

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS GABRIEL TEIXEIRA FEITOSA

**USO DA REALIDADE AUMENTADA COMO FERRAMENTA DIDÁTICA DE
ENSINO DE ESTRUTURAS: ESTUDO NA DISCIPLINA ISOSTÁTICA**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2020

LUCAS GABRIEL TEIXEIRA FEITOSA

**USO DA REALIDADE AUMENTADA COMO FERRAMENTA DIDÁTICA DE
ENSINO DE ESTRUTURAS: ESTUDO NA DISCIPLINA ISOSTÁTICA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Me. Rodolfo Santos da Conceição

ARACAJU

2020



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 – Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 – Aracaju/SE
Fone: (79) 3711 1400 – E-mail: reitoria@ifs.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

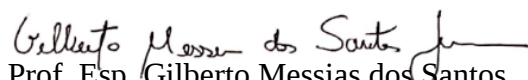
TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 170

**USO DA REALIDADE AUMENTADA COMO FERRAMENTA DE ENSINO:
ESTUDO DE CASO NA DISCIPLINA ISOSTÁTICA.**

LUCAS GABRIEL TEIXEIRA FEITOSA

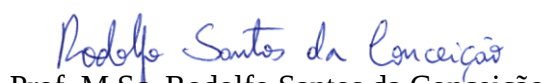
Esta monografia foi apresentada às 09h00 do dia 27 de novembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof. Esp. Gilberto Messias dos Santos
Júnior

(IFS - Campus Estância)


Prof. M.Sc. Adysson André Fortuna de
Souza

(IFS – Campus Estância)


Prof. M.Sc. Rodolfo Santos da Conceição
(IFS – Campus Aracaju)
Orientador


Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Feitosa, Lucas Gabriel Teixeira

F311u Uso da realidade aumentada como ferramenta didática de ensino de estruturas: estudo na disciplina Isostática. / Lucas Gabriel Teixeira Feitosa. - Aracaju, 2020.

56f. : il.

Orientador: Rodolfo Santos da Conceição.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2020.

1. Realidade aumentada. 2. *Software* Blender. 3. Engenharia Civil.
4. Arquitetura. 5. Estruturas. I. Conceição, Rodolfo Santos da. II. Título.

CDU 624.01(81)

AGRADECIMENTOS

Ao longo desse trabalho de conclusão de curso e da própria graduação recebi uma quantidade enorme de ajuda. Meus pais e meus irmãos acreditaram em meus sonhos e fizeram o possível pra tornar a minha vida o mais fácil possível para que eu pudesse me concentrar em meus estudos. Meus amigos, dos quais eu preciso citar Gilerme, Jonatas, Micaellen e André, me fizeram rir e tornaram as responsabilidades da universidade mais leves. Meus professores, Carlos Henrique e Márcílio Goivinho, e meu orientador Rodolfo Conceição, me motivaram e me desafiaram a transformar minhas ideias em realidade. Impossível não enxergar o cuidado que Deus tem demonstrado em minha vida e por isso sou eternamente grato.

RESUMO

FEITOSA, Lucas Gabriel Teixeira. **Uso da Realidade Aumentada como Ferramenta Didática de Ensino de Estruturas:** Estudo na Disciplina Isostática. 56 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2020.

É de fundamental importância que durante os cursos de Engenharia Civil e Arquitetura os estudantes desenvolvam a capacidade de entender o comportamento das estruturas. Entretanto, as disciplinas que abordam tais assuntos geralmente possuem um nível de desistência e reprovação relativamente alto quando comparadas às demais, o que atesta a dificuldade na obtenção da habilidade para compreender o comportamento das estruturas quando submetidas a diferentes naturezas e intensidades de carga. O presente trabalho teve como objetivo analisar o uso da tecnologia de realidade aumentada como ferramenta para auxiliar o ensino das disciplinas de cunho estrutural. Para isso, foram criados modelos tridimensionais no *software* Blender representando diferentes situações de carga em diferentes peças estruturais e, consequentemente, tais modelos foram inseridos em um aplicativo de Realidade Aumentada desenvolvido na plataforma Unity. O aplicativo desenvolvido foi utilizado em uma aula experimental da disciplina Isostática. A eficácia do mesmo foi avaliada por meio da aplicação de um questionário ao fim da aula experimental e os resultados obtidos corroboram com a hipótese de que o uso da Realidade Aumentada pode contribuir positivamente com o ensino das disciplinas de estruturas aos estudantes de graduação.

Palavras-chave: Realidade aumentada, Ensino, Engenharia civil, Arquitetura, Estruturas.

ABSTRACT

FEITOSA, Lucas Gabriel Teixeira. **Uso da Realidade Aumentada como Ferramenta Didática de Ensino de Estruturas:** Estudo na Disciplina Isostática. 56 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2020.

It is of fundamental importance that during Civil Engineering and Architecture courses students develop the ability to understand structural behaviors. However, the courses that address such subjects generally have a relatively high level of dropout and failure when compared to the others, which attests to the difficulty in obtaining the ability to understand the behavior of structures when subjected to different natures and load intensities. The present work aimed to analyze the use of augmented reality technology as a tool to assist the teaching of structural disciplines. For this, three-dimensional models were created in the Blender software to model different loading situations on different structural parts and, consequently, such models were inserted in an Augmented Reality application developed on the Unity platform. The developed application was used in an experimental Isostatic class. Its effectiveness was assessed by applying a questionnaire at the end of the experimental class and the results obtained corroborate the hypothesis that the use of Augmented Reality can positively contribute to the teaching of structural disciplines to undergraduate students.

