requisitos de projeto para a construção do recurso didático tecnológico, inicia-se a etapa de desenvolvimento da solução.

4.2 DESENVOLVIMENTO

A partir da definição dos requisitos de projeto, inicia-se o desenvolvimento da solução instrucional. Esta etapa corresponde à etapa de desenvolvimento da metodologia ADDIE do Design Instrucional.

No desenvolvimento, adotaram-se os ciclos incrementais de produção, em conformidade com a metodologia Scrum. Para o ciclo, escolheram-se determinados requisitos de projeto, baseados no critério de viabilidade e na relevância para a solução instrucional. O Quadro 3 apresenta o resumo dos requisitos selecionados

para o ciclo incremental de produção, separados pelos grupos anteriormente definidos.

Quadro 3 – Requisitos para o ciclo incremental

Grupos	Requisitos
Visualização e Representação	Visualizar do sólido tridimensional; Visualizar arestas visíveis; Visualizar arestas invisíveis; Visualizar ambiente tridimensional através de perspectiva cônica; Visualizar ambiente tridimensional através de perspectiva axonométrica; Visualizar eixos de coordenadas;
Combinar Blocos	Selecionar bloco para combinar com o sólido; Posicionar o bloco; Rotacionar o bloco; Mesclar bloco com o sólido já existente;
Projeção Ortogonal	Visualizar plano de projeção frontal; Visualizar plano de projeção horizontal; Visualizar plano de projeção auxiliar; Atualizar as projeções ao combinar novos blocos ao sólido;
Navegação	Proporcionar rotação do ambiente tridimensional; Proporcionar zoom de câmera;
Animação	Animar transposição do sólido tridimensional para a representação da projeção frontal; Animar a transposição do sólido tridimensional para a representação da projeção horizontal; Animar transposição do sólido tridimensional para a representação da projeção auxiliar; Animar transição entre perspectiva cônica e axonométrica;
Interface	Proporcionar seleção blocos para combinar através de botões; Proporcionar a visualização das animações de transposição a partir de botões; Proporcionar botões para controle de câmera; Proporcionar botão de reiniciar a aplicação.

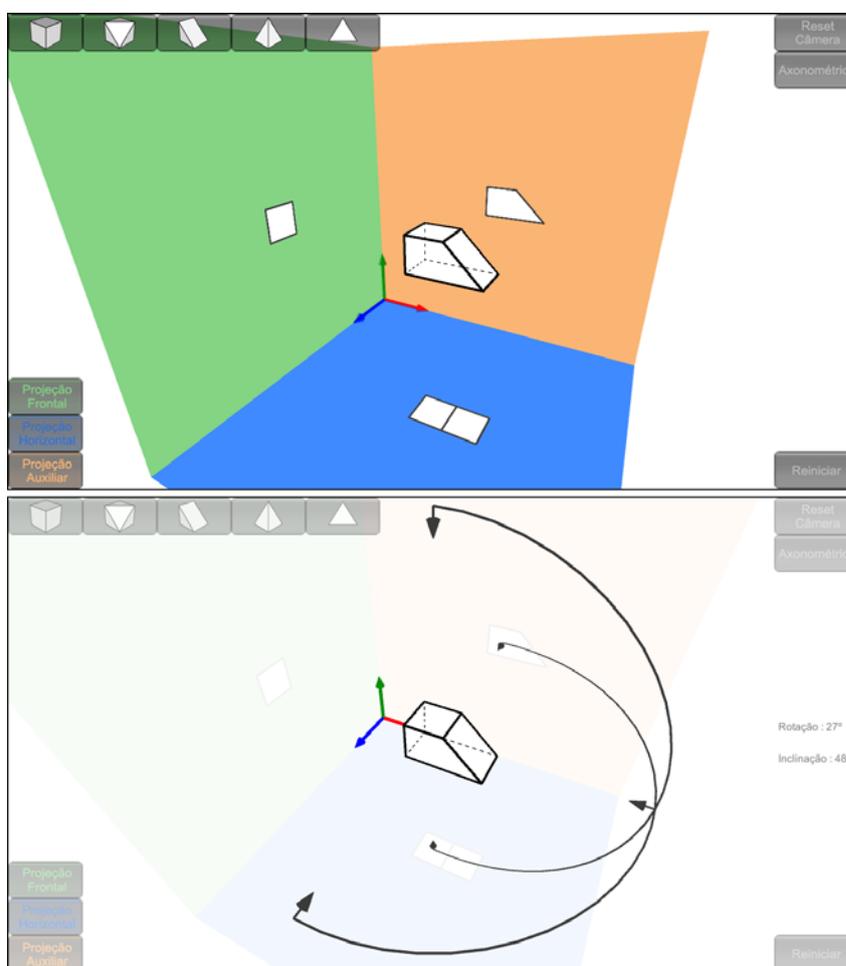
Fonte: o autor.

Para desenvolver o recurso didático, foi utilizada a tecnologia Unity 3D. Esta tecnologia abstrai o desenvolvimento relativo à parte de computação gráfica do aplicativo, pois apresenta componentes específicos para representar objetos tridimensionais, câmeras virtuais e animações. Por este motivo, focou-se no desenvolvimento das estruturas necessárias para realizar a combinação das geometrias e na interação da aplicação. Por motivos de restrição de tempo para a produção do recurso, optou-se por utilizar os componentes de interface básicos da Unity 3D. Os aspectos relacionados a visibilidade de arestas, representação de

linhas sólidas e linhas tracejadas, foram implementados a partir de componentes desenvolvidos pela própria pesquisa, pois a tecnologia utilizada não apresentava componentes específicos para tratar destes aspectos.

Ao término do ciclo de produção, os requisitos escolhidos foram testados individualmente. Após os testes individuais, realizou-se um teste geral da versão do recurso didático. Concluídos todos os testes de requisitos do ciclo, o recurso didático foi encaminhado para o teste dos usuários. A Figura 28 apresenta as telas do protótipo ao final do ciclo incremental de produção.

Figura 28 – Telas da primeira versão do protótipo



Fonte: o autor.

4.3 TESTE DE PROTÓTIPO

Para o teste do protótipo foram escolhidos oito docentes das disciplinas de Geometria Descritiva da UFRGS. Utilizou-se o critério de escolha intencional por conveniência para selecionar os sujeitos do teste (PRODANOV; DE FREITAS, 2013). Os testes foram realizados de forma individual e presencial, nos quais se coletou os dados através de entrevista semiestruturada (o protocolo de entrevista encontra-se no APÊNDICE A). As informações coletadas dos especialistas foram organizadas nas seguintes categorias:

- a) percepção visual – importância desta habilidade para o estudo de GD;
- b) dificuldade de aprendizado – caracterização das dificuldades percebidas pelos docentes durante a disciplina de GD em relação ao aprendizado de vistas ortográficas;
- c) ferramentas tecnológicas – aplicabilidade de ferramentas tecnológicas na disciplina de GD;
- d) requisitos significativos – quais os requisitos do recurso didático que apresentam um maior grau de relevância para o aprendizado de vistas ortográficas;
- e) contribuição do recurso didático – quais os aspectos que recurso didático apresentado irá contribuir diretamente ou indiretamente no aprendizado de GD;
- f) melhorias no recurso – sugestões de melhorias e acréscimo de requisitos no recurso didático tecnológico para atingir um melhor resultado na solução do problema instrucional.

A seguir, apresenta-se a análise individual de cada teste de protótipo realizado com os especialistas.

4.3.1 Teste Especialista 1

O Especialista 1 possui graduação em Design e mestrado em Design. Sua principal área de atuação é em Design. Trabalha com GD há mais de dois anos. A análise desta entrevista encontra-se no Quadro 4 e a transcrição completa da entrevista pode ser encontrada no APÊNDICE E.

O Especialista 1 considera a percepção visual uma habilidade completamente necessária para a GD, pois através dela se desenvolve a lógica e o raciocínio tridimensional, juntamente a percepção do espaço. Quanto às dificuldades, aponta a carência de base conceitual nos estudos anteriores e a diferença da visão natural em relação à vista ortogonal. Considera a utilização de ferramentas tecnológicas fundamental para tornar mais concreto o conteúdo abstrato da disciplina, principalmente através da visualização. Como principal melhoria sugeriu a visualização das linhas projetantes.

Quadro 4 – Análise do teste de protótipo com Especialista 1

Categoria	Tópicos
Percepção visual	É o que a GD trabalha; Raciocínio tridimensional e a percepção do espaço; Desenvolver lógica tridimensional; Ler um objeto bidimensional e imaginar o tridimensional no espaço e vice-versa.
Dificuldade de aprendizado	A maioria tem dificuldade por carência de conteúdos das escolas; Nosso olho não enxerga da forma ortogonal.
Ferramentas tecnológicas	Auxilia, pois o conteúdo já é abstrato; Consegue-se mostrar de forma mais concreta como o tridimensional transpõe-se para o bidimensional; A utilização destes recursos facilita o processo de aprendizagem.
Requisitos significativos	Mostra que tudo está conectado em função das projeções; Visualizar o objeto tridimensional por qualquer ângulo, facilitando o entendimento de visibilidade.
Contribuição do recurso didático	A maior contribuição é a visualização simultânea do objeto tridimensional e as vistas bidimensionais; Contribui por mostrar o diedro em um sistema tridimensional.
Melhorias no recurso	Adicionar as linhas projetantes.

Fonte: o autor.

4.3.2 Teste Especialista 2

O Especialista 2 possui graduação em Engenharia e mestrado em Design. Atua como professor de GD. Seu primeiro contato com a disciplina foi quando ainda era aluno. Trabalha com a GD há mais de dezesseis anos. A análise desta entrevista encontra-se no Quadro 5 e a transcrição completa da entrevista pode ser encontrada no APÊNDICE F.

O Especialista 2 argumenta que a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de vistas ortográficas, porém, não é requisito obrigatório, uma vez que esta habilidade pode ser treinada. Considera a diferença entre a vista ortográfica e a visão do olho humano uma das dificuldades em questão. Coloca que a utilização de ferramentas tecnológicas diminui o nível de abstração para o entendimento do tridimensional para o bidimensional. Como principal melhoria sugeriu a funcionalidade de remoção de blocos já combinados.

Quadro 5 – Análise do teste de protótipo com Especialista 2

Categoria	Tópicos
Percepção visual	Base do entendimento das vistas ortográficas; Não que é requisito, mas pode ser treinada; Quem tem a habilidade tem maior facilidade; Ao longo do curso consegue desenvolver.
Dificuldade de aprendizado	Alguns que não possuem a habilidade da percepção visual desenvolvida; Diferença entre a vista ortogonal e o que o olho humano veria uma perspectiva cônica.
Ferramentas tecnológicas	Auxilia a diminuir o nível de abstração para realizar a transição do tridimensional para o bidimensional e as vistas ortográficas; Nos projetos anteriores auxiliou e continua auxiliando.
Requisitos significativos	Visualização da transição, através da animação de câmera, do tridimensional para o bidimensional; Projeções em tempo real; Construção e manipulação dos objetos; Montar virtualmente o que já se pratica em aula;
Contribuição do recurso didático	Reduz o nível de abstração entre o 3D e o 2D; Diminui a ausência, falha na habilidade tridimensional, através da manipulação dos objetos com resposta em tempo real das projeções; Facilidade de utilização da ferramenta em diferentes plataformas; Versão para dispositivos móveis amplia o acesso.
Melhorias no recurso	Remover primitivas; Criar novas primitivas; Apresentar épura.

Fonte: o autor.

4.3.3 Teste Especialista 3

O Especialista 3 possui graduação em Arquitetura e mestrado em Design. Atua na área da computação gráfica no curso de Design. Seu primeiro contato com

a GD foi durante a sua graduação. Trabalha como professor há mais de oito anos. A análise desta entrevista encontra-se no Quadro 6 e a transcrição completa da entrevista pode ser encontrada no APÊNDICE G.

Quadro 6 – Análise do teste de protótipo com Especialista 3

Categoria	Tópicos
Percepção visual	Necessária, pois a GD lida com a representação bidimensional de objetos tridimensionais; Deve imaginar o que está sendo mostrado; Pode-se desenvolver essa percepção.
Dificuldade de aprendizado	Apresentam dificuldades, especialmente porque eles não têm treinamento visual acadêmico; Alunos têm noção do espaço tridimensional, mas não refletiram sobre este conceito.
Ferramentas tecnológicas	Auxiliam, pois permitem a visualização de objetos tridimensionais em uma tela, com a utilização de recursos da computação gráfica; Auxiliam para demonstrar conceitos que não se pode mostrar no papel; A manipulação virtual é mais intuitiva para a nova geração de estudantes; Facilita no entendimento da transposição do tridimensional para o bidimensional; Pode aproximar e despertar o interesse pela GD.
Requisitos significativos	Visualização do objeto 3D com as vistas alinhadas auxiliam no entendimento do processo; Visualização do tridimensional e bidimensional simultaneamente.
Contribuição do recurso didático	Auxiliar a imaginar o objeto 3D a partir da relação das vistas bidimensionais; Entendimento de visibilidade, do que está na frente e do que ficou atrás; A maior dificuldade da GD é a transposição do 2D para o 3D e vice-versa. Quanto se tem os dois ao mesmo tempo, essa transposição fica mais fácil, porque se consegue relacionar o 3D e o 2D.
Melhorias no recurso	Melhorar ícones das primitivas; Utilizar outro botão do mouse para a rotação de câmera; Melhorar interface de rotação de primitiva; Remover primitiva; Criar regras para o encaixe de primitivas; Melhorar <i>feedback</i> da interface.

Fonte: o autor.

O Especialista 3 considera a percepção visual uma habilidade totalmente necessária para GD, pois lida com a representação de bidimensional de objetos tridimensionais. As principais dificuldades relatadas relacionam-se ao fato de os alunos não possuírem treinamento visual acadêmico. Argumenta que a utilização de ferramentas tecnológicas auxilia, pois através delas se consegue demonstrar coisas que não se conseguiria no papel. Como melhorias, sugeriu a funcionalidade de remover blocos, regras de encaixe para combinar os blocos modulares, melhoria na interface de giro dos blocos e *feedback* para o usuário mais apurado.

4.3.4 Teste Especialista 4

O Especialista 4 possui graduação em Engenharia, mestrado e doutorado em Engenharia. Atua como professor de GD há mais de vinte e quatro anos. A análise desta entrevista encontra-se no Quadro 7 e a transcrição completa da entrevista pode ser encontrada no APÊNDICE H.

O Especialista 4 argumenta que a visão espacial é um dos principais elementos da GD, pois ela é o resultado do processo. A habilidade de percepção é desenvolvida com o aprendizado de GD. Coloca que uma das dificuldades percebidas é a relação entre o objeto tridimensional e suas representações. Os estudantes, às vezes, acham que são dois desenhos distintos. Considera que as ferramentas tecnológicas auxiliam no processo de visualização dos conceitos. Como melhorias, sugeriu evidenciar como as vistas ortográficas são geradas através da animação das projetantes, funcionalidade de remover blocos, regras de encaixe para a combinação dos blocos a partir de faces equivalentes, ajustar a interface de rotação do bloco, ajustar o afastamento da câmera, ajustar o *feedback* da interface e por fim, a possibilidade de salvar o sólido montado para a utilização posterior no HyperCAL^{3D}.

Quadro 7 – Análise do teste de protótipo com Especialista 4

Categoria	Tópicos
Percepção visual	A percepção visual é uma habilidade importante para a GD; É desenvolvida com o aprendizado da GD; Visão espacial é um dos principais elementos da GD; É o resultado do processo; Resulta na melhor percepção dos elementos no espaço.
Dificuldade de aprendizado	Dificuldade em relacionar as representações de um mesmo objeto; Entendem como se fossem desenhos separados.
Ferramentas tecnológicas	A visualização é importante e as ferramentas computacionais auxiliam muito nesse processo de visualização.
Requisitos significativos	Falta evidenciar como as vistas ortográficas estão sendo geradas.
Contribuição do recurso didático	Estabelecer o vínculo de relação entre as imagens projetadas e o objeto 3D; Grande ajuda para o início da disciplina de GD.
Melhorias no recurso	Evidenciar como as vistas ortográficas são geradas através de animação das projetantes; Remover primitiva; Restringir a adição de primitivas, combinando apenas faces equivalentes; Melhorar <i>feedback</i> da interface; Retrabalhar a interface de rotação de primitiva; Inserir <i>antialiasing</i> ; Atenuar distorção de perspectiva; Afastar mais a câmera; Possibilidade de salvar o sólido montado para utilização no HyperCAL.

Fonte: o autor.

4.3.5 Teste Especialista 5

O Especialista 5 possui graduação em Arquitetura, mestrado e doutorado em Engenharia. Atualmente trabalha no desenvolvimento de produto. Possui mais de dez anos de experiência com a disciplina de GD. A análise desta entrevista encontra-se no Quadro 8 e a transcrição completa da entrevista pode ser encontrada no APÊNDICE I.

O Especialista 5 considera a percepção visual uma habilidade necessária pois esta é o primeiro contato. Quanto às dificuldades relata sobre a leitura das representações, uma vez que o aprendiz não está acostumado com este tipo de

representação. Também aponta a dificuldade de relacionar o objeto real às suas representações. Acredita que as ferramentas tecnológicas podem auxiliar, porém, às vezes, não são suficientes. Como principal melhoria para o protótipo, sugere colocar as nomenclaturas dos eixos de coordenada.

Quadro 8 – Análise do teste de protótipo com Especialista 5

Categoria	Tópicos
Percepção visual	A percepção visual é uma habilidade importante para a GD; Primeiro contato; “Sentido” mais exigido.
Dificuldade de aprendizado	Dificuldade de leitura das projeções; Estudantes não estão acostumados com este tipo de representação; Dificuldade de relacionar as representações com o objeto real; Transposição do 3D para o 2D e do 2D para o 3D.
Ferramentas tecnológicas	Auxiliam, mas às vezes não é o suficiente; Focar em um problema de aprendizagem específico.
Requisitos significativos	Consegue-se ter ideia do todo; Pode-se manipular o objeto e perceber a questão da visibilidade; Resposta em tempo real da manipulação do objeto.
Contribuição do recurso didático	Entendimento da transposição do tridimensional para o bidimensional; Auxilia na questão da abstração.
Melhorias no recurso	Colocar nomenclatura dos eixos; Troca de cores. Utilizar cores mais neutras; Evidenciar o diedro; Salvar imagem da visualização atual.

Fonte: o autor.

4.3.6 Teste Especialista 6

O Especialista 6 possui graduação em Engenharia, mestrado e doutorado em Engenharia. É professor de GD há mais de oito anos. A análise desta entrevista encontra-se no Quadro 9 e a transcrição completa da entrevista pode ser encontrada no APÊNDICE J.

O Especialista 6 argumenta que a percepção visual é importante para a GD, porém ela vai sendo construída durante o processo. Uma dificuldade apontada é a compreensão de que as projeções bidimensionais representam o tridimensional e

vice-versa. Acredita que as tecnologias podem auxiliar através da visualização, esclarecendo os conceitos. Como melhoria sugere a visualização das linhas projetantes dos planos, e a possibilidade de ligar e desligar os planos de projeção.

Quadro 9 – Análise do teste de protótipo com Especialista 6

Categoria	Tópicos
Percepção visual	A percepção visual é uma habilidade importante para a GD; Construída durante o processo.
Dificuldade de aprendizado	Dificuldade de perceber que as projeções bidimensionais representam o tridimensional e vice-versa; Grau de percepção distinto entre os estudantes.
Ferramentas tecnológicas	Auxilia através da visualização; Conceitos esclarecidos com desenhos simples ou objetos no espaço.
Requisitos significativos	Identificação e interpretação do plano de projeção em relação ao objeto tridimensional; Auxilia no entendimento da visibilidade, demonstrando porque determinado elemento é tracejado.
Contribuição do recurso didático	Entendimento do sistema projetivo; Visão do observador; Entendimento de construção e composição desenvolvendo o posicionamento através das primitivas.
Melhorias no recurso	Linha de comunicação entre o programa e o usuário, indicando a próxima ação na ferramenta; Possibilidade de visualizar as projetantes, ligar e desligar, por plano projetivo; O sistema é diédrico. Deixa o plano auxiliar mais discreto; Visualização das projeções frontal e horizontal alinhadas com as linhas de chamada.

Fonte: o autor.

4.3.7 Teste Especialista 7

O Especialista 7 possui graduação em Engenharia, mestrado e doutorado em Engenharia. É professor da disciplina de GD há mais de vinte e três anos. A análise desta entrevista encontra-se no Quadro 10 e a transcrição completa da entrevista pode ser encontrada no APÊNDICE K.

O Especialista 7 considera a percepção visual necessária pois esta habilidade facilita o entendimento da visualização tridimensional. Como dificuldade, aponta para o entendimento de que as projeções representam um objeto no espaço. Coloca que

a utilização de ferramentas tecnológicas é fundamental para a concretização do processo, uma vez que este é muito abstrato. Como melhoria sugere a visualização das linhas projetantes.

Quadro 10 – Análise do teste de protótipo com Especialista 7

Categoria	Tópicos
Percepção visual	Facilita o entendimento; Visualização tridimensional.
Dificuldade de aprendizado	Dificuldade de representar; Dificuldade de relacionar que as projeções representam um objeto no espaço.
Ferramentas tecnológicas	Concretização do processo, uma vez que o mesmo é abstrato; Tecnologia auxilia na visualização do processo.
Requisitos significativos	Relação do objeto tridimensional e suas vistas.
Contribuição do recurso didático	Explicar e esclarecer como funciona a transposição do tridimensional para o bidimensional pela representação do processo; Auxilia a visualização do processo.
Melhorias no recurso	Projetantes; Alterar as cores dos eixos de rotação e inclinação.

Fonte: o autor.

4.3.8 Teste Especialista 8

O Especialista 8 é graduado em Engenharia e possui mestrado e doutorado em Engenharia. Sua principal área de atuação é a docência na área de engenharia com relação as disciplinas de expressão gráfica, e a pesquisa nas áreas de design. Trabalha com GD há mais de vinte anos. A análise desta entrevista encontra-se no Quadro 11 e a transcrição completa da entrevista pode ser encontrada no APÊNDICE L.

O Especialista 8 argumenta que a percepção visual proporciona o entendimento de todos os elementos da GD, permitindo ao aprendiz solucionar os problemas de forma coerente. Como dificuldade, destaca a relação entre as projeções e o objeto tridimensional, assim como a representação convencional. Como melhoria sugere a funcionalidade de remoção de blocos e ajuste da interface de giro dos blocos.

Quadro 11 – Análise do teste de protótipo com Especialista 8

Categoria	Tópicos
Percepção visual	Entendimento de todos os elementos; Necessária para fazer a transposição dos elementos de forma coerente.
Dificuldade de aprendizado	Dificuldade de fazer as relações entre as imagens; Dificuldade em realizar uma representação convencional, tanto do bidimensional para o tridimensional, quanto do tridimensional para o bidimensional.
Ferramentas tecnológicas	Auxiliam no ensino de GD.
Requisitos significativos	Construir no tridimensional e visualizar a mudança nas vistas; Conexão do contexto tridimensional e bidimensional; Entendimento do conjunto de vistas ortográficas para consolidar o tridimensional.
Contribuição do recurso didático	Auxiliar nos problemas de representação; Capacitar o aluno a fazer a representação correta de objetos tridimensionais em suas vistas ortográficas; Habilitar o aluno fazer a leitura de vistas ortográficas e conceber o objeto tridimensional; Mais dinâmico que a utilização de instrumentos convencionais para a construção de várias perspectivas; Mais interativo, envolvendo e motivando o aluno.
Melhorias no recurso	Salvar o modelo criado; Remover primitiva adicionada; Interface de rotação não deveria sobrepor as primitivas.

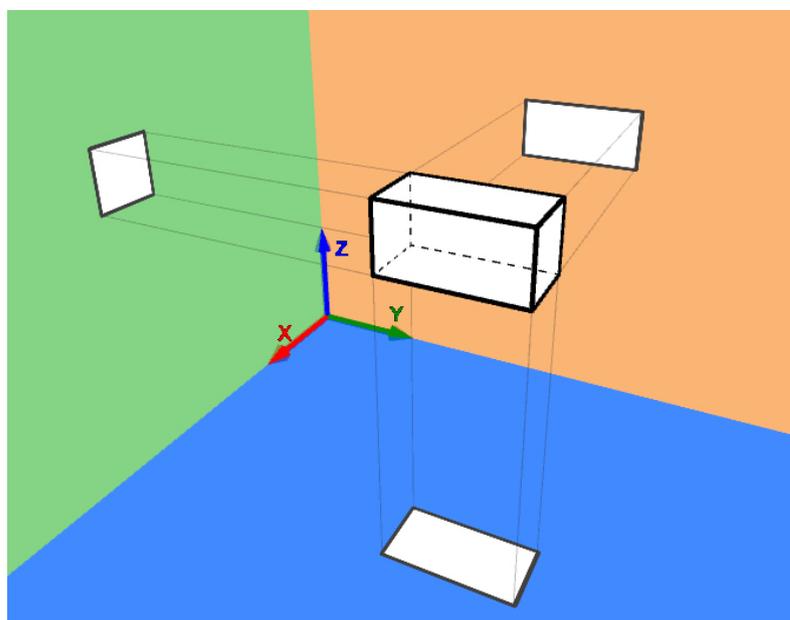
Fonte: o autor.

4.3.9 Revisão de requisitos

Após a realização das entrevistas, foi feita uma análise dos principais tópicos citados pelos entrevistados. Desta análise, constatou-se a necessidade de incluir novos requisitos para o projeto, baseados nas opiniões e experiências dos entrevistados. Para a organização dos novos requisitos, mantiveram-se os mesmos grupos de requisitos anteriores. Utilizou-se o critério de viabilidade e relevância para determinar quais requisitos seriam incluídos na revisão. O critério de viabilidade está diretamente relacionado à restrição de tempo da pesquisa, tornando inviável a inclusão de requisitos que demandam muito tempo para serem desenvolvidos. O critério de relevância baseia-se nas opiniões e considerações dos especialistas, no contexto de melhoria do protótipo como recurso didático para a disciplina de GD, em relação ao conceito de vistas ortográficas.

Nos requisitos de visualização e representação, a funcionalidade mais mencionada pelos especialistas foi à visualização das linhas projetantes, conceito que conecta a representação tridimensional do objeto às suas representações bidimensionais. Foi acrescentada também a nomenclatura dos eixos de coordenada, auxiliando na identificação dos mesmos. A Figura 29 apresenta a visualização das projetantes do sólido construído no recurso didático e os eixos de coordenada com suas respectivas nomenclaturas.

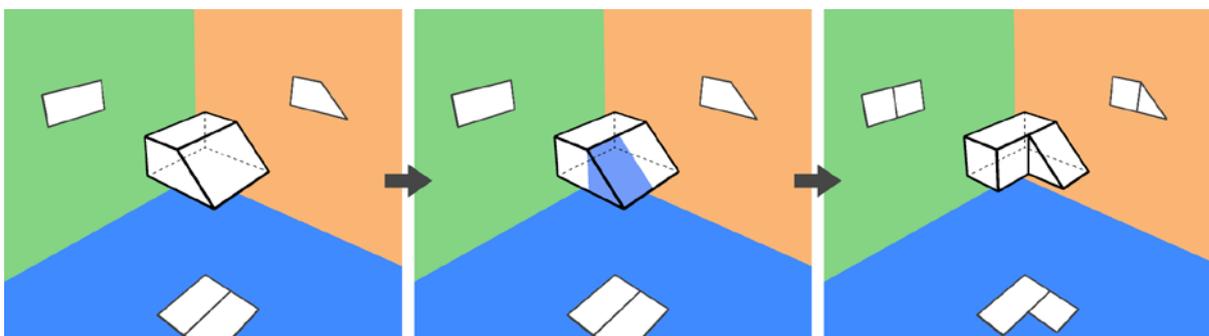
Figura 29 – Projetantes e eixos de coordenada



Fonte: o autor.

No grupo de requisitos referente à combinação dos blocos, o requisito mais considerado pelos especialistas foi a remoção de um bloco após sua adição ao sólido. Na primeira versão apresentada do protótipo, apenas podia-se adicionar novos blocos. Caso o usuário adicionasse um bloco de forma errônea, ou quisesse desfazer a última combinação, teria que recomeçar a construção do sólido desde o início. O acréscimo deste requisito melhorou significativamente a usabilidade (PREECE et al., 2005) da ferramenta, uma vez que tornou mais eficiente sua utilização e mais confiável, à medida que permitiu reverter um possível erro de construção. A Figura 30 demonstra a remoção de um bloco já adicionado. No momento em que se passa o cursor sobre um bloco removível, o mesmo troca de cor evidenciando o *feedback* da ação.

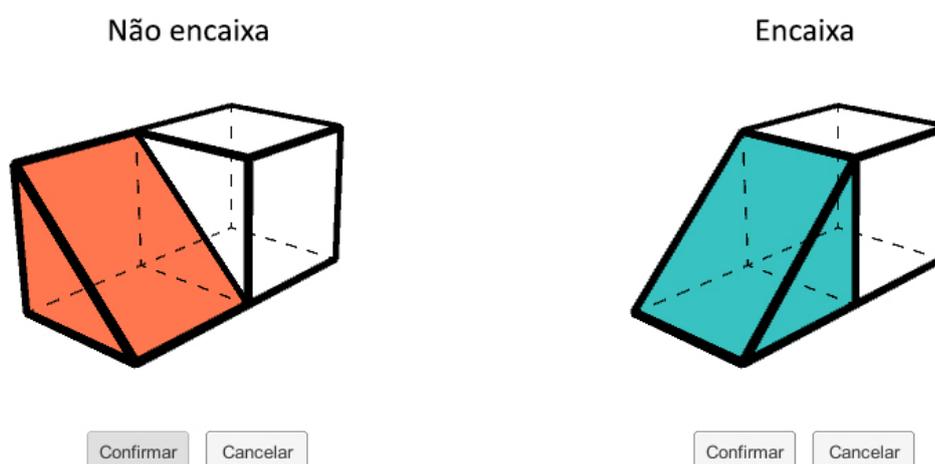
Figura 30 – Remover blocos



Fonte: o autor.

No mesmo grupo de requisitos, foi considerado pelos especialistas a inclusão de regras para encaixe dos blocos. Apenas é permitido combinar faces que se encaixam por completo. Assim, faces triangulares somente podem ser combinadas com faces triangulares que tenham vértices em posições equivalentes, e faces quadradas somente podem ser combinadas com faces quadradas que possuam vértices em posições equivalentes. Para evidenciar o encaixe dos blocos, foi trocada a cor dos mesmos no momento da adição. A partir das regras de encaixe, eventualmente ocorrerá situações em que não se conseguirá adicionar o bloco, para estes casos, adicionou-se botões para confirmar e cancelar a ação de adição do bloco. As regras de encaixe se relacionam ao princípio de usabilidade de restrição, contribuindo para o impedimento de possíveis erros durante o uso do recurso (PREECE et al., 2005). A Figura 31 apresenta as cores aplicadas para demonstrar as regras de encaixe e os novos botões para confirmar e cancelar.

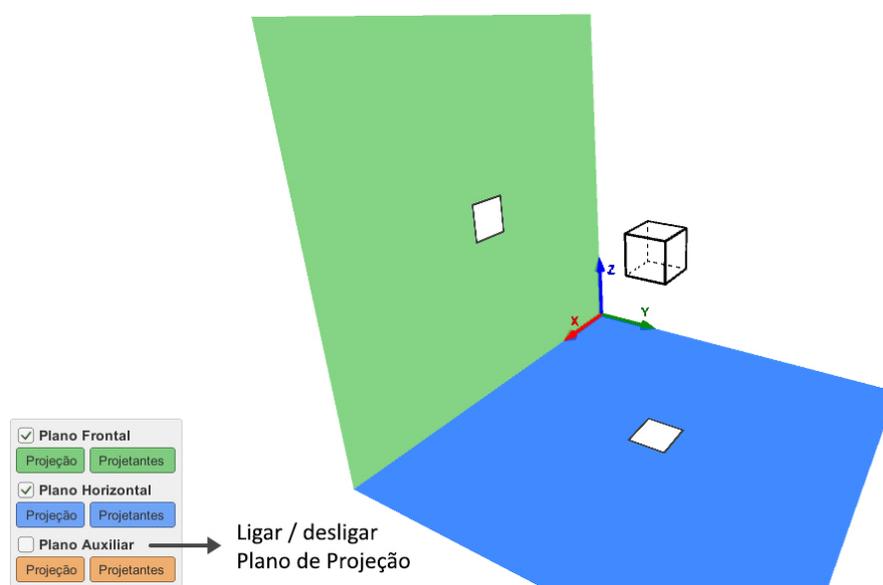
Figura 31 – Regras de encaixe e botões para confirmar e cancelar



Fonte: o autor.

Nos requisitos de projeção ortogonal adicionou-se a funcionalidade de ligar e desligar individualmente a visualização dos planos de projeção. Para tanto, foram adicionados botões na interface para permitir esta ação. Com este requisito, o usuário tem liberdade para configurar a visualização dos planos de projeção, podendo deixar qualquer arranjo de planos, como, por exemplo, apenas o diedro. Na Figura 32 apresenta-se a interface para ligar e desligar a visualização dos planos e o arranjo visual dos mesmos.

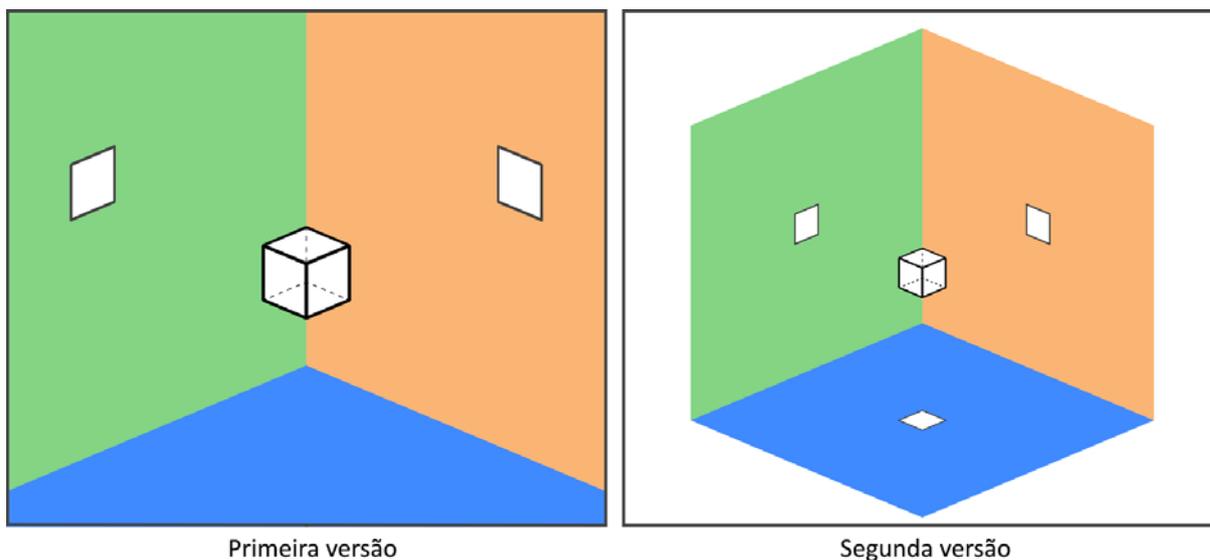
Figura 32 – Manipulação da visualização dos planos de projeção



Fonte: o autor.

Quanto ao grupo dos requisitos de navegação, afastou-se a câmera permitindo a visualização do ambiente tridimensional por inteiro. Juntamente adicionou-se a possibilidade de zoom na perspectiva axonométrica, ausente na primeira versão. A Figura 33 mostra a comparação entre as versões.