Keywords: Augmented Reality, Teaching, Civil Engineering, Architecture, Structures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Respostas obtidas quanto às afirmações apresentadas	41
Gráfico 2 – Respostas sobre entendimento dos assuntos apresentados com realidade aumentada.....	43
Gráfico 3 – Respostas sobre entendimento dos esforços internos apresentados com realidade aumentada.....	44
Gráfico 4 – Respostas sobre entendimento da leitura das armaduras de uma viga em realidade aumentada.....	45
Figura 1 – Carro renderizado de maneira não realística	13
Figura 2 – Carro renderizado de maneira realística	14
Figura 3 – Sensorama	15
Figura 4 – Protótipo de realidade aumentada.....	15
Figura 5 – Aplicativo Amazon AR View	16
Figura 6 – Aplicativo Sephora AR	17
Figura 7 – Visualização do cérebro com Realidade Aumentada.....	17
Figura 8 – Realidade aumentada projetada através de um QR Code.....	20
Figura 9 – Pontos de interesse detectados automaticamente através de visão computacional	21
Figura 10 – Pokémon Go	21
Figura 11 – Relação entre evolução do conhecimento e recursos utilizados	23
Figura 12 – Viga Baldrame	27
Figura 13 – Armaduras Transversais	28
Figura 14 – Armaduras Transversais	28
Figura 15 – Ligação Metálica	29
Figura 16 – Tesoura	29
Figura 17 – Detalhamento de Tesoura	29
Figura 18 – Pórtico Plano	30
Figura 19 – Pórtico Espacial.....	30
Figura 20 – Detalhamento Armadura de Pilar e Sapata.....	31
Figura 21 – Elemento livre.....	31
Figura 22 – Elemento submetido à compressão	32
Figura 23 – Elemento submetido à tração	32
Figura 24 – Elemento submetido à flexão	33
Figura 25 – Elemento submetido à torção	33

Figura 26 – Viga contínua.....	34
Figura 27 – Viga Gerber	34
Figura 28 – Viga Contínua Carregada	34
Figura 29 – Viga Gerber Carregada.....	34
Figura 30 – Viga Hipostática.....	35
Figura 31 – Viga Hipostática após aplicação do carregamento	35
Figura 32 – Viga biapoiada sem carregamento	36
Figura 33 – Vínculo biapoiada com carregamento	36
Figura 34 – Viga engastada sem carregamento	36
Figura 35 – Viga engastada com carregamento.....	36
Figura 36 – Pórtico sem carregamento.....	37
Figura 37 – Pórtico Carregado	37
Figura 38 – Pórtico com perda acidental de travamentos	38
Figura 39 – Questão de traçado de diagrama	39
Figura 40 – Interface de usuário	39
Figura 41 – Sobreposição do diagrama de esforço cortante	39
Figura 42 – Sobreposição do diagrama de esforço normal	40
Figura 43 – Sobreposição do diagrama de momento fletor.....	40
 Fotografia 1 – Visualização da realidade aumentada em um tablet	 11
Fotografia 2 – Modelo em Realidade Aumentada para demonstração da flambagem	43
Fotografia 3 – Modelo em Realidade Aumentada para demonstração de esforços internos ...	44
Fotografia 4 – Modelo em Realidade Aumentada para armaduras de uma Viga Baldrame ...	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desempenho dos alunos na disciplina de Isostática – Campus Aracaju e Estância	11
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVOS.....	12
2	DESENVOLVIMENTO	13
2.1	REALIDADE AUMENTADA	13
2.1.1	Definição.....	13
2.1.2	Histórico	14
2.1.3	Aplicações.....	16
2.1.4	Realidade Aumentada e Realidade Virtual	17
2.1.5	Componentes	18
2.1.6	Rastreamento	19
2.1.7	Desafios	22
2.2	ENSINO DE ENGENHARIA E REALIDADE AUMENTADA	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
3.2	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	25
3.3	CRIAÇÃO DE CENÁRIOS	25
3.4	AULAS EXPERIMENTAIS.....	26
3.5	QUESTIONÁRIO AVALIATIVO	26
4	POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA COMO FERRAMENTA DE ENSINO	27
4.1	VISUALIZAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS.....	27
4.1.1	Detalhamento de armaduras.....	27
4.1.2	Visualização de estruturas diversas.....	28
4.2	ANIMAÇÕES DE DEFORMAÇÕES	31
4.2.1	Esforços internos solicitantes.....	31
4.2.2	Viga Contínua e Viga Gerber.....	33
4.2.3	Apoios de 1º e 2º gênero	35
4.2.4	Apoio de 3º gênero	36
4.2.5	Comprimento de flambagem.....	37
4.3	GABARITO DE QUESTÕES.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
6	CONCLUSÕES.....	46

1 INTRODUÇÃO

Profissionais das áreas da engenharia e arquitetura lidam rotineiramente com inúmeros desafios em seus respectivos campos de atuação. Por muitas vezes esses profissionais necessitam trabalhar com dados insuficientes para uma análise completa de determinado problema, tendo que se empenhar para atender todas às demandas de projeto, execução e sustentabilidade, sem tornar seus empreendimentos mais lentos e/ou caros, além de lidar com as diversas implicações legais de suas decisões.

O mercado de trabalho atual tem requerido um nível cada vez mais elevado desses profissionais ao passo que o processo de ensino-aprendizagem deles permanece, praticamente, estático. Como alertam Santos e Sábio (2016), a transferência de conhecimento entre professor e aluno sem a devida crítica e reflexão apontam para três consequências básicas: a aprendizagem do aluno não é alcançada de forma plena; levantam-se questionamentos a respeito da metodologia tradicional de ensino; e, com isso, surge a necessidade do desenvolvimento de novas metodologias de ensino.

A tecnologia aplicada no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem pode constituir um diferencial. Particularmente, esse entendimento ganha maior força ao se tratar das tecnologias que amplificam as capacidades intelectuais dos educandos, em especial, suas habilidades para adquirir, organizar, armazenar, analisar, relacionar, integrar, aplicar e transmitir informação (FORTE e KIRNER, 2009).

Dentre essas habilidades, a capacidade de entender de maneira tridimensional como as estruturas se comportam quando submetidas a diferentes tipos e intensidades de carregamento é fundamental para que os estudantes se tornem aptos a atuar nas áreas de cálculo e análise estrutural. No ensino de Engenharia e Arquitetura, os alunos são frequentemente treinados na análise de estruturas, como pontes, estradas ou prédios, de acordo com sua tipologia construtiva, materiais utilizados, dimensões, carregamentos aplicados e esforços internos solicitantes, através de imagens em duas dimensões, sejam elas vistas ou perspectivas. Na sala de aula, não raramente, tais assuntos são prejudgados como de difícil compreensão por parte dos estudantes.

Desta maneira, nos temas que exigem do aluno uma abstração mais refinada no tocante aos fenômenos apresentados pelo professor, o emprego de recursos mais sofisticados como ferramenta de ensino torna-se uma necessidade.

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que, através de um dispositivo de visualização, como um *smartphone*, permite que objetos sejam sobrepostos ao mundo real (fotografia 1), aprimorando a realidade com informações que o usuário não pode detectar com os próprios sentidos, aumentando sua percepção visual, agregando informações organizadas e associando o real com o virtual, em tempo real e em três dimensões (AZUMA, 1997; BROLL *et al.*, 2005).

Fotografia 1 – Visualização da realidade aumentada em um tablet



Fonte: (AUTOR, 2020)

É notável a dificuldade de boa parte dos alunos para o entendimento dos conceitos básicos sobre estruturas nos cursos técnicos e de graduação, sobretudo nas disciplinas iniciais, resultando em reprovações e desistências recorrentes. Como exemplo, apresenta-se na tabela 1 o percentual de alunos aprovados e repetentes (reprovações por média e/ou falta) na disciplina de Isostática do curso de Engenharia dos campi Aracaju e Estância do IFS ao longo de sete semestres. Destaca-se que em ambos os cursos mais de um professor ministrou a disciplina nos períodos indicados.

Tabela 1 – Desempenho dos alunos na disciplina de Isostática – Campus Aracaju e Estância

Período	Campus Aracaju		Campus Estância	
	Aprovações	Reprovações	Aprovações	Reprovações
2019/2	44,83%	55,17%	20,00%	80,00%
2019/1	65,79%	34,21%	58,82%	41,18%
2018/2	35,56%	64,44%	84,62%	15,38%
2018/1	65,85%	34,15%	48,15%	51,85%
2017/2	36,11%	63,89%	81,82%	18,18%
2017/1	62,96%	37,04%	72,41%	27,59%
2016/2	76,67%	23,33%	83,33%	16,67%

Fonte: (AUTOR, 2020)

O modelo didático utilizado em boa parte das disciplinas de estruturas consiste na apresentação sistemática dos conteúdos. O problema muitas vezes reside no fato de por não

conseguir visualizar a importância dos conteúdos apresentados em um panorama geral, os conceitos básicos apresentados nas primeiras disciplinas (como isostática) tornam-se incompreensíveis ou tediosos, causando desinteresse para alguns alunos. Ou ainda, tantos outros demonstram interesse e apesar da identificação com a área apresentam dificuldades na visualização do comportamento estrutural dos elementos.

Verifica-se que o uso de ferramentas didáticas complementares às aulas expositivas como modelos físicos, vídeos, contextualização com disciplinas anteriores e futuras, discussão de acidentes estruturais e entre outros experimentos em sala de aula, ajudam no entendimento dos novos conceitos, bem como suas aplicações e importância (FORTE e KIRNER, 2009).

O recente avanço da Realidade Aumentada e dos recursos tecnológicos cria a oportunidade de aperfeiçoar o ensino da engenharia e arquitetura através do desenvolvimento de ferramentas que possibilitem uma aprendizagem mais imersiva e mais próxima da realidade que será encontrada em campo (CHI *et al.*, 2013).

1.1 OBJETIVOS

Partindo da premissa de que a tecnologia de realidade aumentada ao ser usada como ferramenta auxiliar no processo educativo é um potencial diferencial para o aprendizado, o presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver um aplicativo de Realidade Aumentada com o intuito de colaborar com o processo de ensino-aprendizagem das disciplinas da área de estruturas dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura.

Apresentam-se como objetivos específicos a serem alcançados:

- Desenvolver um aplicativo de realidade aumentada;
- Modelar cenários virtuais compostos por elementos estruturais didáticos;
- Elaborar animações nos modelos tridimensionais criados de maneira que estes representem como a estrutura se comporta em diferentes condições e intensidade de carregamentos;
- Avaliar a eficiência do aplicativo através de questionário qualitativo após aula experimental realizada com os alunos da turma de Isostática.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REALIDADE AUMENTADA

2.1.1 Definição

Realidade Aumentada é uma experiência interativa que permite a expansão do mundo físico através de informações sensoriais artificialmente geradas. Essas informações podem ser de caráter visual, olfatório, auditório, tátil, etc (SCHUEFFEL, 2017).