Figura 33 – Alteração do afastamento da câmera axonométrica

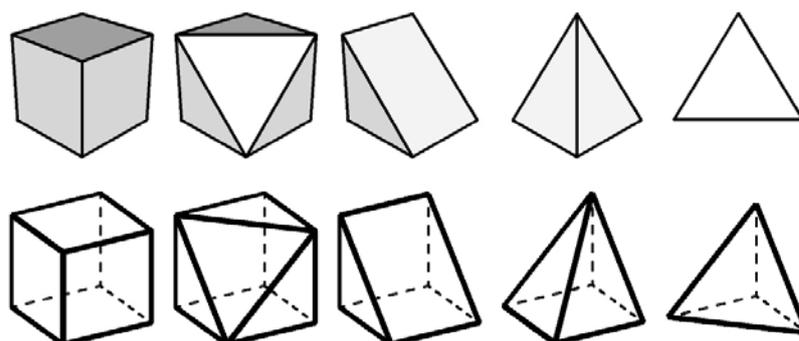


Fonte: o autor.

Para evidenciar-se o processo de projeção, adicionou-se aos requisitos de animação, a animação das linhas projetantes. Para visualizar esta animação, adicionaram-se botões para cada plano de projeção. Ao acionar um dos botões, a animação traça a projetante do ponto do sólido em direção ao plano de projeção escolhido.

O conjunto dos requisitos de interface foram os que tiveram a maior quantidade de melhorias nesta etapa da pesquisa. Muitos dos requisitos de interface são consequências de outros requisitos. Por exemplo, a necessidade de botões para ligar e desligar a visualização das linhas projetantes. Os principais ajustes nos requisitos de interface foram em relação à interatividade e *feedback*, conceitos fundamentais apontados por Preece et al. (2005). Para tanto, os elementos da interface alteram sua aparência no momento em que o usuário interage com algum elemento. Adicionou-se uma barra de informações na parte inferior da tela para indicar a função de cada botão da interface. A barra de informações altera as mensagens apresentadas conforme o usuário move o cursor sobre os elementos da interface. Os ícones dos blocos foram alterados para evidenciar sua forma. Os ícones anteriores foram produzidos a partir de uma representação em perspectiva e não apresentava as linhas tracejadas das arestas invisíveis, o que não favorecia sua forma e diferenciação. Os novos ícones foram produzidos a partir de uma representação em perspectiva axonométrica e adicionaram-se as linhas tracejadas. A Figura 34 mostra a diferença entre os ícones dos blocos.

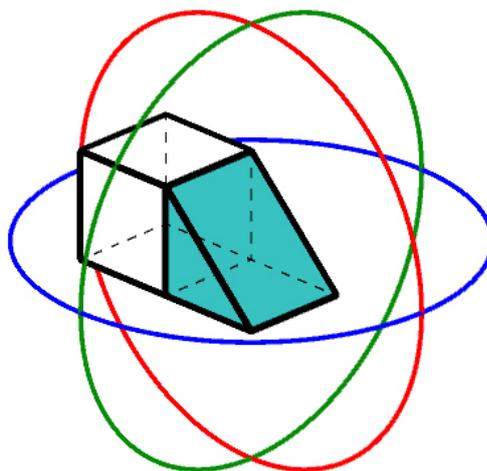
Figura 34 – Ícones dos blocos



Fonte: o autor.

A interface de rotação do bloco, também foi ajustada. No momento que se aciona a função de rotação, três círculos são visualizados em torno do bloco. Cada círculo possui uma cor diferente, de acordo com as cores dos eixos de coordenada. As rotações do bloco acontecem em torno dos eixos e se fixam de 90 em 90 graus. Ao clicar e arrastar sobre um dos círculos, o bloco gira em torno do eixo escolhido. A Figura 35 apresenta a interface de rotação dos blocos.

Figura 35 – Interface de rotação dos blocos



Fonte: o autor.

Para organizar os elementos da interface, criou-se um painel para agrupar os elementos relativos aos planos de projeção. Neste painel colocaram-se os botões de visualização do plano, visualização de animação de projeção e visualização de projetantes, respectivamente para cada plano de projeção. A Figura 36 demonstra o painel de interface dos planos de projeção.

Figura 36 – Painel de interface dos planos de projeção



Fonte: o autor.

O Quadro 12 apresenta o resumo da revisão de requisitos de projeto, concebidos a partir da análise dos testes realizados pelos especialistas.

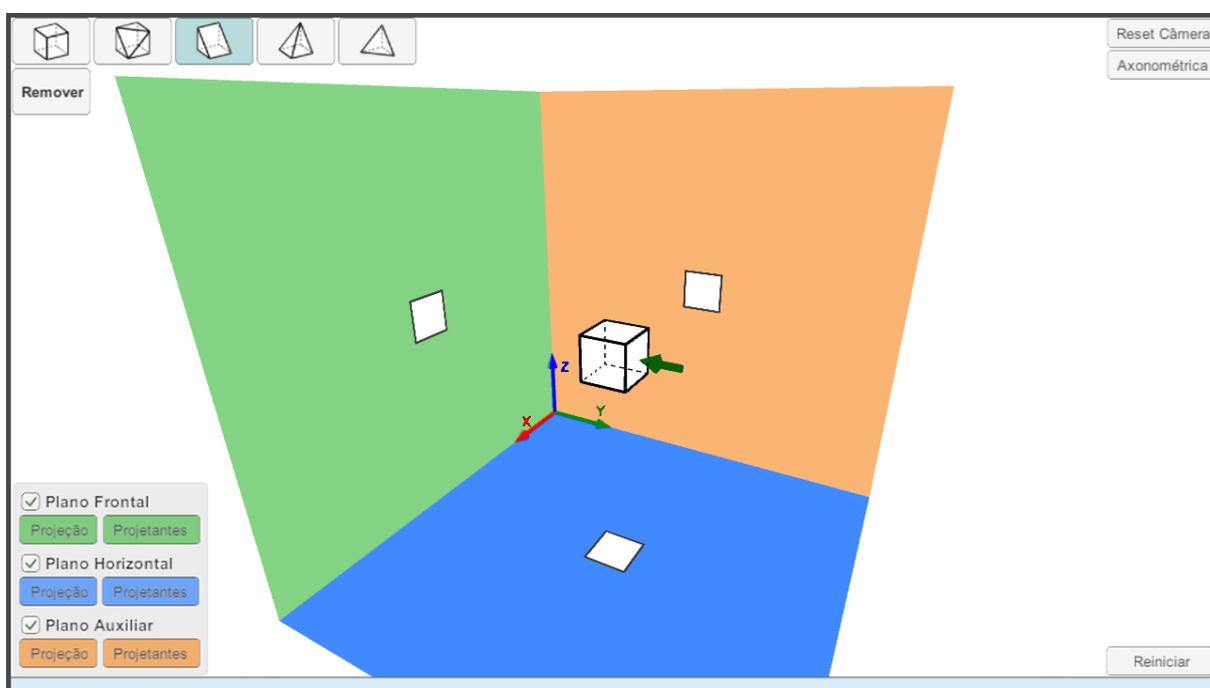
Quadro 12 – Revisão de requisitos

Grupos	Requisitos
Visualização e representação	Visualizar linhas projetantes; Apresentar nomenclatura dos eixos de coordenada.
Combinar blocos	Remover bloco; Combinar os blocos de acordo com as regras de encaixe; Trocara cor dos blocos conforme as regras de encaixe.
Projeção ortogonal	Ligar e desligar individualmente a visualização dos planos de projeção.
Navegação	Afastar mais a câmera.
Animação	Animar as linhas projetantes do ponto no espaço tridimensional até o plano de projeção frontal; Animar as linhas projetantes do ponto no espaço tridimensional até o plano de projeção horizontal; Animar as linhas projetantes do ponto no espaço tridimensional até o plano de projeção auxiliar.
Interface	Apresentar indicador para adicionar bloco; Apresentar indicador para remover bloco; Reconstruir interface utilizando os novos componentes; Apresentar mensagens de <i>feedback</i> ; Reconstruir interface de rotação; Reconstruir ícones dos blocos; Proporcionar botão para confirmar a adição de um bloco; Proporcionar botão para cancelar a adição de um bloco; Proporcionar botões para ligar e desligar a visualização de cada plano de projeção; Proporcionar botões para ligar e desligar a visualização das linhas projetantes para cada plano de projeção; Alterar cores dos eixos de rotação e inclinação.

Fonte: o autor.

A partir da revisão de requisitos iniciou-se um novo ciclo incremental de desenvolvimento para adequar o recurso didático as necessidades analisadas. Neste ciclo, deu-se ênfase aos aspectos de interatividade (PREECE et al., 2005) da aplicação. Foram utilizados os componentes novos de interface da tecnologia Unity 3D, o que permitiu o desenvolvimento de uma interface mais interativa, em relação à versão anterior, e com *feedback* mais apropriado para comunicar as ações ao usuário. Esses componentes permitem configurar estados específicos de acordo com a interação do usuário, possibilitando, por exemplo, a troca de cor dos elementos quando o usuário aciona um determinado botão da interface. A utilização destes componentes contribuiu para o enriquecimento da interatividade da interface, assim como contribuiu significativamente com o princípio de *feedback*, estabelecendo uma comunicação contínua com o usuário durante a utilização do recurso. A Figura 37 mostra uma tela do recurso didático ao final do ciclo de produção com os novos componentes de interface aplicados.

Figura 37 – Tela da segunda versão do protótipo



Fonte: o autor.

Após a conclusão do ciclo de produção, os novos requisitos foram testados individualmente, assim como foram testados os requisitos do ciclo de produção anterior. Ao término dos testes dos requisitos, realizou-se um teste geral da versão

do recurso didático. Finalizados todos os testes, o recurso didático foi encaminhado para a avaliação dos usuários.

4.4 AVALIAÇÃO

A etapa de avaliação submeteu o recurso didático tecnológico produzido ao teste e avaliação dos usuários. Esta etapa refere-se à última fase da metodologia ADDIE do Design Instrucional. A nova versão do protótipo foi submetida ao uso e teste individual dos especialistas. Mantiveram-se os mesmos indivíduos da etapa anterior para perceber a evolução dos resultados da pesquisa. Os dados da avaliação foram coletados e registrados através de questionário em formulário digital (APÊNDICE C). As questões de 1 a 12 apresentam uma escala de 1 a 5, para mensurar a intensidade da resposta. Calculou-se a média para cada questão, sendo a média máxima para cada resposta igual a 5 pontos. As questões 13 e 14 são respectivamente sobre os aspectos tecnológicos e plataformas de uso, podendo-se escolher múltiplas respostas. Por fim, na questão 15 afere-se a preferência de plataforma para a utilização do recurso didático tecnológico. Os dados coletados foram compilados e são apresentados na Tabela 1.

Conforme a Tabela 1, o recurso didático proposto pela pesquisa contribui para o entendimento de Geometria Descritiva. Nesta questão os especialistas atribuíram uma alta pontuação, com uma média de 4,75 pontos, o que indica uma avaliação positiva diante a contribuição do recurso didático para a GD.

De acordo com a Tabela 1, o recurso proposto contribui para o entendimento do conceito de vistas ortogonais. Neste aspecto, os especialistas atribuíram uma alta pontuação, totalizando uma média de 4,875 pontos.

Quanto ao desenvolvimento da habilidade de percepção visual, foi apontado que o recurso promove a habilidade. A Tabela 1 mostra que neste aspecto, o recurso foi bem avaliado, apresentando uma média de 4,75 pontos.

Em relação à facilidade de uso e intuitividade, o recurso foi bem avaliado, apresentando uma média de 4,5 pontos, conforme mostra pontuação na Tabela 1. Este tópico indica a potencialidade de aceitação do recurso pelo viés da usabilidade.

Quanto à utilização do recurso desde o início da disciplina, observado na Tabela 1, apenas uma resposta não obteve a pontuação máxima. Esta questão apresentou uma média de 4,75 pontos.

Tabela 1 – Avaliação Especialistas

	1	2	3	4	5	Média
1 – A utilização do recurso didático tecnológico contribui para o entendimento de Geometria Descritiva				2 (25%)	6 (75%)	4,75
2 – A utilização do recurso didático tecnológico contribui para o entendimento do conceito de projeção por vistas ortogonais				1 (12,5%)	7 (87,5%)	4,875
3 – O recurso didático tecnológico promove o desenvolvimento da habilidade de percepção visual				2 (25%)	6 (75%)	4,75
4 – É fácil e intuitivo utilizar o recurso didático tecnológico				4 (50%)	4 (50%)	4,5
5 – Gostaria de utilizar este recurso tecnológico desde o início da disciplina			1 (12,5%)		7 (87,5%)	4,75
6 – Gostaria de utilizar este recurso durante o período de aula			2 (25%)	1 (12,5%)	5 (62,5%)	4,375
7 – Gostaria de utilizar este recurso fora do período de aula					8 (100%)	5
8 – Gostaria de utilizar outros recursos tecnológicos para auxílio no aprendizado em Geometria Descritiva					8 (100%)	5
9 – A utilização do recurso didático tecnológico melhoraria o resultado final dos alunos de Geometria Descritiva			1 (12,5%)	3 (37,5%)	4 (50%)	4,375
10 – Gostaria de utilizar o recurso didático tecnológico para a resolução de exercícios			1 (12,5%)	1 (12,5%)	6 (75%)	4,625
11 – Em sua opinião, qual o nível de aplicabilidade do recurso didático				2 (25%)	6 (75%)	4,75
12 – Em sua opinião, o recurso didático é eficaz no auxílio do entendimento do conceito de vistas ortogonais				3 (37,5%)	5 (62,5%)	4,625

Fonte: o autor.

Por outro lado, quanto à utilização do recurso durante o período de aula, observou-se que alguns especialistas concordam plenamente, porém outros foram imparciais, conforme constatado na Tabela 1. Esta questão apresentou a menor média com 4,375 pontos.

No aspecto da utilização do recurso fora do período de aula, obteve-se a pontuação máxima, com uma média de 5 pontos. Os especialistas concordaram plenamente com este aspecto, conforme Tabela 1.

Quanto ao aspecto sobre a utilização de outros recursos tecnológicos para o auxílio no aprendizado em GD, todos os especialistas concordam que gostariam de utilizar outros recursos. Este aspecto apresentou uma média de 5 pontos.

Quando questionados sobre a melhoria do resultado final de aprendizagem dos estudantes, os especialistas concordam, mas não totalmente, que a utilização do recurso pode melhorar a aprendizagem. Esta questão apresentou a menor média, totalizando 4,375 pontos.

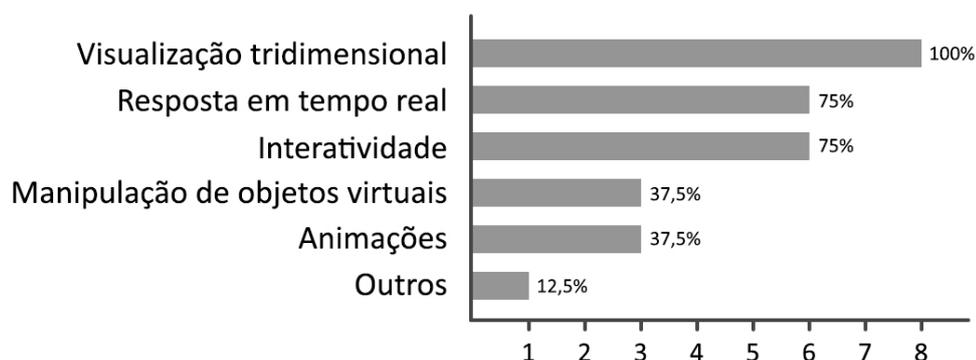
Sobre a utilização do recurso didático para a resolução de exercícios, os especialistas apontaram para uma avaliação positiva. Esta questão apresentou uma média de 4,625 pontos.

Quanto ao nível de aplicabilidade do recurso, os especialistas consideraram uma pontuação média de 4,75 pontos, indicando um alto nível de aplicabilidade do recurso na disciplina de GD.

Por fim, os especialistas avaliaram a eficácia do recurso com uma pontuação média de 4,625 pontos, demonstrando que o recurso poderia ser eficaz para a solução do problema proposto.

Em relação aos aspectos tecnológicos do recurso, observa-se na Figura 38 que a visualização tridimensional foi o aspecto considerado mais eficaz pelos especialistas. Seguidos pela resposta em tempo real e interatividade. Os aspectos que foram menos considerados foram a manipulação de objetos virtuais e as animações.

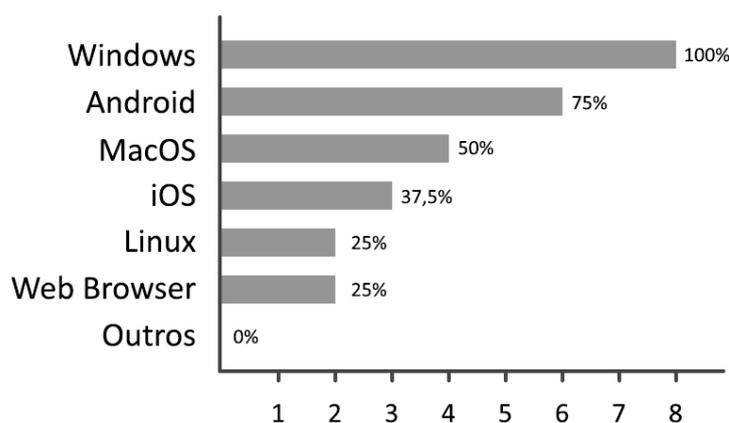
Figura 38 – Aspectos Tecnológicos



Fonte: o autor.

Em relação à plataforma de utilização do recurso didático, 100% dos especialistas gostariam de utilizar o Windows como plataforma, conforme Figura 39. Em segundo, apareceu a plataforma Android, com 75%, seguida pela plataforma MacOS, com 50%. A plataforma iOS apresentou 37,5% e as plataformas Linux e Web Browser ficaram empatadas como última preferência, com 25%.