Esse termo também é comumente utilizado para se referir à tecnologia que permite a inserção de objetos virtuais no mundo real e o alinhamento destes objetos com os reais de maneira tridimensional. Esse efeito é obtido através do uso de dispositivos tecnológicos (computadores, aparelhos celulares, *tablets*, óculos de realidade mista, etc) associados à utilização de *softwares* e aplicativos (KIRNER e TORI, 2004).

Como visto, diversos pesquisadores apresentam definições particulares da Realidade Aumentada. Entretanto, apesar das particularidades, todas as definições parecem ser englobadas pela definição proposta por Azuma (1997). Segundo o autor, a Realidade Aumentada deve envolver três propriedades fundamentais:

- Combinação entre o mundo real e o virtual;
- Interação em tempo real;
- Integração do real e do virtual (alinhamento de perspectiva, obstrução, brilho, etc...).

O alinhamento entre os objetos reais e virtuais permitem a criação da ilusão de que estes pertencem ao mesmo espaço (Ziegler, 2009). A figura 1 mostra como a simples inserção do objeto virtual ao mundo real sem a devida atenção às perspectivas, brilho e obstruções prejudicam a ilusão da combinação entre o mundo real e virtual.

Figura 1 – Carro renderizado de maneira não realística



Fonte: (Arnaldi *et al.*, 2018)

Na figura 2 as partes dos objetos virtuais situadas atrás dos objetos reais foram identificadas e excluídas. Além disso, a renderização de texturas e projeção de sombras ajuda o usuário a perceber o objeto na posição desejada.

Figura 2 – Carro renderizado de maneira realística



Fonte: (Arnaldi *et al.*, 2018)

Essa tecnologia é completamente dependente do poder de processamento em tempo real, portanto a sua evolução é fortemente influenciada pelos avanços no ramo computacional, tanto em termos de *hardware* quanto de *software* (KIRNER e KIRNER, 2011).

De acordo com Arnaldi *et al.* (2018), a expansão do mundo físico possibilitada pela Realidade Aumentada tem a finalidade de enriquecer a percepção e o conhecimento do ambiente real, adicionando informações digitais relativas a esse ambiente. Ao avaliar as recentes aplicações da tecnologia, é observável que essas informações digitais são geralmente apresentadas de maneira visual, às vezes auditiva e raramente tátil. Na maioria dos aplicativos de Realidade Aumentada, o usuário visualiza imagens sintéticas por meio de óculos de realidade mista, fones, projetores de vídeo ou mesmo por meio de celulares ou *tablets*.

Partindo de uma perspectiva social, a Realidade Aumentada é uma ferramenta que objetiva o aperfeiçoamento dos humanos em seus diversos campos de atuação e não a substituição dos mesmos por máquinas no mercado de trabalho (AZUMA, 1997). Conforme dito por Sutherland (1968) *apud* Albuquerque (1999), “Nós acreditamos que um dos mais fortes usos de mundos virtuais não é para substituir o mundo real e sim completar a visão do usuário, no mundo real”.

2.1.2 Histórico

De acordo com Ribeiro e Zorzal (2011), a primeira aparição da Realidade Aumentada aconteceu em meados de 1950 quando o cineasta Morton Heilig, determinado a criar uma experiência capaz de estimular os sentidos da sua audiência de uma maneira única, criou uma “maquina de realidade” a qual chamou Sensorama (Figura 3). Apesar da máquina não utilizar

computação digital e da pouca popularidade que conquistou entre o público, ela influenciou gerações de engenheiros fascinados pela visão do cineasta.

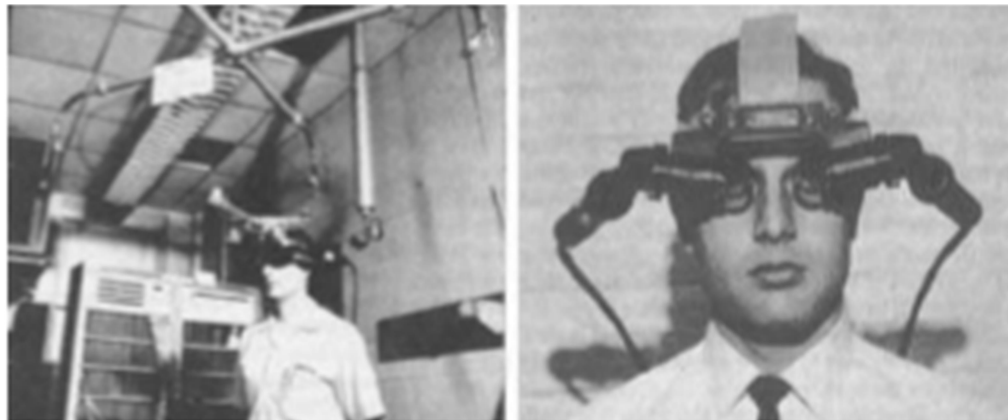
Figura 3 – Sensorama



Fonte: (ZÁBOVSKÁ e BUČKO, 2019)

Por volta de 1960, Ivan Sutherland, pioneiro da computação gráfica, criou o primeiro protótipo funcional dessa tecnologia (Figura 4). O aparato utilizava um visor transparente ligado a computadores e permitia ao usuário enxergar informações gráficas no mundo real (VAN KREVELEN e POELMAN, 2010).

Figura 4 – Protótipo de realidade aumentada



Fonte: (VAN KREVELEN e POELMAN, 2010)

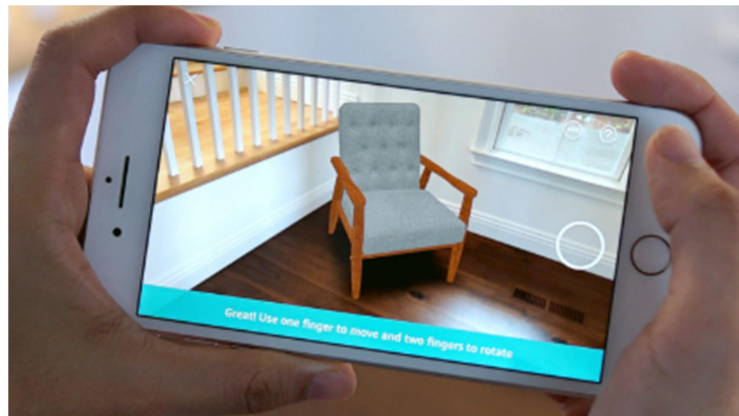
Entre 1960 e 1980, o surgimento da ciência da computação permitiu o início do desenvolvimento de todos os componentes fundamentais para a evolução da tecnologia. Grandes avanços eram necessários no ramo de criação e modelagem de objetos virtuais tridimensionais para a criação de cenários virtuais, nos algoritmos de renderização e nos estudos de interação da luz virtual com os objetos virtuais.

Somente nos anos 1990 a Realidade Aumentada realmente ganhou força, tornando-se um ramo distinto de pesquisa, o que promoveu a realização de diversas palestras, simpósios e *workshops* internacionais. A lenta maturação vista nessa área pode ser ligada às vastas demandas tecnológicas que envolvem visão computacional, localização simultânea, mapeamento, rastreamento de profundidade, algoritmos de renderização, entre outros (VAN KREVELEN e POELMAN, 2010).

2.1.3 Aplicações

Atualmente, a Realidade Aumentada já é utilizada de maneira experimental e comercial por uma grande quantidade de setores diferentes. Na área de *Marketing*, por exemplo, empresas tem utilizado a tecnologia para permitir ao público visualizar, em seus aparelhos móveis, produtos de maneira tridimensional incorporados à realidade. A figura 5 mostra como a empresa *Amazon* permite que usuários coloquem móveis virtuais na sala de suas casas.

Figura 5 – Aplicativo Amazon AR View

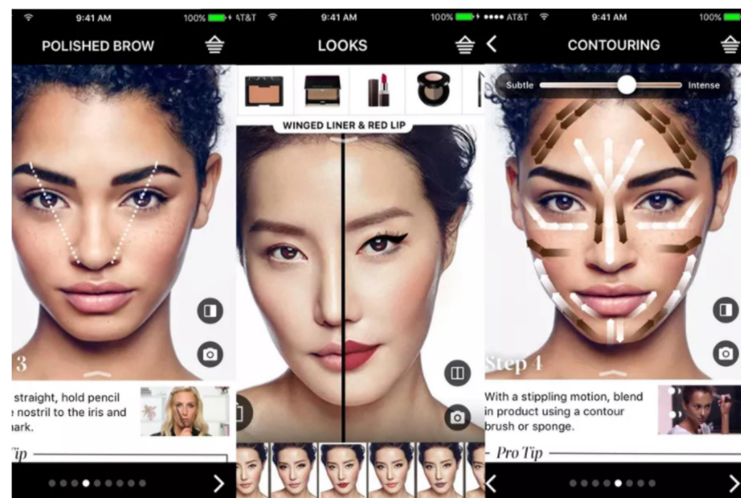


Fonte: (THE VERGE, 2020)

Na área de cosméticos, empresas como Sephora (Figura 6) utilizam a Realidade Aumentada para permitir que os clientes experimentem diferentes visuais e produtos para os olhos, lábios e bochechas, bem como cores diretamente em seus próprios rostos digitais.

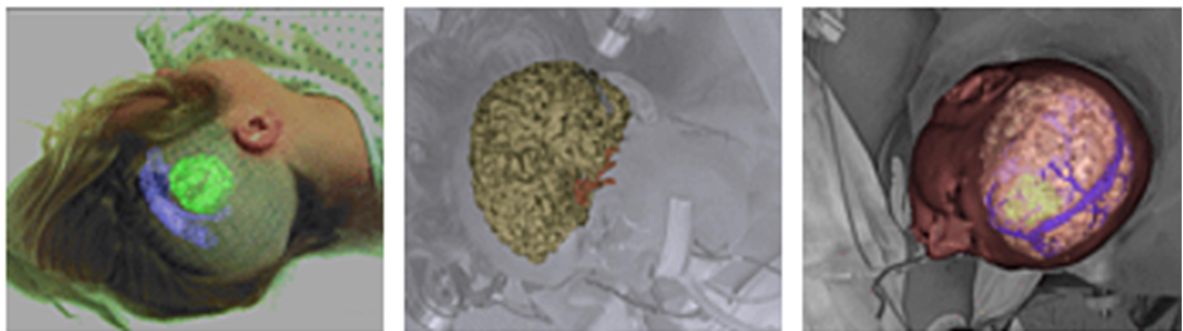
Na área da medicina essa tecnologia tem sido utilizada de maneira experimental em diversos seguimentos. Um exemplo dessa aplicação é a utilização para aperfeiçoar o processo de visualização das imagens de ultrassom. Utilizando óculos de Realidade Aumentada pode-se visualizar uma imagem 3D renderizada sobreposta ao corpo do paciente (Figura 7).