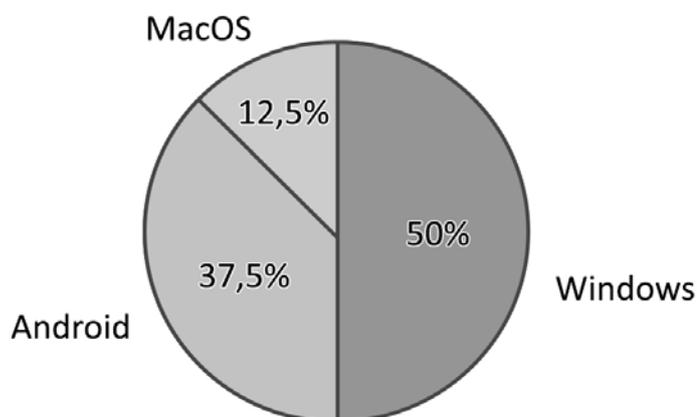
Figura 39 – Plataformas para utilização do recurso



Fonte: o autor.

Em relação à preferência de plataforma para a utilização do recurso didático, os especialistas apontaram o Windows como a plataforma de maior preferência, apresentando um total de 50%. Como segunda preferência, o Android apareceu com 37,5% de preferência. Em terceiro, a plataforma MacOS obteve 12,5% de preferência. As demais plataformas não foram mencionadas. A Figura 40 mostra a relação de preferência entre as plataformas.

Figura 40 – Plataforma preferencial para o recurso didático



Fonte: o autor.

A seguir, apresenta-se a discussão dos resultados obtidos pela pesquisa.

4.4.1 Discussão dos resultados

Esta seção apresenta a discussão dos resultados da pesquisa. As questões da avaliação do recurso foram analisadas e cruzadas com os conceitos da fundamentação teórica. As percepções dos especialistas entrevistados também foram discutidas juntamente com a análise da avaliação.

As questões 1 e 2 trataram respectivamente sobre a contribuição do recurso para o entendimento de GD e sobre a contribuição do recurso para o entendimento do conceito de projeção por vistas ortogonais. Observou-se que de acordo com as percepções dos especialistas, a contribuição do recurso para o entendimento do conceito de projeção por vistas ortogonais é maior que para o entendimento de GD. Como o foco do problema de pesquisa está no auxílio ao entendimento de vistas ortográficas, o protótipo proposto pela pesquisa evidencia este conceito. No momento em que a GD apresenta outros conceitos dentro do seu conjunto de conteúdos entende-se a percepção dos especialistas em pontuar mais a questão 2 (sobre o entendimento de vistas ortográficas) do que a questão 1 (entendimento geral de GD). Como a primeira questão generaliza a contribuição para a GD e a segunda especifica a contribuição para o entendimento de um conceito, compreende-se que o protótipo de recurso didático tecnológico contribui para o entendimento do processo de representação por vistas ortográficas. Embora a diferença de pontuação entre as questões 1 e 2 seja pequena, observa-se que a questão específica apresentou pontuação maior, evidenciando esta contribuição. O conceito de projeção por vistas ortogonais se apresenta como um dos conceitos iniciais fundamentais para o estudo da disciplina de GD. A partir deste conceito que se desenvolve os outros conteúdos. Considerando-se estes argumentos, o fato de contribuir para o entendimento de vistas ortogonais, estaria contribuindo também para a disciplina.

Quanto a percepção visual, a questão 3 indagou sobre o desenvolvimento desta habilidade através da utilização do recurso. Pelas considerações dos especialistas, o recurso poderia promover a habilidade. Nota-se, pelas observações dos especialistas, que os alunos que possuem a habilidade de percepção visual mais desenvolvida apresentam maior facilidade na aprendizagem da disciplina de GD. Também colocado pelos especialistas, a habilidade não é um requisito obrigatório para quem estuda a GD, pois o próprio estudo da disciplina promove a

habilidade. Segundo Montenegro (1991), a percepção visual é uma das habilidades humanas fundamentais para o desenvolvimento da imaginação espacial. O autor coloca que como se trata de uma habilidade, a mesma pode ser estimulada através da utilização frequente, aplicação direta e prática de exercícios. O recurso proposto pela pesquisa pode contribuir com as afirmações de Montenegro, no momento em que permite a manipulação e construção de sólidos em um ambiente virtual tridimensional. Com o uso frequente do recurso, a habilidade de percepção visual seria estimulada, alavancando o aprendizado dos conceitos de GD. Neste aspecto, segundo Jones e Bills (1998), o recurso também promove o raciocínio geométrico através dos processos cognitivos de visualização, construção e raciocínio. Os requisitos de construção do sólido tridimensional a partir da combinação de blocos modulares juntamente com a visualização das projeções em tempo real, favorecem o raciocínio geométrico. Jones e Bills colocam que a visualização nem sempre ajuda no processo de raciocínio, pois se deve trabalhar na diferenciação dos processos. Entretanto, a resposta em tempo real que o recurso didático apresenta durante a manipulação dos blocos, adicionado à visualização da totalidade do sistema projetivo, auxilia na diferenciação, promovendo o raciocínio geométrico.

A questão 4 indagou os especialistas quanto a facilidade de uso e intuitividade do recurso didático apresentado. Na percepção dos especialistas, este tópico obteve uma avaliação positiva. Na revisão de requisitos, uma consideração frequente pelos especialistas, foi a melhoria da interface. Durante o primeiro teste do protótipo, alguns especialistas apresentaram certa dificuldade no uso do recurso. Após uma breve explicação do autor da pesquisa em relação às funcionalidades da interface, as dificuldades foram resolvidas. Este ponto indica que a interface da primeira versão não apresentava uma linha comunicação com o usuário de modo a facilitar o uso do protótipo. Os conceitos do Design de Interação colocados por Preece et al. (2005) traçaram importantes diretrizes para contribuir no aspecto da usabilidade do recurso didático.

As melhorias realizadas no segundo ciclo de desenvolvimento, onde a maioria dos requisitos tratava de aprimoramentos de interface, evidenciam a relevância dos conceitos do Design de Interação para o desenvolvimento de artefatos didáticos tecnológicos. A preocupação com usabilidade deve ser constante desde a concepção do projeto até a sua implementação. Recursos didáticos tecnológicos têm o objetivo fundamental de auxiliar no processo de ensino de determinados

conceitos. Este recurso deve manter-se o mais simples e intuitivo possível, de forma a não criar uma barreira durante a sua manipulação. No momento em que o usuário do recurso didático precisa exercer um esforço cognitivo para utilizar o recurso, o objetivo do próprio recurso, fica comprometido. Aqui o conceito de redução da carga cognitiva de Filatro (2008) também se aplica. Reduzindo a carga cognitiva necessária para a manipulação da interface do recurso, permite-se maior concentração de esforço no aprendizado dos conceitos expostos pelo recurso. Neste contexto, o Design de Interação traça um papel de fundamental importância, pois através de seus conceitos o recurso didático torna-se mais eficaz, permitindo ao usuário atingir o objetivo proposto do recurso, auxiliar no entendimento do processo de projeção por vistas ortográficas. A segunda versão, que utilizou os novos componentes de interface e evidenciou os princípios do Design de Interação, apresentou melhorias significativas em relação à facilidade de uso e intuitividade.

As questões 5, 6 e 7 referem-se aos períodos de utilização do recurso no contexto da disciplina de GD. Quanto à utilização do recurso didático desde o início da disciplina, os especialistas se mostraram favoráveis. O conteúdo de projeções por vistas ortográficas é um dos conteúdos iniciais da disciplina, abordado nas primeiras aulas. A utilização do recurso logo após a exposição deste conteúdo seria favorável para auxiliar na compreensão do mesmo. Quanto à utilização do recurso durante o período de aula, os especialistas também se mostraram favoráveis. Entretanto, esta questão apresentou a menor média da avaliação e a maior quantidade de respostas com a pontuação 3. Neste contexto, observa-se que alguns especialistas foram imparciais ao considerar a utilização durante o período de aula. Esta é uma lacuna que depende da percepção e experiências individuais de cada especialista, que pode apresentar divergências de opiniões em relação a este tópico. De outro modo, em relação à utilização do recurso fora do período de aula, observou-se que todos os especialistas concordam em utilizar fora do período de aula. Neste ponto o recurso se caracteriza como uma ferramenta de apoio ao ensino, pois os alunos poderiam continuar o seu processo de aprendizagem fora do período de aula como um reforço aos conteúdos expostos durante o período de aula. Nota-se pela percepção dos especialistas que a utilização do recurso seria mais indicada para períodos fora da sala de aula em relação a períodos durante a aula.

A questão 8 indagou os especialistas quanto a utilização de outros recursos tecnológicos para o auxílio no aprendizado de GD. Observou-se que todos os especialistas foram favoráveis à utilização de novos recursos. O grupo de pesquisa ViD já desenvolveu e implementou outros recursos tecnológicos (TEIXEIRA et al., 2015), evidenciando que a tecnologia aliada ao ensino, pode trazer resultados positivos. De acordo com Silva, R. (2005), a disciplina de GD carece de recursos didáticos ao mesmo tempo em que demanda recursos especializados. Diante este cenário, Filatro (2008) coloca que as tecnologias desempenham um importante papel à medida que mediam o aprendizado eletrônico. Segundo a autora, as tecnologias interativas são indicadas quando o objetivo é o desenvolvimento de habilidades, no caso da presente pesquisa, desenvolver a habilidade da percepção visual. Adaptar os materiais de aula convencionais de forma a oferecer novos recursos didáticos através da tecnologia, seria outra oportunidade para contribuir com o aprendizado de GD.

Referente à melhoria do resultado final dos alunos de GD a partir da utilização do recurso didático proposto pela pesquisa, observou-se que os especialistas apontam para uma possível melhoria no resultado. Esta questão apresentou a menor média do questionário, 4,375 pontos, no qual se obteve uma resposta com 3 pontos, três respostas com 4 pontos e quatro respostas com 5 pontos. Embora a percepção dos especialistas indique uma possível melhoria em razão da utilização do recurso, apenas poder-se-ia evidenciar uma melhoria de resultado, caso se mensurasse os resultados finais dos alunos após a utilização do recurso.

Em relação a utilizar o recurso didático para resolução de exercícios, observou-se que os especialistas se mostraram favoráveis a esta questão. Apesar de o protótipo apresentado não possuir requisitos diretamente relacionados à resolução de exercícios, estes requisitos poderiam ser implementados enriquecendo a experiência de aprendizagem. Segundo Montenegro (1991), a solução de problemas construtivos desenvolve a imaginação especial que, conseqüentemente, contribui para o aprendizado de GD.

Quanto à aplicabilidade do recurso didático, os especialistas consideraram aplicável. Um ponto destacado pelos especialistas foi a facilidade de acesso. Produzir um recurso que possa ser utilizado em múltiplas plataformas, ampliaria a capacidade de acesso e permitiria aos usuários, no caso os alunos das disciplinas de GD, utilizar o recurso a partir de sua plataforma preferencial. Estar-se-ia assim

levando o recurso até os usuários, e não obrigando os mesmos a se adaptarem ao recurso didático.

Em relação à eficácia do recurso no auxílio do entendimento do conceito de vistas ortogonais, as considerações dos especialistas indicam na direção da eficácia do recurso. No entanto, não se pode afirmar que o recurso será eficaz neste aspecto, pois carece mensurar a eficácia em um contexto de aplicação do recurso durante a disciplina. Apesar da opinião dos especialistas ser relevante e significativa nesta questão, a eficácia é uma qualidade que será observada a partir do uso do recurso pelos alunos de GD, com o posterior registro dos resultados finais.

Quanto aos aspectos tecnológicos, os especialistas indicaram a visualização tridimensional como o aspecto mais relevante para a eficácia do recurso didático. Segundo as próprias considerações dos especialistas, o recurso proposto permite a concretização do processo, tornando visuais os conceitos que são abstratos. Outro ponto indicado pelos especialistas é a possibilidade do entendimento do sistema projetivo em sua totalidade, citado como uma das dificuldades mais frequentes dos alunos. A possibilidade de relacionar o sólido tridimensional com suas projeções bidimensionais, conectados pelas linhas projetantes, contribui para o entendimento do sistema. Deste modo, a partir da visualização tridimensional consegue-se mostrar conceitos que são difíceis de apresentar no papel, no desenho, como exemplo, o processo de transposição, que ficou evidenciado através das animações de transposição. Um tópico também considerado pelas especialistas foi o conceito de visibilidade. O recurso apresenta as arestas dos sólidos de acordo com as convenções da disciplina, assim, arestas visíveis são representadas por linhas cheias de espessura maior e arestas invisíveis são representadas por linhas tracejadas. Pela percepção dos especialistas, este é um conceito que apresenta certa dificuldade de aprendizado, porém através da utilização do recurso, o entendimento seria facilitado. A visualização das linhas projetantes também foi outro tópico observado. O recurso desenvolvido permite a visualização das linhas projetantes no espaço tridimensional, conceito abstrato e de difícil representação pelos aparatos convencionais utilizados em sala de aula. Observado também pelos especialistas, o recurso permite visualizar os sólidos tridimensionais de uma maneira que nosso olho não enxerga, através de uma perspectiva axonométrica, o que facilita o entendimento de representação por vistas ortogonais.

Um aspecto tecnológico considerado relevante pelos especialistas foi a resposta em tempo real. Os especialistas colocam que a resposta em tempo real, deixa o recurso mais dinâmico que o aparato convencional utilizado em GD, permitindo, por exemplo, representar inúmeras perspectivas em ângulos arbitrários. Foi citado também, que a resposta em tempo real auxiliaria na ausência ou falha na habilidade de percepção visual, pois ao realizar uma ação no recurso a resposta é imediata. Este aspecto tecnológico está diretamente relacionado ao princípio de usabilidade de *Feedback* (PREECE et al., 2005). O retorno imediato de informações do recurso a respeito de uma ação feita faz o usuário continuar a atividade de forma contínua.

A interatividade também foi considerada um aspecto relevante pelos especialistas, no qual se atribuiu a mesma pontuação da resposta em tempo real. Pela perspectiva dos especialistas, a interatividade poderia ser um fator motivador para o uso do recurso didático. Filatro (2008) coloca que a interatividade é um aspecto tecnológico que se deve utilizar quando o objetivo é o desenvolvimento de habilidades, que no contexto da presente pesquisa, trata-se da habilidade de percepção visual. Segundo a autora, a interação desempenha um papel fundamental no processo de aprendizagem, envolvendo a formação de processos superiores de pensamento através da atividade instrumental e prática.

Os aspectos sobre a manipulação de objetos virtuais e animações, foram pontuados abaixo dos anteriores. Quanto à manipulação, os especialistas colocam que este aspecto é mais intuitivo para a nova geração de estudantes, apontando para um fator positivo do recurso. Outro ponto citado foi a possibilidade de montar virtualmente o que se pratica em aula, possibilitando a redução do nível de abstração para o aprendizado do conteúdo de GD. Em relação às animações, os especialistas colocam que somente foi possível demonstrar visualmente como o processo de transposição ocorre, devido às animações do recurso didático tecnológico.

O recurso, através dos seus aspectos tecnológicos, contribuiria para o desenvolvimento das habilidades do pensamento espacial (GUTIÉRREZ, 1996). A construção de sólidos e sua visualização no sistema de projeção auxiliariam no desenvolvimento da percepção consistente e discriminação visual. O recurso relaciona o objeto tridimensional com sua representação bidimensional, evidenciando as relações espaciais entre os sistemas tridimensionais e

bidimensionais. A visualização do objeto tridimensional a partir de qualquer ângulo auxiliaria no desenvolvimento da rotação mental, promovendo o pensamento espacial.

Em relação às plataformas preferenciais para a utilização do recurso, a plataforma Windows recebeu a maior pontuação. O Windows ainda é o sistema operacional mais frequentemente utilizado. A plataforma Android apareceu em segundo nas preferências, indicando uma tendência para a utilização dos dispositivos móveis. Atualmente, a tecnologia destes dispositivos possibilita a execução de visualizações tridimensionais, como jogos digitais e simuladores. No momento em que a disciplina de GD ocorre em salas de aula convencionais, os dispositivos móveis poderiam oportunizar a utilização do recurso desenvolvido pela pesquisa, não apenas durante as aulas, mas também fora das aulas, a qualquer momento, em qualquer lugar. Embora se tenha questionado sobre quais plataformas se gostaria de utilizar o recurso, o mesmo poderia ser produzido para todas. Um dos benefícios da utilização da tecnologia Unity 3D é a facilidade de desenvolvimento multiplataforma, ou seja, pode-se rapidamente criar uma versão para outra plataforma sem a necessidade de implementar novamente muitos dos requisitos. Na maioria dos casos, necessita-se apenas de poucos ajustes de interface, devido às diferenças de resolução de tela e as diferenças de dispositivos de entrada, mais especificamente, teclado, mouse ou *touch*, no caso dos dispositivos móveis. Para um resultado mais preciso sobre a plataforma de utilização do recurso, dever-se-ia envolver todos os possíveis usuários do recurso didático, os docentes das disciplinas e os alunos. Devido à restrição de tempo e escopo da pesquisa, envolveram-se apenas os usuários caracterizados como especialistas, neste caso, os docentes. A opinião dos alunos das disciplinas de GD quanto a esta questão da plataforma é de fundamental importância, visto que os mesmos compõem a maior quantidade de usuários finais para o recurso didático. A intenção desta questão foi identificar quais plataformas os usuários mais utilizariam, assim poder-se-ia desenvolver a versão final do recurso didático tecnológico, primeiro para as plataformas de maior dimensão de uso e abrangência de usuários.

A partir dos resultados obtidos, considerando-se o caráter qualitativo da pesquisa, embora o perfil e a intencionalidade da amostra não evidenciem uma generalização, é entendido que o recurso didático tecnológico interativo proposto pela pesquisa poderia contribuir para o entendimento da disciplina de Geometria

Descritiva. De forma mais específica, as características de visualização, interatividade, manipulação de objetos e resposta em tempo real do recurso desenvolvido, auxiliariam na compreensão do processo de representação por vistas ortogonais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O profissional que atua com projeto é dito como o responsável pela idéia, pela concepção. Para a concretização de uma ideia é necessária a externalização da mesma e uma das principais maneiras de comunicar uma ideia é através da expressão gráfica. Visualizar facilita o entendimento do processo, contribui para a comunicação da ideia. Quando se trata de requisitos técnicos, a comunicação realizada em um contexto de projeto necessita ser convencionada para que todos os envolvidos entendam com precisão o que está sendo informado. Neste contexto, é necessário utilizar-se de regras para comunicar e expressar as ideias, conceitos, com precisão. O conhecimento necessário para a realização plena desta expressão gráfica convencionada começa com a Geometria Descritiva, disciplina de fundamental importância para o desenvolvimento criativo. Muitos dos conteúdos e conceitos de GD são de caráter abstrato e demandam material didático especializado. A tecnologia disponível hoje permite desenvolver recursos didáticos que potencializam a concretização dos processos de GD, auxiliando na visualização e contribuindo para o aprendizado desses conceitos.