Figura 6 – Aplicativo Sephora AR



Fonte: (THE VERGE, 2020)

Figura 7 – Visualização do cérebro com Realidade Aumentada



Fonte: (ALBUQUERQUE, 1999)

Na área de navegação, autores como Narzt *et al.* (2006) discutem os paradigmas de navegação para pedestres e carros (ao ar livre) que se sobrepõem a rotas, saídas de rodovias, carros de acompanhamento, perigos, preços de combustível, etc. Originalmente a concepção da tecnologia para o ramo da navegação era ajudar os pilotos de caças de combate exibindo informações cruciais na tela da cabine de comando para que eles não precisassem desviar o olhar do céu para algum medidor específico na cabine.

2.1.4 Realidade Aumentada e Realidade Virtual

As tecnologias e algoritmos que permitem a existência da Realidade Aumentada e da Realidade Virtual são essencialmente as mesmas, entretanto existem claras distinções entre elas. A Realidade Virtual é uma experiência de completa imersão num mundo virtual e as tarefas realizadas através do uso da mesma permanecem no mundo virtual enquanto a Realidade Aumentada auxilia a execução de tarefas reais. Por exemplo, uma aeronave virtual

pilotada através de um aplicativo em realidade virtual nunca decolou na vida real, enquanto isso um torneiro mecânico usando a Realidade Aumentada pode cortar uma haste metálica de seu protótipo físico para que o mesmo se assemelhe ao protótipo virtual visualizado pelo mesmo no mundo real.

2.1.5 Componentes

Em celulares e *tablets*, o sistema de Realidade Aumentada é composto por três partes fundamentais: *Hardware*, *Software* e o Aplicativo.

O *hardware* se refere ao dispositivo através do qual as imagens virtuais são projetadas. Para que a Realidade Aumentada possa ser utilizada nesses dispositivos, os mesmos precisam possuir sensores e processadores capazes de suportar a demanda imposta por essa tecnologia (FERREIRA, 2014). Os componentes-chaves em termos de *hardware* são os seguintes:

- **Processador:** É o cérebro do dispositivo. Ele determina a velocidade do aparelho e se o mesmo é capaz de gerenciar os pesados requisitos de Realidade Aumentada, enquanto processa outras funções do próprio aparelho;
- **Placa de Processamento Gráfico (GPU):** A GPU lida com a renderização visual da tela de um telefone. A Realidade Aumentada requer GPUs de alto desempenho para que o conteúdo digital possa ser criado e sobreposto perfeitamente;
- **Sensores:** Este é o componente que dá ao dispositivo a capacidade de captar dados do ambiente. Os sensores que podem ser utilizados na Realidade Aumentada incluem:
 - **Sensor de profundidade:** Utilizado para mensurar profundidade e distância;
 - **Giroscópio:** Utilizado para detectar o ângulo e posição do telefone;
 - **Sensor de proximidade:** Utilizado para mensurar o quão perto ou longe algum objeto está em relação ao telefone;
 - **Acelerômetro:** Utilizado para detectar mudanças na velocidade, movimento e rotação;
 - **Sensor de luz:** Utilizado para medir a intensidade da claridade;
 - **Magnetômetro:** Utilizado para medir a força e a direção dos campos magnéticos para determinar a orientação do telefone em relação ao campo magnético da Terra;

- *GPS*: Utiliza ondas de rádio entre satélites e um receptor dentro do telefone para fornecer informações de localização e hora para qualquer *software* que precise usá-lo.

O *software* se refere a um conjunto de instruções, informações, rotinas e programas que comunicam aos componentes físicos como funcionar de maneira a executar determinadas tarefas. Atualmente, diversas empresas possuem um conjunto de ferramentas (*Software Development Kits*) que auxilia desenvolvedores a criarem aplicativos de Realidade Aumentada de maneira facilitada. Dentre esses SDKs (*Software Development Kits*), os que mais se destacam são: AR Core, Vuforia e AR Kit (SANTOS JÚNIOR, 2018). Os SDKs contêm três tecnologias fundamentais para permitir a criação de experiências efetivas de Realidade Aumentada:

- Compreensão do ambiente: Permite o reconhecimento de pontos de ancoragem e detecção de superfícies planas para mapeamento do ambiente;
- Rastreamento de movimento: Permite que o telefone determine a sua própria posição relativa ao ambiente. Dessa maneira se faz possível a inserção de objetos virtuais em pontos determinados na imagem;
- Estimativa de luz: isso dá ao seu telefone a capacidade de perceber a condição de iluminação atual do ambiente. Os objetos virtuais podem então ser colocados nas mesmas condições de iluminação para aumentar o realismo.

A terceira parte desse sistema é o próprio aplicativo. A interação entre *hardware* e *software* faz com que o dispositivo eletrônico possua capacidade de executar aplicativos de Realidade Aumentada, porém o conteúdo (objetos 3D), interface do usuário e outras demais funcionalidades são proporcionados pelo aplicativo produzido pelo desenvolvedor.

2.1.6 Rastreamento

Parte fundamental para a obtenção de uma experiência de Realidade Aumentada mais realista e precisa, o rastreamento compreende o processo de determinação da posição e orientação do usuário. Quando um usuário move sua posição ou ponto de vista, os objetos virtuais devem permanecer alinhados com a posição e orientação de objetos reais (NEUMANN e MAJOROS, 1998).