O tema da presente pesquisa abordou o desenvolvimento e avaliação de um recurso didático tecnológico para auxiliar no entendimento do conceito de vistas ortogonais. A disciplina de GD é ampla, possuindo diversos conceitos além das representações ortogonais. No entanto, este conceito em especial é o início de todo o entendimento da disciplina. Sem o entendimento fundamental de projeções ortogonais, os conteúdos seguintes se tornam mais complexos, uma vez que dependem deste para o seu entendimento. A motivação para este tema veio da própria experiência do autor da pesquisa, que já trabalhou com o ensino de Computação Gráfica, ao presenciar as dificuldades que os estudantes apresentam quando iniciam os estudos de projeções e representações. A hipótese da pesquisa buscou saber se a utilização de recursos tecnológicos interativos que qualificassem a visualização e o entendimento da transposição, contribuiriam para a compreensão da disciplina de GD.

A partir disto, definiu-se como objetivo geral a proposição de uso de tecnologias digitais como recurso didático para auxiliar no entendimento do processo de visualização de vistas ortogonais. Este objetivo foi dividido em outros aspectos, para melhor compreensão e aprofundamento do estudo. Assim, cada um dos

objetivos específicos foi abordado ao longo do estudo. O primeiro objetivo específico “identificar as dificuldades apresentadas na aprendizagem do conceito de representação por vistas ortogonais” foi abordado na contextualização da pesquisa e na segunda seção do texto, onde se apresentam as principais considerações dos autores quanto às dificuldades de aprendizagem. O segundo objetivo específico “propor requisitos que irão compor a solução para o problema de aprendizagem do conceito de representação por vistas ortogonais” foi abordado na quarta seção, onde se definem os requisitos de projeto para o recurso didático. O terceiro objetivo específico “desenvolver recurso didático tecnológico, na forma de protótipo funcional, que auxilie no processo de entendimento da representação por vistas ortogonais” foi abordado também na quarta seção, dentro do item de desenvolvimento. Por fim, o objetivo específico “verificar se o recurso didático tecnológico foi eficaz para o entendimento do conceito de representação por vistas ortogonais” foi abordado através da aplicação da pesquisa, descrita também na quarta seção, no item de avaliação.

Este trabalho estabeleceu uma fundamentação que permitiu definir subsídios teóricos para o desenvolvimento do recurso didático tecnológico, bem como para a discussão dos resultados. Investigou-se assuntos relevantes sobre a disciplina de Geometria Descritiva, Percepção Visual, Design Instrucional, Design de Interação, Engenharia de *Software* e Metodologias Ágeis.

O conhecimento sobre os conceitos de Geometria Descritiva desempenhou um papel relevante para a pesquisa. Simuladores de ambientes virtuais para visualização tridimensional existem em grande quantidade, por exemplo, jogos digitais dos mais variados tipos. Porém, no estudo da pesquisa, o ambiente virtual não deveria apenas permitir a visualização tridimensional, mas sim deveria inserir os conceitos e conteúdos de GD durante a visualização do ambiente. A partir dos conhecimentos de GD, traçaram-se requisitos específicos que contribuíssem para o auxílio ao aprendizado da disciplina.

Os conhecimentos sobre percepção permitiram compreender como funciona o processo de aprendizado de geometria tridimensional. Os processos de visualização, construção e raciocínio contribuíram para conceber o conceito de utilização do recurso didático, uma vez que os três processos são contemplados durante a manipulação do recurso.

O Design Instrucional proporcionou uma metodologia para o desenvolvimento da solução instrucional. A metodologia ADDIE contribuiu com a pesquisa, pois permitiu compreender cada etapa que envolve o desenvolvimento de artefatos instrucionais. A partir desta metodologia, realizou-se a análise contextual, definiram-se os requisitos de projeto e posteriormente se implementou e avaliou o recurso.

A interatividade exerce um papel fundamental para a eficácia do recurso didático tecnológico. Através dos conceitos de Design de Interação, foi possível aprimorar não apenas a interface do recurso, mas toda a sua interatividade. Uma vez que a finalidade do recurso é contribuir para o aprendizado, o mesmo deve ser simples, intuitivo e de fácil uso, levando o usuário ao seu propósito, aprendizado dos conceitos de GD. Um recurso didático tecnológico que não tenha sido projetado com base no Design de Interação pode tornar-se de difícil uso e não motivar sua utilização. Por outro lado, a interatividade permite a experimentação. A construção de sólidos através da manipulação de objetos tridimensionais oportuniza ao aprendiz visualizar o resultado de sua ação em ambos os sistemas tridimensionais e bidimensionais. Uma interação feita no recurso apresenta um resultado instantâneo, permitindo a verificação e consistência entre os objetos. A interatividade é um aspecto essencial para a contribuição no aprendizado do conceito de projeção por vistas ortogonais.

Como o recurso didático proposto pela pesquisa tem caráter tecnológico, apresentando-se como um *software*, a Engenharia de *Software* contribuiu com a pesquisa trazendo aspectos relativos ao processo de construção e metodologias de desenvolvimento. A metodologia ágil, utilizada no desenvolvimento do recurso didático, permitiu a rápida adaptação dos requisitos, favorecendo o resultado final do protótipo. A cada ciclo de produção, tinha-se uma versão funcional incremental do protótipo que era submetida ao teste dos usuários.

Utilizou-se a tecnologia Unity 3D para a construção do protótipo de recurso didático. A tecnologia Unity 3D foi originariamente concebida para o desenvolvimento de jogos digitais. Por razão de suas características gráficas, interativas e de visualização tridimensional, esta tecnologia tem sido utilizada em diversos contextos que necessitem destes requisitos. A escolha desta tecnologia foi devido aos seus recursos gráficos e interativos avançados, pois estes abstraem a implementação de bibliotecas gráficas, o que permitiu a pesquisa focar no desenvolvimento do conteúdo do recurso didático ao invés do desenvolvimento de

aspectos técnicos de computação gráfica. Os aspectos referentes à visualização tridimensional e interatividade, foram rapidamente resolvidos com a utilização da Unity 3D. Por outro lado, quanto aos aspectos específicos de GD, como a visualização de linhas sólidas e tracejadas, a tecnologia não ofereceu recursos específicos para a construção destes aspectos. Tratando-se de um recurso didático, os conceitos de GD representam os requisitos mais significativos de todo o projeto e, por conta disto, implementaram-se componentes específicos para resolver os conceitos de GD. Um ponto de destaque foi a utilização dos novos componentes de interface da Unity 3d. Esses componentes flexibilizaram a implementação da interface, tornando-a mais interativa e enriquecendo a experiência de uso do recurso didático.

O desenvolvimento do recurso didático iniciou com a análise contextual. Com esta análise foram observados os principais aspectos que se deveria considerar para o recurso. Em seguida, definiram-se os requisitos de projeto para o recurso. Para tanto, foram cruzadas as informações da fundamentação para levantar as principais necessidades do protótipo. Após, iniciou-se um ciclo de produção incremental no qual se implementou o recurso didático a partir dos requisitos definidos.

Os testes do protótipo foram realizados com especialistas em GD. Os sujeitos escolhidos para os testes são integrantes do corpo docente das disciplinas de Geometria Descritiva da UFRGS. Considerou-se adequada para a pesquisa a escolha dos especialistas, uma vez que todos apresentavam experiência no ensino da disciplina e contribuíram para a melhoria do recurso desenvolvido pela pesquisa. O roteiro de entrevista utilizado durante o teste também foi considerado satisfatório, pois permitiu captar a percepção de cada especialista em relação ao recurso didático proposto. A análise das considerações dos especialistas serviu como ponto de partida para revisão dos requisitos de projeto e melhoria do recurso didático para melhor adequar as necessidades da disciplina. Em seguida, desenvolveu-se um novo ciclo incremental de produção para implementar as melhorias.

A avaliação do recurso didático foi realizada com os mesmos sujeitos para se observar as diferenças entre as versões desenvolvidas. Os dados da avaliação foram analisados e discutidos, formando os resultados da pesquisa. A partir dos resultados apresentados, dentro dos limites do estudo apresentado, é possível apontar que a utilização de recursos didáticos interativos que qualifiquem a

visualização e entendimento do processo de transposição contribui para a compreensão da disciplina de GD, comprovando a hipótese de pesquisa apresentada.

Os resultados obtidos durante esta pesquisa contribuem para o aprendizado da disciplina de Geometria Descritiva. De forma mais específica, o entendimento do processo de representação por vistas ortogonais ocorre quando o indivíduo é capaz de conceber o objeto tridimensional a partir de sua representação bidimensional e também capaz de conceber a representação bidimensional a partir do objeto tridimensional, permitindo a compreensão de que ambos os sistemas, bidimensional e tridimensional, representam um mesmo objeto. Na ausência material do objeto tridimensional, o entendimento da representação bidimensional depende da consciência imaginante do indivíduo para construir a imagem mental do objeto tridimensional. O recurso didático desenvolvido pela pesquisa possibilita a concretização do processo de transposição. Não se necessita imaginar o resultado, ele está explícito no ambiente virtual. A concretização do processo de representação por vistas ortogonais é maior contribuição do recurso didático desenvolvido. Os resultados também contribuem com as pesquisas realizadas pelo grupo de pesquisa ViD da UFRGS, acrescentando mais um recurso didático ao compêndio de recursos já desenvolvidos pelo grupo. Mesmo que a pesquisa tenha-se demarcado no contexto de ensino da UFRGS, os resultados obtidos e conhecimentos gerados, também podem ser aplicados e considerados em outras instituições de ensino superior que tenham formação de profissionais de projeto.

Com o desenvolvimento da pesquisa e os resultados obtidos, observou-se que determinadas lacunas ainda não foram preenchidas. Por este motivo, sugere-se a seguir, tópicos para aprofundar e dar continuidade a esta pesquisa e tópicos para o desenvolvimento de futuras pesquisas:

- a) realizar a avaliação da pesquisa com os alunos da disciplina de GD, para mensurar a eficácia de aprendizagem a partir do recurso didático;
- b) adicionar novos requisitos ao recurso didático para abranger mais conceitos da disciplina de GD;
- c) expandir o recurso proposto pela pesquisa, acrescentando um módulo de exercícios no qual os docentes poderiam aferir o entendimento dos alunos.
- d) aplicar os conceitos de gamificação como estratégia de motivação para a utilização do recurso didático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECK, K. et al. **Manifesto para Desenvolvimento Ágil de Software**. Disponível em: <<http://www.agilemanifesto.org/iso/ptbr/>>. Acesso em: 14 jul. 2014.
- BORGES, G. C. DE M. et al. **Noções de Geometria Descritiva - Teoria e Exercícios**. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzato, 1993.
- CHRISTOU, C. et al. Developing the 3DMath dynamic geometry software: theoretical perspectives on design. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, v. 13, n. 4, p. 168–174, 2006.
- COHN, M. **Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum**. Edição: 1 ed. [S.I.]: Addison-Wesley Professional, 2009.
- CONFORTO, E. C. et al. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO–CBGDP, Porto Alegre. *Anais...* 2011.
- DUARTE, J. Entrevista em profundidade. In: BARROS, A.; DUARTE, J. (Org.). *Métodos e Técnicas de Pesquisa em Comunicação*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- FILATRO, A. **Design instrucional na prática**. São Paulo: Pearson, 2008.
- GARCÍA, R. R. et al. Interactive multimedia animation with macromedia flash in descriptive geometry teaching. *Computers & Education*, v. 49, n. 3, p. 615–639, 2007.
- GUTIÉRREZ, A. Visualization in 3-dimensional geometry: In search of a framework. 1996. p. 1–3.
- HAUPTMAN, H. Enhancement of spatial thinking with Virtual Spaces 1.0. *Computers & Education*, v. 54, n. 1, p. 123–135, 2010.
- JONES, K.; BILLS, C. Visualisation, imagery, and the development of geometrical reasoning. *Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics*, v. 18, n. 1-2, p. 123–128, 1998.
- LACERDA, G. S. DE et al. **Uma Introdução às Metodologias Ágeis de Software**. Gravataí: Facensa, 2010.
- LACOURT, H. **Noções E Fundamentos De Geometria Descritiva**. Rio de Janeiro: LTC, 1995.
- MOHLER, J. L. Using interactive multimedia technologies to improve student understanding of spatially-dependent engineering concepts. In: PROCEEDING OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER GEOMETRY AND GRAPHICS (GRAPHICON 2001), 2001. p. 292–300.
- MONTENEGRO, G. A. **Geometria Descritiva - Volume 1**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

- MONTENEGRO, G. A. **Inteligência Visual e 3D**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- MORÁN, S. et al. Proposal of interactive applications to enhance student's spatial perception. *Computers & Education*, v. 50, n. 3, p. 772–786, 2008.
- NIELSEN, J.; LORANGER, H. **Usabilidade na Web**. Edição: 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Acadêmico, 2007.
- PREECE, J. et al. **Design de Interação Além da Interação Homem-Computador**. Edição: 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico-2ª Edição**. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.
- REIGELUTH, C. M. **Instructional-design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory, Volume II**. 1st edition ed. Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- RUBIO, R. **Diseño de una aplicación modular de CAD y análisis de su empleo en la mejora de la calidad docente**. 2003. 2003.
- SANTOS, J. C. G. Introdução ao Unity. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOGOS E ENTRETENIMENTO DIGITAL, Brasília. *Anais...* 2012.
- SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J. **Scrum Guide™ | Scrum.org - The home of Scrum**. Disponível em: <<https://www.scrum.org/Scrum-Guide>>. Acesso em: 4 ago. 2014.
- SILVA, R. P. **Avaliação de perspectiva cognitivista como ferramenta de ensino-aprendizagem da geometria descritiva a partir do ambiente hipermídia HyperCAL^{GD}**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2005.
- SILVA, T. L. K. **Produção flexível de materiais educacionais personalizados: o caso da geometria descritiva**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2005.
- SILVA, T. L. K. **Uma proposta de ambiente computacional para aprendizagem em geometria descritiva com ênfase na estereotipagem dos estudantes de engenharia**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 1999.
- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. Edição: 9 ed. São Paulo: Pearson, 2011.
- TEIXEIRA, F. G. et al. Experiências Inovadoras em Ensino e Pesquisa da Geometria Descritiva. In: GEOMETRIAS & GRAPHICA 2015, Lisboa. *Anais...* 2015.

TEIXEIRA, F. G.; SANTOS, S. L. HyperCAL3D, Um Sistema Inovador para Auxílio ao Processo de Ensino de Geometria Descritiva. *Design & Tecnologia*, v. 6, p. 20 – 32, 2013.

TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R. P. **Geometria Descritiva: Design-based Learning**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul: [s.n.], 2013

UFRGS. **Plano de Ensino Geometria Descritiva II-A**. Porto Alegre: [s.n.], 2014a

UFRGS. **Plano de Ensino Geometria Descritiva III**. Porto Alegre: [s.n.], 2014b

UNITY TECHNOLOGIES. **Unity - Game Engine**. Disponível em: <<https://unity3d.com/>>. Acesso em: 30 set. 2015.

APÊNDICE A – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM ESPECIALISTA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Protocolo de Entrevista com Especialista

Entrevistado:

Data: _____ Local: _____ Duração: _____

1. Qual a sua formação e principal área de atuação?
2. Há quanto tempo trabalha com Geometria Descritiva?
3. Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de Geometria Descritiva? Por quê?
4. As projeções ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em Geometria Descritiva. Os aprendizes demonstram dificuldades no entendimento destes novos conceitos? Como?
5. Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de Geometria Descritiva?

Apresentação do protótipo.

6. A partir da análise e uso do protótipo apresentado, quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas projeções ortográficas?
7. Em sua opinião, quais os problemas que podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para apoio ao ensino de projeções ortográficas?
8. O protótipo apresentado pode contribuir no aprendizado de projeções ortográficas? Por quê?
9. Em sua opinião deve-se realizar alguma melhoria ou acréscimo de funcionalidade no protótipo?

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA ENTREVISTA COM ESPECIALISTAS



Programa de Pós-Graduação em Design
Departamento de Design e Expressão Gráfica
Av. Osvaldo Aranha 99 – 6º andar
Centro, Porto Alegre – RS
CEP 90035-190
Fone/Fax: (51) 3308-3438

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA ENTREVISTA COM ESPECIALISTAS

Nome do Participante:

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), de uma coleta de dados que faz parte de uma pesquisa do Programa de Pós Graduação em Design da UFRGS intitulada “Percepção Visual: Design e tecnologia aplicados à Geometria Descritiva”. A pesquisa está sendo desenvolvida pelo mestrando Tiago Raguze Flores sob a orientação do Prof. Dr. Régio Pierre da Silva.

Esta pesquisa tem por objetivo propor a utilização de recursos didáticos com tecnologia digital para o ensino de Geometria Descritiva, a fim de proporcionar maior entendimento dos conceitos de projeção ortográfica. Os benefícios imediatos de sua participação nesse estudo provêm da colaboração de sua área de conhecimento à investigação, possibilitando um melhor desenvolvimento do recurso didático. Espera-se com este estudo contribuir para o ensino e aprendizagem de Geometria Descritiva.

A sua participação como voluntário nesta pesquisa durante a fase de coleta de dados está estimada em aproximadamente 30 minutos. A coleta de dados consiste em uma entrevista semiestruturada objetivando respostas sobre questões específicas relacionadas à sua área de conhecimento. Em um segundo momento, a coleta de dados objetiva analisar um protótipo de ferramenta didática. A participação não é obrigatória e os pesquisadores objetivam manter os riscos ao mínimo, sendo garantido o sigilo em relação a sua identidade, o direito de desistência de sua participação a qualquer momento que julgue conveniente. Além disso, sua participação na pesquisa não acarretará em quaisquer ônus financeiros. É garantido pelos pesquisadores que as informações provenientes das entrevistas sejam utilizadas para fins da pesquisa com publicação em relatório e em artigos relacionados. E, que estas informações serão armazenadas por um prazo de cinco anos, sendo posteriormente destruídas.

A entrevista será registrada através de gravação em áudio, sendo posteriormente compilada através do relatório escrito. As informações obtidas são de caráter confidencial, sendo assegurado seu sigilo. Estas informações têm por finalidade auxiliar o processo de pesquisa no que se refere ao objetivo declarado.

Quaisquer informações ou esclarecimentos adicionais podem ser obtidos diretamente com os pesquisadores responsáveis através dos contatos: Régio Pierre da Silva: email regio@ufrgs.br e telefone (51) 33084258; Tiago Raguze Flores: email tiagoraguzze@gmail.com e telefone (51) 81487049; ou ainda via CEP/UFRGS no telefone (51) 33083738.

Porto Alegre, novembro de 2015.

Tiago Raguze Flores
Pesquisador – Mestrado PGDesign/UFRGS

Assinatura do Participante

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO COM ESPECIALISTA

Questionário de Avaliação com Especialistas

Questionário de avaliação do recurso didático tecnológico com especialistas. Para responder, utilize a escala de concordância em relação a afirmação descrita. Demais questões, apresentam instruções correspondentes.

1. A utilização do recurso didático tecnológico contribui para o entendimento de Geometria Descritiva.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

2. A utilização do recurso didático tecnológico contribui para o entendimento do conceito de projeção por vistas ortogonais.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

3. O recurso didático tecnológico promove o desenvolvimento da habilidade de percepção visual.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

4. É fácil e intuitivo utilizar o recurso didático tecnológico.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

5. Gostaria de utilizar este recurso tecnológico desde o início da disciplina.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

6. Gostaria de utilizar este recurso durante o período de aula.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

7. Gostaria de utilizar este recurso fora do período de aula.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

8. Gostaria de utilizar outros recursos tecnológicos para auxílio no aprendizado em Geometria Descritiva.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

9. A utilização do recurso didático tecnológico melhoraria o resultado final dos alunos de Geometria Descritiva.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

10. Gostaria de utilizar o recurso didático tecnológico para a resolução de exercícios.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	[]	[]	[]	[]	[]	Concordo totalmente

11. Em sua opinião, qual o nível de aplicabilidade do recurso didático?

	1	2	3	4	5	
Aplicabilidade mínima	[]	[]	[]	[]	[]	Aplicabilidade máxima

12. Em sua opinião, o recurso didático é eficaz no auxílio do entendimento do conceito de vistas ortogonais?

	1	2	3	4	5	
Eficácia mínima	[]	[]	[]	[]	[]	Eficácia máxima

13. Quais aspectos contribuem para a eficácia do recurso didático?

- Visualização tridimensional
- Resposta em tempo real
- Manipulação de objetos virtuais
- Interatividade
- Animações
- Outro: _____

14. Em quais plataformas você gostaria de utilizar o recurso? Marque todas as possibilidades que você utilizaria.

- Windows
- MacOS
- Linux
- Android
- iOS
- Web Browser
- Outro: _____

15. Qual plataforma seria sua preferência de uso?

- Windows
- MacOS
- Linux
- Android
- iOS
- Web Browser
- Outro: _____

16. Comentários e Sugestões.

APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA AVALIAÇÃO COM ESPECIALISTAS



Programa de Pós-Graduação em Design
Departamento de Design e Expressão Gráfica
Av. Osvaldo Aranha 99 – 6º andar
Centro, Porto Alegre – RS
CEP 90035-190
Fone/Fax: (51) 3308-3438

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA AVALIAÇÃO COM ESPECIALISTAS

Nome do Participante:

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), de uma atividade de teste de protótipo e coleta de dados que faz parte de uma pesquisa do Programa de Pós Graduação em Design da UFRGS intitulada “Percepção Visual: Design e tecnologia aplicados à Geometria Descritiva”. A pesquisa está sendo desenvolvida pelo mestrando Tiago Raguze Flores sob a orientação do Prof. Dr. Régio Pierre da Silva.

Esta pesquisa tem por objetivo propor a utilização de recursos didáticos com tecnologia digital para o ensino de Geometria Descritiva, a fim de proporcionar maior entendimento dos conceitos de projeção ortográfica. Os benefícios imediatos de sua participação nesse estudo provêm da colaboração de sua área de conhecimento à investigação, possibilitando um melhor desenvolvimento do recurso didático. Espera-se com este estudo contribuir para o ensino e aprendizagem de Geometria Descritiva.

A sua participação como voluntário nesta pesquisa durante a atividade está estimada em aproximadamente 20 minutos. A atividade consiste em testar e avaliar o protótipo desenvolvido pela pesquisa. A coleta de dados será realizada a partir de um questionário objetivando respostas sobre questões específicas relacionadas à sua área de conhecimento. A participação não é obrigatória e os pesquisadores objetivam manter os riscos ao mínimo, sendo garantido o sigilo em relação a sua identidade, o direito de desistência de sua participação a qualquer momento que julgue conveniente. Além disso, sua participação na pesquisa não acarretará em quaisquer ônus financeiros. É garantido pelos pesquisadores que as informações provenientes das entrevistas sejam utilizadas para fins da pesquisa com publicação em relatório e em artigos relacionados. E, que estas informações serão armazenadas por um prazo de cinco anos, sendo posteriormente destruídas.

A atividade será registrada através de gravação em áudio, sendo posteriormente compilada através do relatório escrito. As informações obtidas são de caráter confidencial, sendo assegurado seu sigilo. Estas informações têm por finalidade auxiliar o processo de pesquisa no que se refere ao objetivo declarado.

Quaisquer informações ou esclarecimentos adicionais podem ser obtidos diretamente com os pesquisadores responsáveis através dos contatos: Régio Pierre da Silva: email regio@ufrgs.br e telefone (51) 33084258; Tiago Raguze Flores: email tiagoraguzze@gmail.com e telefone (51) 81487049; ou ainda via CEP/UFRGS no telefone (51) 33083738.

Porto Alegre, dezembro de 2015.

Tiago Raguze Flores
Pesquisador – Mestrado PGDesign/UFRGS

Assinatura do Participante

APÊNDICE E – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 1

Qual a sua formação e principal área de atuação?

Sou formado em Design, mestrado em Design. Minha principal área de atuação é em Design.

Há quanto tempo trabalha com GD?

Há mais de dois anos.

Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de GD? Por quê?

Completamente. Porque é justamente o que a GD trabalha, com o raciocínio tridimensional e a percepção do espaço. Desenvolver esta lógica tridimensional. Ele tem que conseguir ler um objeto bidimensional e já conseguir imaginar como é o tridimensional no espaço e vice-versa.

As vistas ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em GD. Os aprendizes demonstram dificuldades no entendimento destes novos conceitos? Como?

Sim. A maioria tem dificuldade porque eles não tiveram isso nas escolas, então quando eles chegam ao ensino superior, para alguns, os que não tiveram escola militar, para eles é a primeira coisa. Eles têm muita dificuldade porque o nosso olho não enxerga da forma ortogonal. Então para eles enxergarem o objeto naquele tridimensional e no bidimensional é muito difícil.

Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de GD?

Eu acho que é fundamental. Auxilia muito para eles porque o conteúdo já é abstrato. Se a gente não consegue mostrar de uma forma mais concreta mesmo, usando as ferramentas computacionais que consegue mostrar o tridimensional e ele indo para o bidimensional, aí ele consegue enxergar. Se eu ficar falando sem usar estes recursos tudo fica muito complicado.

A partir da análise e uso do protótipo apresentado, quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas vistas ortográficas?

Poderia ter as linhas de chamada, conectando do ponto até os planos de projeção. Aqui por exemplo tem um ponto e a gente consegue enxergar a projeção aqui, aqui no outro plano e por fim aqui no outro plano. Depois eles conseguem entender que essa projeção está vindo de forma ortogonal, que é o nosso olho aqui. Vêm 90 graus em cada plano de projeção. Isso mostra que tudo está conectado em função das projeções. Isso facilita o entendimento do conteúdo mesmo.

Isto poderia ser um botão que liga e desliga?

Poderia. Para ficar mais claro. Se não fica um monte de linhas. Muitas informações ao mesmo tempo. Liga as projetantes e consegue ver onde estão os pontos. Bem no início a gente tem que explicar estes alinhamentos que na épura é 90 graus. Por que é 90 graus? Justamente porque ele é um sistema ortogonal e a projetante ela tem que ser 90 graus. Complementa um monte o joguinho dos sólidos que é o primeiro passo dos alunos para o

conteúdo dos métodos. Compreende entender as projeções, o básico, como está se projetando, o que está na frente, o que está atrás, quando a gente tem a linha tracejada, quando não tem, conseguir ver olhando de cima, de frente. Então é perfeito. É justamente o sólido que eles conseguem construir.

Em sua opinião, quais os problemas podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para apoio ao ensino de vistas ortográficas?

A questão da visualização. O principal é isto, aqui eu estou vendo no tridimensional e aqui como que é no bidimensional ao mesmo tempo. Isso é o que eles têm de maior dificuldade. Ter o objeto e as vistas ao mesmo tempo é a maior contribuição.

O protótipo apresentado pode contribuir no aprendizado de vistas ortogonais? Por quê?

Sim. Justamente porque ele mostra bem a questão do sistema ser ortogonal. Consegue mostrar o diedro num sistema tridimensional.

Em sua opinião, deve-se realizar alguma melhoria ou acréscimo de funcionalidade no protótipo?

Um botão para mostrar as projetantes.

APÊNDICE F – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 2

Qual a sua formação e principal área de atuação?

Sou engenheiro e atuo como professor de GD. Mestrado em Design.

Há quanto tempo trabalha com GD?

O primeiro contato foi quando eu era aluno, mas trabalhar de fato, há mais de dezesseis anos.

Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de GD? Por quê?

Sim. Ela é uma das bases do entendimento das vistas ortográficas. Mas não que seja requisito, pois ela pode ser treinada. Se a pessoa já tem essa habilidade, a gente vê isso na sala de aula, quem tem a habilidade já sai voando, sai direto e tem pessoas que tem mais dificuldade, não vem com essa habilidade tão desenvolvida, mas que ao longo do curso conseguem desenvolver. É importante, mas quem não tem, tem salvação.

Então é uma habilidade que pode ser treinada?

Sim, pode ser treinada.

As vistas ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em GD. Os aprendizes demonstram dificuldades nos entendimentos destes novos conceitos?

Alguns, aqueles que não têm essa habilidade, a gente detecta que ao mostrar uma imagem tridimensional, isto falando de construções abstratas, desenhar uma perspectiva que por si só é um desenho 2d que simula um 3d. Mesmo mostrando aquilo e a transição para as vistas ortográficas, alguns não conseguem entender porque que ele ta enxergando aquilo. Talvez pela diferença da imagem com que o olho humano veria, uma perspectiva cônica. Então, alguns, mesmo dizendo que isto aqui é olhando dali, este olhando de cá, tem esta dificuldade no início.

Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de GD?

Com certeza. Como eu mencionei, que eu trabalho com GD desde 2000, e em 2000 eu comecei a trabalhar em um projeto de ambiente de aprendizagem, que era uma forma de tentar diminuir esse nível de abstração que eu mencionei a pouco, de fazer a transição do 3d para o 2d para as vistas ortográficas, numa parte da disciplina que era mais complicada ainda que a inicial, a disciplina era a GD 3, que é uma disciplina que vinha depois da GD básica e que trabalha ainda hoje com superfícies geométricas. Umas superfícies bem complicadas. Começa com superfícies simples, cones, pirâmides e aí passa para torus, superfícies de revolução, hiperbolóide, até chegar no helicóide, a base de um parafuso. Simplesmente mostrando imagens e usando o quadro negro era bem complicado de dizer, imaginem isso, imaginem um parafuso. Nesse trabalho que era inclusive do Professor A, do Professor B e do Professor C, que já estavam mexendo com isso, era criar um ambiente, uma espécie de um ambiente fechado, com linguagem de internet, de web, que era uma coisa que também estava engatinhando naquela época, que usasse todos os tipos de coisa possível. Era html, hipertexto, gif animado, vídeos em avi feitos com animação no Max e o supra-sumo da coisa que era o VrmI, realidade virtual. Então se construía modelos e dentro das páginas a gente tinha modelos virtuais que o pessoal podia girar, mexer, aumentar,

diminuir, andar em volta, orbitar. Era uma inovação e inclusive a gente conseguiu escrever vários artigos.

Isto foi em que época?

Em 2000. E a grande dificuldade na época foi a própria Web, porque a gente queria que fosse um ambiente online e esses arquivos de realidade virtual eram enormes, porque eles descrevem face a face. Imagina uma superfície curva, e ele faz uma otimização, divide em faces planas e monta.

Isto não mudou muito em relação a nossa tecnologia, a questão é que a internet está melhor.

É. Agora pegar um arquivo daqueles que era 3 megabytes no máximo eu acho, o sujeito iria demorar uma hora ou mais para ver um modelo, então a gente acabou encapsulando isso num arquivo de help e entregava para download. Isto é feito até hoje, porque ninguém converteu para as novas tecnologias, e é utilizado até hoje em aula, como suporte e a gente fornece para os alunos para download, olhar em casa. Porém, não sabemos se aquilo é olhado, se acham o máximo como o pessoal de 2000 achava. Foi onde eu entrei na GD. Trabalhando com ferramentas tecnológicas de suporte. Eu acho que é extremamente importante, porque aquilo ajudou e ajuda ainda.

Apresentação de Protótipo. Comentários.

Isto é exatamente aquilo que eu tinha comentado da dificuldade de pegar o cara e dizer, isso aqui olhando de frente é isso aqui, tu dá o início e o fim e não tem a transição e essa ferramenta aqui oferece a transição.

A partir da análise e uso do protótipo apresentado quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas vistas ortográficas?

Duas coisas. A principal e essa transição de câmera, a animação da câmera e a outra, que é aquela que já tinha no Software A, acho que tu se baseaste lá, que é as projeções sendo apresentadas já em tempo real. Mas a animação de câmera, acho que é a principal funcionalidade. A própria construção de um objeto e a gente usa esses meus objetos em forma física, maquetezinha, que é para tentar fazer isso e aí a câmera é o próprio manipulador da forma ali. E também, para diminuir esse nível de abstração entre o que é 3d para o 2d e aqui no protótipo, perfeito. Tu consegue montar virtualmente e essa animação de câmera diz tudo. Pega o sujeito pela mão e mostra, está vendo daqui, reinicia a câmera.

Em sua opinião, quais os problemas que podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para o apoio ao ensino de vistas ortográficas?

Eu acho que essa possibilidade de manipular e ele já automaticamente apresentar as próprias vistas que é o grande problema exatamente da transição do 3d para o 2d, que é o que a gente vê de mais dificuldade. Desde a primeira aula a gente trabalha isso, exatamente aquilo que eu falei no começo, aquelas pessoas que tem essa dificuldade, que não vem com essa habilidade tão treinada, é realmente doloroso para eles entender isso. Se tiver uma ferramenta dessa forma e a disponibilidade disso, que é Web e multiplataforma, o cara poder manipular a forma ali. A ideia dos blocos já era isso, da pessoa construir o seu objeto e manipular ele fisicamente, mas dele poder ao mesmo que ele modela já ter as vistas ali e ter este recurso da câmera, para pegar ele pela mão, tu tá olhando daqui, está olhando dali, isso diminuiria a ausência, essa falha na habilidade tridimensional.

O protótipo apresentado pode contribuir no aprendizado de vistas ortográficas? Por quê?

Eu acho que auxilia completamente. A gente já tem uma experiência com o próprio Software A, dadas as restrições já que ele roda só Plataforma A e ele tem que ser instalado. E tu teres uma plataforma online que a gente pode usar para mostrar para os alunos e os próprios alunos, já que hoje todo mundo tem os seus aparelhinhos na hora para acompanharem.

No caso os dispositivos móveis? Eles baixam o app e podem instalar, usar em casa?

Usar em casa, durante a aula. O que eu vejo hoje é que o programa que a gente tem é excelente, eles podem baixar em casa, alguns se arriscam a trazer o computador para a aula e acompanhar. O ideal seria eles acompanharem durante a aula, conforme nós mostramos em aula, aperta aqui, clica lá. Como a gente não tem acesso a laboratório, é muito complicado de conseguir, já que a disciplina não é de computação, é uma disciplina de desenho, então a gente não tem computadores na aula. Mas todo mundo tem o seu celular, tem o seu tablet, que pode conforme a gente vai mostrando já vão acompanhando.

Então ter uma versão disponível para dispositivo móvel é interessante para aplicação desta ferramenta?

Eu acho que é primordial. Porque é o que tem disponível hoje. Um aplicativo e internet, porque um tempo atrás, era complicado internet no celular porque era muito caro, hoje as pessoas já tem mais acesso, com o pacote básico já consegue fazer alguma coisa. E falando de UFRGS, aqui dentro tem o sinal wi-fi, então o pessoal está conectado o tempo todo. E vários alunos já me perguntaram isso, quando a gente fornece o *software* para Plataforma A, claro que a funcionalidade é similar, mas é diferente, o tipo de aplicação, quando a gente fornece para Plataforma A alguém sempre alguém sempre pergunta se não tem para Plataforma B, para Plataforma C. Fica limitado. Então o fato de ser *online*, de ter esta disponibilidade de ser multiplataforma e tem esses recursos de câmera que são excelentes.

Em sua opinião, deve-se realizar alguma melhoria ou acréscimo de funcionalidade no protótipo?