Em ambientes internos o processo de rastreamento é relativamente mais simples, visto que as possibilidades de movimentações dentro de um ambiente fechado são limitadas. Dentro da Realidade Aumentada existem algumas modalidades diferentes de rastreamento que

variam em suas aplicações e objetivos. As principais modalidades são: Rastreamento visual através de marcadores (Marker-based), Rastreamento visual sem marcadores (Markerless), Rastreamento através de sensores (Sensor-based) e Rastreamento híbrido.

O rastreamento visual através de marcadores (Marker-based) é obtido através do uso de uma câmera e marcadores visuais. O aplicativo projeta modelos tridimensionais em cima dos marcadores. O termo marcador pode ser compreendido como um elemento distinguível colocado no ambiente para que ele possa ser identificado com facilidade pela visão computacional à parte de outros objetos no mesmo ambiente.

Essa categoria de rastreamento oferece boa estabilidade ao modelo virtual exibido, contando que a iluminação do ambiente seja adequada. Entretanto, essa abordagem é um tanto restritiva, visto que os marcadores devem ser colocados e planejados com antecedência. Imagens que possuem alto contraste funcionam bem como marcadores, por isso, *QR codes* (Figura 8) são frequentemente utilizados para essa função.

Figura 8 – Realidade aumentada projetada através de um QR Code



Fonte: (SANTOS JÚNIOR, 2018)

Diferente do rastreamento *Marker-based*, o rastreamento visual sem marcadores (*Markerless*) não precisa de conhecimento prévio do ambiente de um usuário para sobrepor conteúdo 3D em uma cena e mantê-lo em um ponto fixo no espaço. A tecnologia de rastreamento instantâneo (SLAM) permite a recriação digital de elementos do mundo real sem que o usuário precise digitalizar nenhuma imagem.

O SLAM é uma tecnologia de visão computacional que entende o mundo físico por meio de pontos e superfícies de interesse (Figura 9). Isso possibilita que os aplicativos de Realidade Aumentada reconheçam objetos e cenas 3D, bem como acompanhem o mundo instantaneamente, e sobreponham informações digitais interativas.

Essa é a forma mais flexível de rastreamento visto que permite ao usuário transformar quaisquer superfícies em marcadores, além de oferecer boa estabilidade ao modelo virtual. O rastreamento sem marcadores é limitado pela iluminação do ambiente, visto que isto implica na redução da capacidade de reconhecimento de superfícies, e pela elevada demanda de processamento requerida em termos de *hardware*.

Figura 9 – Pontos de interesse detectados automaticamente através de visão computacional



Fonte: (ARNALDI *et al.*, 2018)

No rastreamento através de sensores (*Sensor-based*), sensores como o *GPS*, acelerômetro, bússola do telefone são utilizados. Através dessas informações o aplicativo sobrepõe as informações digitais ao mundo real de acordo com a localização que o usuário se encontra.

De acordo com Hua *et al.* (2001), a seleção de um sensor depende de diferentes fatores, incluindo precisão, calibração, custo, ambiente, temperatura e pressão, faixa e resolução. Geralmente os sensores encontrados em aparelhos celulares são imprecisos. O *GPS*, por exemplo, possui uma baixa frequência de atualização da localização e imprecisão na casa dos metros. Por conta disso, o aplicativo pode, por vezes, não funcionar de maneira adequada, principalmente em ambientes fechados. O popular aplicativo *Pokémon Go* (Figura 10), lançado no ano de 2015, utiliza essa modalidade de rastreamento.

Figura 10 – Pokémon Go



Fonte: (University of Washington, 2017)

Todo método de rastreamento possui limitações. Por esta razão, alguns aplicativos utilizam as tecnologias de rastreamentos visual e baseada em sensores complementarmente para o desenvolvimento de sistemas híbridos de rastreamento. Esses sistemas utilizam características dos dois métodos para a obtenção de melhor estabilidade.

2.1.7 Desafios

Os aplicativos de Realidade Aumentada exigem bastante desempenho dos componentes de *Hardware* e *Software*, principalmente dos aparelhos celulares. Por conta disso, é comum que a utilização desses aplicativos drene bastante bateria e poder de processamento dos aparelhos, que geralmente são projetados para sustentar funções básicas como fotografias e navegação na internet.

2.2 ENSINO DE ENGENHARIA E REALIDADE AUMENTADA

De acordo com Romano (1999), a Engenharia Civil somente passou a ganhar destaque no Brasil a partir do século XIX com o crescimento repentino da demanda de projetos e construções. O aumento dessa demanda foi reflexo de uma política de valorização do país motivada primeiro pela transferência da Corte Real Portuguesa para o Brasil, em 1808, e depois pela proclamação da República, em 1889.

Em 1792, com a criação da Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho, deu-se o início do ensino formal da engenharia no Brasil. Essa instituição foi transformada na Academia Real Militar pelo Príncipe Regente D. João através da “Carta de Lei” de 4 de dezembro de 1810 (MACEDO e SAPUNARU, 2016).