Possibilidade de remover os objetos, uma espécie de desfazer, refazer. Depois a construção de coisas mais elaboradas. Estás te baseando nestes bloquinhos, que foi uma ideia que nós tivemos para facilitar, exatamente para aquelas pessoas que não tem aquela habilidade, para encontrar determinadas inclinações de face, de reta, em relação ao diedro. Ao invés de dizer, encontre uma face vertical, que tem ângulo em relação ao plano frontal, simplesmente se dá os bloquinhos e eles começavam a manipular, que é uma coisa mais simples e aqui está a versão virtual. Com o tempo a gente começa a trabalhar com formas mais complexas, a partir do objeto construído, cortar ele, fazer um slice. A partir de uma determinada face, fazer uma extrusão para criar outras faces. Ferramentas comuns de CAD, de programas gerais de 3d. Isso de manipulação da forma, cortar, extrudar, espelhar e, além disso, a construção de outros tipos de forma, talvez uma ferramenta para a própria pessoa criar os seus blocos e ir colocando na biblioteca. Crio um bloco diferente, ou estou usando uma modulação diferente, cria, guarda na sua biblioteca.

Criar primitivas diferentes?

Permitir que se crie outras primitivas usando aquela modulação. Tenho um cubo, posso criar um paralelepípedo, que seria a união de dois cubos. Talvez a partir do próprio programa, o cara criou o objeto, e isso aqui é uma nova primitiva. É a ideia de criar o que a gente chama no AutoCAD de blocos, que é um pré-pronto que tu simplesmente vai replicando no teu

modelo. Aí a gente pode sair da caixa. Essas novas primitivas o cara pode compartilhar de alguma forma online.

Mais diretamente relacionado com a parte de ensino das vistas ortogonais, qual seria a funcionalidade mais direcionada para isto que tu achas que precisa acrescentar ou modificar?

Talvez apresentar a é pura, o resultado, que seria o que sairia no papel. Planificar os três planos e mostrar em é pura. Como tem as animações, poderia mostrar os planos se planificando. Mas não primordial. As animações de câmera já pagam o produto.

APÊNDICE G – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 3

Qual a sua formação e principal área de atuação?

Sou formado em arquitetura, mestrado em Design e atuo em computação gráfica no curso de design.

Há quanto tempo trabalha com GD?

O primeiro contato foi na graduação, mas eu trabalho como professor há mais de oito anos.

Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de GD? Por quê?

Sim. É totalmente necessária porque a GD lida com a representação bidimensional de coisas em 3d, então tu tem que imaginar o que está sendo mostrado ali. Ela é uma ferramenta para justamente desenvolver essa percepção.

As vistas ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em GD. Os aprendizes demonstram dificuldades no entendimento destes novos conceitos?

Apresentam dificuldades, especialmente porque eles não têm treinamento visual acadêmico. A gente tem uma noção do espaço 3d, mas nunca pensa sobre isso e quanto tu transforma isso em uma linguagem bidimensional, no qual tu vai relacionar uma vista frontal com a vista superior e isso representa um objeto tridimensional, isso é uma coisa nova para a maioria deles. Parece que quem estuda no colégio militar já tem uma noção de geometria descritiva, mas todos os outros, isso foi tirado do currículo, então é a primeira vez que se pensa sobre isso. Ou cursos técnicos de forma geral também.

Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de GD?

Sim, totalmente. Podem auxiliar porque tu consegue visualizar uma coisa tridimensional em uma tela, então tu tens diversos recursos gráficos, a partir da computação gráfica, que podem te ajudar. Coisas que tu não consegue mostrar no papel, no desenho, a não ser com o auxílio de maquetes físicas tridimensionais. Essa manipulação virtual, além de já ser uma coisa intuitiva para essa geração digital que tem agora, facilita muito esta transposição do 2d para o 3d.

Ou seja, considerando o novo perfil de egressos que entra agora, este tipo de ferramenta digital tecnológica se torna mais adequada?

Torna mais adequado porque eles já têm uma vivência em jogos, então isso já é uma coisa natural para eles. É uma maneira até de tu trazeres, de tu aproximar esse mundo da GD deles, usando essa transição, uma ferramenta computacional. Desperta o interesse deles.

Apresentação de Protótipo. Comentários.

Esta vista aqui não favorece. Parece que é um triângulo chapado. Não está mostrando que são três vértices. Talvez se tivesse as linhas tracejadas.

A partir da análise e uso do protótipo apresentado quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas vistas ortográficas? O que contribui para melhorar o entendimento das vistas ortogonais?

O fato de tu ter o objeto 3d e as vistas alinhadas aqui, facilita bastante. Já é um bom início para este processo.

Em sua opinião, quais os problemas que podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para o apoio ao ensino de vistas ortográficas?

Esse entendimento. Quando o aluno olha uma vista 2d separadamente, tendo uma relacionada com a outra, é muito difícil imaginar o objeto 3d. Então tu ter as vistas juntamente com o objeto, facilita muito essa transposição do que está mais a frente, do que está atrás, porque ficou tracejado, do que é em vista. Justamente, porque tu estás olhando para o próprio objeto. Tem os dois mundos ao mesmo tempo.

O protótipo apresentado pode contribuir no aprendizado de vistas ortográficas? Por quê?

Pode. Sem dúvida. Justamente por isso, porque faz essa relação. A maior dificuldade da GD é tu fazer a transposição do 2d para o 3d e vice versa e quanto tu tem os dois ao mesmo tempo, essa transposição fica mais fácil, porque se consegue relacionar o 3d e o 2d. Então se tu tens como mostrar isso para o aluno, o que ele está representando, torna muito melhor.

Em sua opinião, deve-se realizar alguma melhoria ou acréscimo de funcionalidade no protótipo?

Eu acho que sim. Por exemplo, isso de girar com o botão da esquerda, me pareceu estranho porque todos os *softwares* de 3d usam ou o botão do meio ou o da direita para fazer essa rotação, porque normalmente o da esquerda tu seleciona alguma coisa, quanto tu quer interagir tu usa o botão da esquerda e o da direita é mais essas funções de visualização transparente ou do meio talvez. Assim como tem o zoom aqui no do meio, poderia clicar com o do meio e girar. Então deixa o botão do meio para visualizar. Quando a gente ta inserindo aqui alguma coisa esse painel de mais e menos não é usual nos programas. Eu por exemplo tentei clicar no eixo aqui para arrastar ele e aí ele faz uma rotação.

Então seria mais interessante manter os eixos e permitir que fosse clicado para girar a primitiva?

Isso. Os programas 3d tem o gizmo, tem outros nomes para isso, tu clica no eixo e move nesse sentido, tu clica em alguma coisa e faz uma rotação ali. Esse mais e menos aqui, não está me dizendo que é rotação. Poderia estar pensando que vou mexer no eixo x pra lá e para cá. Mesmo que se use isso aqui, não está informando diretamente para o usuário o que esperar sobre ele. Alguém que tivesse mexendo aqui sem o acompanhamento do programador, não saberia o que significa, a não ser testando, mexendo para lá e para cá. Até fazendo assim, não dá uma noção de que está girando. Ele está mudando as faces e tu tens que estar mudando o resultado.

Então vale a pena investir em um gizmo que simbolizasse melhor a rotação?

Parece-me que sim. Até porque se tem a questão de *touch*, se clicar aqui e puxar para cá, clicar ali e puxar para lá, aí tu consegue só com a interação na tela fazer essa rotação. Se tu tivesses aqui um arco ou um plano, para transformar isso em alguma ferramenta de girar visual, que tu mexendo na ferramenta ou no próprio cubo, nessas primitivas, seria uma coisa interessante. Já que ele não vai ter o recurso de botão o tempo inteiro, ter a ferramenta na tela para fazer isso talvez seja melhor. Ou se for usar botões, que diga rotação com seta para um lado, seta para o outro. Mais e menos me pareceu que não facilita o entendimento

para quem não ta acompanhado para ajudar nisso. Poder desfazer. *Undo* e o *redo*, ou ter alguma coisa para tirar, assim como tem o adicionar a primitiva, remover a primitiva. Eu clico nela e ela some. Outra coisa seria criar regras para o encaixe dos sólidos. No caso seria não deixar as primitivas ficar unidas apenas por um vértice ou apenas uma aresta. Na medida em que vai girando a primitiva ele fica vermelho para indicar, olha essa daqui não funciona e assim ele vai estudar porque que não funciona. Não proibir o cara de fazer, mas mostrar que o que ele está fazendo está errado ou não vai funcionar. Tu pretendes fazer seleção de faces ou de arestas? Aí o cara seleciona essa aresta aqui, aparece lá, aparece aqui e ele consegue relacionar quem está com quem, o que aquela linha está representando. Seleciona lá, ou seleciona aqui e aparece lá vermelho. Quando ele clica aqui no botão, está faltando *feedback* para o usuário das ações que ele fez. Se não, ele clica, clica e clica e não mostra nada que ele ta usando essa ferramenta. Ela não fica nem presa para baixo, selecionada, não tem nenhuma mudança onde ele ta passando o cursor ou se ele clicar não muda nenhum estado. Ele acrescenta ali a primitiva, mas ele não diz. Está faltando *feedback* para o usuário saber o que ele está fazendo. Mas fora isso excelente. Vai ser uma ferramenta muito boa, especialmente por ser via internet, ou pode ser instalada, uma app instalada, não requer muito recurso.

APÊNDICE H – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 4

Qual a sua formação e principal área de atuação?

Sou engenheiro com mestrado em engenharia e doutorado em engenharia. Sou professor de GD do curso de Design.

Há quanto tempo trabalha com GD?

Há mais de vinte e quatro anos.

Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de GD? Por quê?

É. Com certeza é. Mas ela também é desenvolvida com o aprendizado da GD. É importante porque a visão espacial é um dos principais elementos da GD. Mas além de ser necessária, ela também é o resultado do processo. Tu tens uma melhor percepção dos elementos no espaço. Então esse sistema de dupla projeção, o fato de tu enxergar o objeto e imaginar ele em dupla projeção e também ver as duplas projeções e imaginar ele em 3d, é o processo que vai sendo evoluído ao longo da disciplina.

As vistas ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em GD. Os aprendizes demonstram dificuldades no entendimento destes novos conceitos? Como?

É difícil convencer os alunos que aquilo são duas representações de um mesmo objeto. Às vezes eles acham que são dois desenhos, não relacionando uma coisa com a outra.

Então uma das principais dificuldades seria a relação dos desenhos bidimensionais com o objeto tridimensional propriamente dito?

É. E tu entender que tudo aquilo é uma coisa só. São vistas de um mesmo objeto. Montar essa imagem única na cabeça é que é o problema.

Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de GD?

Sim. A questão da visualização é importante e as ferramentas computacionais podem auxiliar muito nesse processo de visualização.

Apresentação de Protótipo. Comentários.

Eu demorei para ver que ao clicar aqui, eu deveria clicar ali. Porque isso não tem em lugar nenhum. Tu tens que ir testando. Eu achei que era para ser arrastado e aí quando tu arrastas ele passa para o comando de visualização. Eu demorei no início e foi por acaso quando eu cliquei sem querer aqui e ele aparecer lá. Eu acho que está faltando um caminho para dizer ao usuário, clique no elemento depois clique na peça, alguma coisa assim. No momento que tu passar o mouse aqui, abre uma mensagem, para não ter a necessidade. Deveria poder girar com o mouse. Poderia clicar no eixo que tu quer girar em volta e aí ele gira em tempo real. Fica mais amigável e mais intuitivo. Outra seria poder eliminar, remover uma primitiva. No joguinho manual, analógico, eu estou restringindo inclusive que só pode entrar face com face igual. Eu achei interessante porque tu gera peças mais convexas. Porque no momento que tu permite colocar uma face triangular em uma face quadrada, fica uma coisa estranha. Isso gera sólidos mais convexas, fica sem essas reentrâncias. O que eu mais senti falta foi dessa interação na hora de inserir a primitiva. Tem que ter uma interação para o usuário. Melhorar o *feedback* da interface. Poderia-se colocar *Antialiasing*?

O usuário se sente tratado com mais carinho. O que me achou a atenção foi isso. Ter mais *feedback* na hora de inserir as peças, a interface do giro e o *antialiasing*. Uma coisa que eu não gosto muito, como está sempre na perspectiva, é esse grau de distorção. Não tem como mudar ele, afastar um pouco mais a câmera ou reduzir um pouco mais a distorção da perspectiva. Eu nunca consigo enxergar os planos inteiros. Enxergar mais de longe. Seria muito interessante montar aqui e salvar para utilizar em outros *softwares*.

A partir da análise e uso do protótipo apresentado quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas vistas ortográficas? O que contribui para melhorar o entendimento das vistas ortogonais?

Acho que está faltando evidenciar como as vistas ortográficas estão sendo geradas. Poderia ter uma animação, uma setinha projetando, gerando os pontos em direção ao plano. Tu clicas na imagem do plano e ele mostra uma seta vindo daqui e as linhas vindo para cá, saindo de todos os vértices e projetando. Só as projetantes mesmo. Poderia ser com uma animação mesmo, só para mostrar que está vindo daqui. Põe a setinha aqui e projeta lá. Poderia ter um botão em cada plano, quando clica no plano ele mostra. Clicou no plano em qualquer região dele, ele faz isso. Acho que isso seria bom, seria um elemento visual para o entendimento do conceito de projeção ortogonal.

Em sua opinião, quais os problemas que podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para o apoio ao ensino de vistas ortográficas?

Justamente esta relação entre as imagens projetadas e o objeto 3d. Estabelecer realmente este vínculo, que é o que a ferramenta está fazendo. Seria de grande ajuda para o início da disciplina.

O protótipo apresentado pode contribuir no aprendizado de vistas ortográficas? Por quê?

Eu acho que sim. Principalmente implementando as melhorias sugeridas. Se mostrar essa questão de como as vistas são geradas. Isso é fundamental. Outra coisa que eu acho importante é mostrar porque que aqui é invisível. Mostrar de alguma maneira a questão da visibilidade. Por que aquela linha é visível e a outra é invisível? Daria para fazer da mesma forma que a gente faz em aula, relacionando uma vista com a outra. Aquela linha tracejada, por que ela é tracejada? Porque se tu observar daqui, tu vai ver que tem essa face que está na frente. Então se tu ligar uma linha partindo lá daquele ponto, e pegar na linha aqui e na face, vai ver que o cara olhando daqui, enxerga primeiro a face e não a linha. Poderia ser a projetante com uma seta mesmo. Traça uma projetando que vai até a face e tu mostras, aqui está na face e aqui está na aresta e o observador está olhando daqui. Na prática a gente faz isso, testa aqui, só que tu comparas na vista. Tu vê aquela aresta ali, que estaria acumulada aqui e tu ve que aqui atrás esta face está na frente daquilo ali. Como se o observador estivesse aqui para ver aquilo lá. Teria que ver uma maneira de mostrar porque isso é importante e é fundamental para entender. Pode ser interessante tu ter uma ferramenta para demonstrar isso. Se tivesse como selecionar a aresta, na primitiva ou no plano de projeção, e ele desenha a seta mostrando onde bate com as faces.

APÊNDICE I – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 5

Qual a sua formação e principal área de atuação?

Sou arquiteto e tenho mestrado e doutorado em engenharia. Trabalho atualmente no desenvolvimento de produto.

Há quanto tempo trabalha com GD?

Há mais de dez anos.

Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de GD? Por quê?

Sim. Porque é o primeiro contato, o primeiro sentido, digamos assim, mais exigido.

As vistas ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em GD. Os aprendizes demonstram dificuldades no entendimento destes novos conceitos? Como?

Sim. Uma dificuldade de entender, de leitura, digamos assim. Porque é diferente, a gente não está acostumada com esse tipo de representação. A não ser que tenha visto isto anteriormente na escola. A dificuldade está em relacionar aquelas representações com o objeto real. É tu transformar o 3d no 2d e o 2d no 3d.

Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de GD?

Podem. Hoje a gente utiliza o Software A, mas às vezes não é suficiente. Não acho que seja só isso a chave do sucesso.

Teria que focar mais no problema de aprendizado específico?

É. Às vezes tu pega um esquadro representando um plano, coloca outro esquadro paralelo a ele e indica onde está o observador e a coisa vai muito mais do que tu ficar vendo muita linha em um programa, que tu não vai entender muito bem, que a projeção do projetor da sala de aula, não tem uma qualidade tão boa. Então temos uma dificuldade muito grande nisso. A tecnologia que a gente utiliza é muito ruim.

Apresentação de Protótipo. Comentários.

Seria interessante colocar os nomes dos eixos x, y, z, porque a gente vai girando. Acho que vai ser muito útil. Eles trabalham com os bloquinhos. Essas cores me incomodam um pouco.

A partir da análise e uso do protótipo apresentado quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas vistas ortográficas? O que contribui para melhorar o entendimento das vistas ortogonais? O que do protótipo contribui para o aprendizado de vista ortográfica?

Conseguir ter uma ideia do todo. O fato de poder manipular o objeto e perceber a questão da visibilidade que é a maior dificuldade deles.

Ser em tempo real o feedback da ferramenta, também contribui?

Sim.

Em sua opinião, quais os problemas que podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para o apoio ao ensino de vistas ortográficas?

No entendimento da transposição do 3d para o 2d.

Pode contribuir para o aprendizado nesta parte abstrata?

Exatamente isso. Ajuda na questão da abstração, que é uma dificuldade.

Em sua opinião, deve-se realizar alguma melhoria ou acréscimo de funcionalidade no protótipo?

Acho que está ok. Apenas a nomenclatura dos eixos. As cores. Deixar mais neutras. As cores dos planos chamam muito atenção para o contexto e eu acho que este não é o objetivo. Eu colocaria o verde e o azul em primeiro plano, porque o laranja é uma vista auxiliar e a gente pode colocar esta vista auxiliar em vários lugares. A gente já tenta chamar atenção para esse sistema inicial, o plano frontal e superior, que é o diedro principal. Poderia gerar impressões da geometria criada. Gerar um *print* da tela, salvar um jpg.

APÊNDICE J – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 6

Qual a sua formação e principal área de atuação?

Sou engenheiro. Mestrado e doutorado em engenharia.

Há quanto tempo trabalha com GD?

Como professor há mais de oito anos.

Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de GD? Por quê?

Sim, é. Mas ela vai sendo construída durante o processo.

As vistas ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em GD. Os aprendizes demonstram dificuldades no entendimento destes novos conceitos? Como?

Demonstram. Falta em perceber que aquelas projeções ali, bidimensionais, representam o tridimensional e vice versa. E o grau de percepção deles é distinto e eu acho que isso é da natureza da pessoa ou de algumas experiências passadas. A gente percebe que alguns têm mais facilidade que outros nitidamente.

Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de GD?

Sim, claro. Justamente através da visualização. A visualização muitas vezes, faz com que o conceito seja esclarecido, através às vezes de um desenho mais simples do que a própria animação se resolve e outras vezes não. Outras vezes com o objeto no espaço mesmo, torna mais fácil que um desenho. Isto tudo depende da situação e da complexidade daquilo que se está representando.

Apresentação de Protótipo. Comentários.

As animações das projeções são muito boas. Para muitos, isso aqui vai ajudar que a ficha caia.

A partir da análise e uso do protótipo apresentado quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas vistas ortográficas? O que contribui para melhorar o entendimento das vistas ortogonais? O que do protótipo apresentado vai contribuir para o aprendizado de vistas ortográficas?

Diretamente, nessa identificação da interpretação do que está sendo visto em um plano de projeção em relação ao objeto. Além de auxiliar no entendimento da visibilidade. Isto também ficou bom. Ou seja, demonstrar porque que aquela projeção ali, no plano frontal, por exemplo, é tracejada. Fica fácil de identificar com o objeto tridimensional este conceito.

Em sua opinião, quais os problemas que podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para o apoio ao ensino de vistas ortográficas?

Basicamente nessa fase inicial, é no entendimento do sistema projetivo. De fazer a união do conceito de que esse é o sistema projetivo utilizado e que conforme o observador se desloca no espaço, ele enxerga aquilo nesse momento. E em um segundo momento, passa primeiro pelo entendimento da construção, que também ajuda bastante a desenvolver esse posicionamento e essa possibilidade de trabalhar com as primitivas, de fazer a composição.

O protótipo apresentado pode contribuir no aprendizado de vistas ortográficas?

Sem dúvida.

Em sua opinião, deve-se realizar alguma melhoria ou acréscimo de funcionalidade no protótipo?

Sim. Uma coisa que eu acho interessante, é que tenha uma linha de comunicação do programa com o usuário, tipo clicou no botão aqui, dizer que o próximo passo é clicar ali para adicionar. Só para a primeira vez. Outra coisa que eu acho que pode ajudar, seria bom escolher isso ou não, porque em muitas vezes atrapalha, linhas fininhas de chamada, as projetantes, comunicando que este vértice é aquele lá. Isso eu acho que é uma boa. Só tem que cuidar para que não polua e estrague o que está bom. Então uma possibilidade de ligar e desligar. As animações de projeção estão excelentes, a velocidade. Um outra coisa para o futuro, que seria interessante, é que a gente insiste que o sistema é diedro e não triedro, sempre com dois planos, duas projeções, a frontal e a horizontal. Esse aqui fica como um coringa, um plano auxiliar qualquer, e eu acho que ele está tendo importância equivalente a estes. Acho legal em um primeiro momento ele aparecer, mas voltando sempre para esse aspecto. Mantém ele ali, só deixa ele mais discreto, e uma possibilidade de ter duas projeções, as principais, horizontal e frontal na mesma vista, como se fosse a épura. Só as duas, sem a auxiliar. A auxiliar a gente tem tratado cada vez mais como um genérico que eu coloco na melhor posição, na posição mais conveniente, conforme aquilo que eu quero. Se não fica sempre amarrada aquela vista lateral, que às vezes não está informando nada de útil. Eu acho que para o teu objetivo, que é facilitar essa primeira abordagem de percepção, excelente. Depois quando a gente falar em GD sobre a parte de estudos das projeções, um outro botão que mostra as duas alinhadas, com as linhas de chamada, é um adicional que vai ser importante. Este é outro conceito que às vezes eles têm dificuldade, de não respeitar um alinhamento ou de não entender porque tem que estar alinhado. De novo, as projeções das projetantes.

APÊNDICE K – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 7

Qual a sua formação e principal área de atuação?

Sou graduado em Engenharia, mestrado e doutorado em Engenharia. Sou professor de Geometria Descritiva.

Há quanto tempo trabalha com GD?

Como professor há mais de vinte e três anos.

Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de GD? Por quê?

Seria que o pessoal tivesse essa habilidade visual. Ficaria mais fácil para ter o entendimento. A grande questão do entendimento da percepção visual, é que eles nunca viram nada semelhante a isso até chegar à universidade. Então eles não tem nenhum tipo de preparação, nem a parte de 2d, que é a parte de desenho geométrico 2d, aquela simples, eles tiveram. Basicamente não tem. Então quando se fala na questão de visualização tridimensional para eles, é um assunto totalmente novo. E quando tu falas em projeção a partir daquilo ali, num sistema projetivo, é uma nova forma de linguagem para eles e de entender o sistema.

As vistas ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em GD. Os aprendizes demonstram dificuldades no entendimento destes novos conceitos? Como?

Normalmente eles não demonstram dificuldade no entendimento porque eles não sabem como representar aquilo. Tem uma piada que o pessoal fala, que o aluno lá pela sexta aula ele dizia que entendia tudo que o professor falava, só não entendia porque que ia representar uma reta e representava duas. Porque eles não estavam entendendo a questão das projeções. Trabalhar com duas projeções para representar aquilo ali, a gente fala normalmente aqui na UFRGS, em uma aula durante 15 minutos. Depois aquilo, é como se ele tivesse entendido. Se a pessoa nunca viu aquilo, não captou a mensagem naquilo ali, ela vai continuar com aquela dúvida pairando durante todo o tempo. Então a questão da representação, da perspectiva, o que falta mesmo é dizer é que as duas projeções que estão ali, elas representam aquilo que está no espaço, é uma forma de representar. Como a gente não pode representar no espaço, a gente representa no plano por duas projeções, para se entender o que está no espaço. É uma tradução, é uma forma de representar alguma coisa que não é aquilo ali, porque ele está em um outro lugar.

Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de GD?

Principalmente na parte da concretização do processo. A parte da concretização é fundamental porque isso aí é muito abstrato. Então quanto tu usa uma ferramenta desta, antigamente se usava muito a questão dos modelos tridimensionais. Tu tinhas um modelinho, se tu olhas lá no livro do Monge mesmo, que tem no livro do Montenegro, ele falava dos museus. O museu nada mais é do que um monte de coisa concreta. Então eles iam lá e entendiam que o que eles estavam representando era uma coisa que era aquilo ali. Quando houve a vinda para o Brasil, da família real em 1808, eles trouxeram a academia para cá e trouxeram a GD nessa academia. Só que eles nunca tinham trabalhado com aquilo e os caras não sabiam o que tinha lá, não se ensinava aquilo em Portugal. Só foi-se

ensinar no Brasil. Então quem foi dar aula disso no Brasil, nunca tinha visto sobre Geometria Descritiva. Começou-se a dar Geometria sem essa parte concreta e isso causou um trauma naquele professor até hoje.

No trabalho do Monge que eles utilizavam o estudo de estereotomia.

Exatamente, o corte de pedras que eles utilizavam para as fortificações. A questão da parte tecnológica é mais no sentido de visualização, de tentar concretizar em termos visuais, aquela do real e virtual, é uma coisa que está lá, mas que te ajuda a entender mais ou menos como que funciona. Isso é interessante para a GD. É por isso que nosso grupo trabalha há muito tempo na questão da concretização.

A partir da análise e uso do protótipo apresentado quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas vistas ortográficas? O que contribui para melhorar o entendimento das vistas ortogonais? O que do protótipo apresentado vai contribuir para o aprendizado de vistas ortográficas?

Principalmente a relação entre o objeto tridimensional e suas vistas. Uma coisa que estaria faltando, seria fazer uma relação direta entre o objeto tridimensional e suas projeções, através das linhas projetantes. Isso gera essa ligação. Objeto tridimensional, projetantes e as projeções. Mas ele consegue de uma forma ainda incipiente, mas acho que ele consegue ainda resolver isso aí, é trabalhar a questão de, olha quando eu to trabalhando isso aqui, isso ali representa aqueles elementos. Essa é a grande vantagem desse sistema. Tu consegue verificar e ver as vistas, projeção frontal, projeção lateral e a projeção superior, aquele elemento sendo projetado. Este é o ponto interessante. Outra coisa que seria interessante, quando está projetando na vista superior ou na vista frontal, tu tem isso aqui, ele fica branco no final.

Em sua opinião, quais os problemas que podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para o apoio ao ensino de vistas ortográficas?

Tentar explicar ou esclarecer para o aluno como funciona esse processo de transposição do tridimensional para o bidimensional. Essa é a grande vantagem, ou seja, aquilo que a gente fala em 5, 10 minutos, acho que não dá isso, mostrar como funciona isso aí em termos de representação do processo. Porque a gente fala o processo, mostra o resultado, até se explica mais ou menos o que é feito, mas aquilo lá depois nunca mais retorna e é fundamental para o entendimento total da disciplina. Então se o cara não pegou naquele momento ali já é horrível.

O protótipo apresentado pode contribuir no aprendizado de vistas ortográficas? Por quê?

Sim. Auxilia a visualização do processo.

Em sua opinião, deve-se realizar alguma melhoria ou acréscimo de funcionalidade no protótipo?

A mais gritante de todas é fazer a ligação do objeto tridimensional e as vistas através das projetantes, isso auxilia muito. E não precisa falar da planificação, acho que não vem ao caso. Quando se gira, tem-se o ângulo de rotação e inclinação. Acho que tinha que alterar as cores para mostrar a relação quando se mexe aquilo ali. Como é tudo branco, preto e cinza, não chama atenção. Trocar as cores dos textos de rotação. E seria interessante fazer uma associação das cores com os eixos. Aí se faz uma associação do que está ali e o ângulo.

APÊNDICE L – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA ESPECIALISTA 8

Qual a sua formação e principal área de atuação?

Minha formação é em Engenharia e principal área de atuação é docência e pesquisa nas áreas de design, mestrado e doutorado em Engenharia. E a docência também de ensino na área de engenharia com relação às disciplinas de expressão gráfica.

Há quanto tempo trabalha com GD?

Mais de vinte anos.

Em sua opinião, a percepção visual é uma habilidade necessária para o entendimento de GD? Por quê?

Sim. Percepção visual é porque a partir dela o aluno tem entendimento de todos os elementos, todos os objetos que são tridimensionais e a forma como ele poderá trabalhar isso no projeto para resolver problemas relacionados a forma, posição, grandezas e que de certa forma são atribuições relacionadas a formação das áreas que trabalham com projeto como o design, engenharia e arquitetura. Então é um conhecimento necessário a todos os profissionais que de alguma maneira necessitam fazer aquela relação de um objeto que físico, que é tridimensional com a representação desse objeto em uma forma bidimensional. Então essa percepção visual, ele precisa saber e fazer a transposição de uma forma coerente, se não pode haver equívocos que comprometem a solução.

As vistas ortográficas apresentam-se como uma nova linguagem visual para o iniciante em GD. Os aprendizes demonstram dificuldades no entendimento destes novos conceitos? Como?

Os aprendizes que de alguma maneira não tiveram uma base anterior, eles vão demonstrar dificuldade. Mas algumas pessoas fizeram um curso técnico de desenho, por exemplo, aí eles já tiveram um pouquinho de conhecimento sobre isso e a gente já percebe que eles têm um pouco mais de facilidade. Então o aluno que é um iniciante, em um curso de engenharia, arquitetura ou design, eles não tiveram ainda um contato com esse tipo de representação gráfica, eles vão ter uma certa dificuldade de fazer as relações porque eles enxergam imagens e não sabem a conexão que tem uma imagem com a outra. Eles enxergam as imagens, mas eles não têm a relação entre as projeções para formar o objeto. Então a dificuldade que eles têm é de partir do bidimensional para o tridimensional e ao mesmo tempo trabalhar com o tridimensional e representar coerentemente esse tridimensional para fins de projeto em, digamos assim, em uma representação que seja convencional, porque as vistas ortográficas têm convenções que seguem. Tem ainda a representação que é considerada, por exemplo, a relação com o diedro de representação, que é o primeiro diedro, como que estas vistas estão disponibilizadas e que leitura ele vai fazer para a sua interpretação. Ele tem dificuldade com tudo isso.

Em sua opinião, a utilização de ferramentas tecnológicas pode auxiliar no processo de aprendizagem dos conceitos de GD?

Sim, muito.

A partir da análise e uso do protótipo apresentado quais funcionalidades seriam mais pertinentes para o conceito da transposição do objeto tridimensional em suas vistas

ortográficas? O que contribui para melhorar o entendimento das vistas ortogonais? O que do protótipo apresentado vai contribuir para o aprendizado de vistas ortográficas?

A possibilidade de construir no tridimensional e ver quais consequências esse tridimensional, digamos, acarreta em mudanças aqui nas vistas, ou que vistas surgem em decorrência do tridimensional que foi criado. É exatamente essa conexão. A conexão dos dois contextos. Essa do tridimensional para o bidimensional. Eu não vou partir aqui de tu me entregar uma planta, uma prancha de projeto, onde eu tenho a representação bidimensional e não conheço o bidimensional e a partir daquela leitura eu conceber o tridimensional. Aqui é o contrário. A transposição do tridimensional para o bidimensional, mas assim, permite o entendimento de que aquelas vistas ortográficas no seu conjunto consolidam o tridimensional. Então assim, mesmo que tu não vás omitir essa e partir das vistas para cá, eu começo a entender que a união disso tem a conexão com esse tridimensional. Essa operação inversa, indiretamente, também é proporcionada, apesar de ainda estar presente ali o objeto. Eu não omiti ele para o aluno tentar imaginar e depois chegar lá, quero dizer assim, eu clico aqui e verifico se é realmente o que eu pensei. Eu não tenho essa possibilidade aqui, mas indiretamente sim. Porque como eu tenho a presença das três eu consigo nessa, digamos, leitura e interpretação das três juntas verificar o retorno tridimensional. Mas na operação em si ela parte da construção que eu faço no tridimensional a leitura que tem em consequência as vistas. Ou seja, o bidimensional foi omitido.

Em sua opinião, quais os problemas que podem ser resolvidos a partir do uso de uma ferramenta tecnológica para o apoio ao ensino de vistas ortográficas?

Os problemas de representação. Aqui eu consigo fazer, por exemplo, capacitar o aluno a fazer a representação correta de objetos tridimensionais em suas vistas ortográficas e também consigo, por exemplo, habilitar ele a fazer leituras de vistas ortográficas e conceber o tridimensional. É isso que eu digo, ele permite as duas leituras. Então isso sim. Agora eu não tenho a possibilidade de fazer outras transformações, por exemplo, de corte, interseção, essas situações que a gente usa muito em GD, eu não consigo fazer. Então ela tá na parte inicial da GD, onde o aluno começa a aprender essas formas de representação e entender isso, naquela fase mais inicial. E depois assim, é sempre um suporte para criação, porque ele tá permitindo ali explorar formas primitivas e elaborar um objeto mais complexo e ver quais vistas resulta disso. Torna mais dinâmico do que fazer várias perspectivas, digamos assim, com instrumentos convencionais, reproduzir as vistas, modificar, reduzir, o próprio girar é mais dinâmico, é mais interativo e envolve mais o aluno, então tem esse ponto mais qualitativo também. Tem aquilo que relacionado diretamente com a GD e tem a parte mais indireta, para motivar o aluno.

Uma linguagem mais próxima da que eles usam, computador, jogos digitais. Vai ser mais rápido de pegar.

Eles gostam mais. Este aqui desta maneira já está contribuindo com a parte inicial, das projeções, onde tem mais dificuldade para os alunos. E outra que a gente consegue ver a relação que tem uma projeção com a outra. Por exemplo, isso aqui é tudo tridimensional mas eu não tenho essa representação aqui em épura, porque a épura é a planificação desse sistema. Eu não tenho isso. Eu não consigo ver, por exemplo assim, que quando esse sistema é aberto aqui esse plano gira para lá e esse plano gira para baixo e este plano fica a vista, o superior dele vai ficar abaixo e esse eixo que a gente chama de linha terra e a vista frontal dele vai ficar acima e a lateral a direita da frontal, é a representação de épura. Ele enxerga as vistas como ficam mas ele não está estabelecendo a partir daqui como que isso se relaciona na épura. Ele está vendo esse aqui ali, mas na épura este ponto vai ter

uma linha de chamada perpendicular a esse eixo, que sai uma linha de chamada perpendicular para esse outro eixo, conectando elas, ou seja, o alinhamento. Isto por incrível que pareça, é outro problema que os alunos têm e que talvez tenha que evitar a partir deste programa. Ele vai ver as vistas e ele vai entender, de repente a partir disso, é claro que essa ferramenta nunca pode ser usada sozinha, ela vai ter que ainda ter alguma explicação em aula, que vai carecer exatamente isso, de mostrar as vistas estão alinhadas por linhas de chamada, que estes eixos vão ficar perpendiculares entre si na representação da épura. A falta do alinhamento vai desconectar a representação do tridimensional, porque tu não sabes qual ponto está conectado, em projeção onde está representado. Para este tipo de representação, se largar as vistas ortográficas de qualquer maneira em uma folha, por mais que elas estejam desenhadas corretamente, mas se elas não estiverem dentro de um sistema convencional, no primeiro diedro, ele não vai representar o tridimensional.

O protótipo apresentado pode contribuir no aprendizado de vistas ortográficas?

Sim.

Em sua opinião, deve-se realizar alguma melhoria ou acréscimo de funcionalidade no protótipo?

Salvar o modelo criado para continuar depois. Possibilidade de remover uma primitiva adicionada. Informar que precisa confirmar para adicionar a primitiva. A imagem da última primitiva deve ser alterada, pois não parece um bloco tridimensional. Evidenciar câmera perspectiva e ortogonal, mostrando a atual. A interface de rotação de primitivas não deveria sobrepor as primitivas. Colocar os nomes nos eixos além das cores.