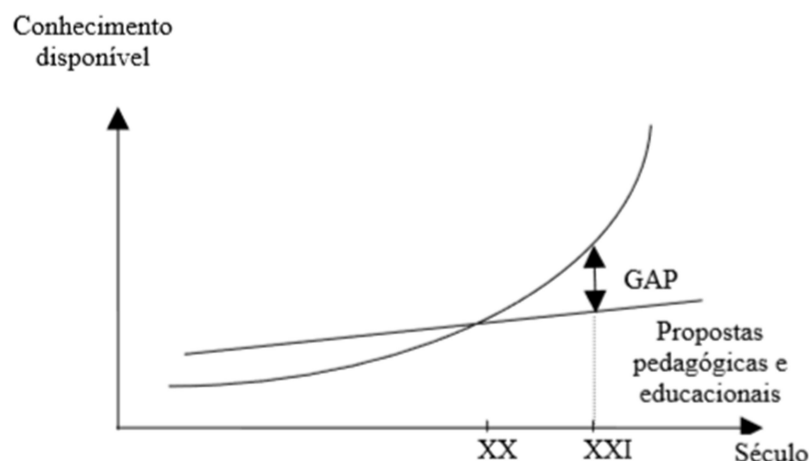
Essa carta é o registro mais antigo encontrado na bibliografia que apresenta como um curso de engenharia deveria ser organizado. Essa organização seguia as diretrizes da Escola Politécnica de Paris, fundada em 1795 durante a revolução francesa, e estabelecia as matérias básicas que deveriam compor a grade do curso além de orientações no tocante a aulas práticas e outras informações pertinentes (OLIVEIRA e PINTO, 2006).

Nos séculos XIX e XX, a engenharia se mostrou fundamental para transportar o Brasil para a fase moderna e durante esse tempo a Engenharia passou por uma série de mudanças para que isso fosse possível (ROMANO, 1999).

Na visão de Romano (1999), é fundamental que se entenda que o ensino da Engenharia deve refletir as necessidades sociais impostas por cada época. O processo pedagógico de ensino não deve ser tratado como se fosse fixo, mas sim como alvo de reflexões para a adequação do mesmo com as dificuldades encontradas pelos estudantes durante a faculdade e depois de formados.

O aperfeiçoamento do sistema ensino-aprendizagem do ensino superior é, de fato, alvo de discussões nacionais e internacionais como apontam Lapina e Slaidins (2014). Entretanto, de acordo com Belhot (2005), nas últimas décadas a humanidade atingiu uma taxa exponencial de acúmulo de conhecimento enquanto as propostas de modelos educacionais crescem em uma escala linear. Segundo o autor, isso cria uma defasagem entre os recursos tecnológicos e pedagógicos disponíveis para enriquecimento da educação e os recursos propriamente utilizados na mesma. Essa defasagem é ilustrada na figura 11.

Figura 11 – Relação entre evolução do conhecimento e recursos utilizados



Fonte: (BELHOT, 2005)

Uma das críticas mais frequentes à tipologia atual de ensino é que a mesma ainda é fundamentalmente voltada na acumulação de conteúdo e na reprodução de conhecimento.

Atualmente, pesquisadores argumentam que esse modelo desperdiça de maneira sistemática o potencial de aprendizado nas escolas e faculdades, refletindo em um baixo nível de motivação dos alunos, baixo aproveitamento escolar e aumento nos índices de evasão (BARBOSA e MOURA, 2014).

De acordo com Lopes *et al.* (2019), tem-se observado diversos casos de sucesso aliando Tecnologias da Informação e Comunicação à prática do ensino. Entre essas tecnologias, a utilização da Realidade Aumentada tem se mostrado uma das mais promissoras no melhoramento da eficiência no ensino-aprendizado visto que diversas pesquisas comprovam contribuições nos quesitos de percepção e motivação dos usuários.

De maneira geral, a aplicação dessa tecnologia como ferramenta de aperfeiçoamento do ensino é realizada através das seguintes atividades: criação de jogos que promovam o aprendizado, criação de novos materiais didáticos compatíveis com Realidade Aumentada quando utilizados em conjunto com aplicativos em aparelhos móveis e a simples utilização da tecnologia em projetos pontuais em sala de aula.

Essa tecnologia tem sido utilizada em diferentes áreas do ensino, como as áreas voltadas à saúde, programação e ciências. Entretanto, segundo artigos dedicados majoritariamente a revisão bibliográfica como o de Lopes *et al.* (2019), é notável um número maior de trabalhos realizados nas áreas de ensino de Engenharia, Arquitetura e Design.

Apesar de ainda existirem barreiras para a utilização da Realidade Aumentada por meio de dispositivos móveis, como por exemplo: a integração ineficaz entre estudantes e professores, limitações tecnológicas, aceitação social entre outras listadas por Huang *et al.* (2013), o esforço para superá-las vem crescendo com o aumento da tendência de publicação de pesquisas sobre temas relacionados a Realidade Aumentada no ensino de Engenharia e Arquitetura como afirmam Diao e Shih (2019).

Ao avaliar a tendência dessa natureza de pesquisa Diao e Shih (2019) compilaram uma lista de benefícios em categorias gerais e específicas notados por pesquisadores de 6 países diferentes e obtidos em 34 diferentes pesquisas. Nas melhorias gerais em pedagogia foi notada uma melhora no interesse pelo aprendizado, desempenho acadêmico, motivação, satisfação dos estudantes com o curso, maior índice de participação e melhoria da comunicação entre professores e estudantes. Dentre as melhorias observadas nos domínios específicos foi possível observar o aumento da capacidade de observação espacial, melhor compreensão dos estudantes nas composições de peças de telhado, expansão da capacidade de design de estruturas, aperfeiçoamento das técnicas de análise estrutural, dentre outros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente foi realizado um levantamento de pesquisas científicas com temáticas relacionadas à Realidade Aumentada, Educação e Realidade Aumentada aplicada à Educação.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

A programação do aplicativo utilizado nesse trabalho seguiu o modelo estabelecido no trabalho de Santos Júnior (2018). O autor criou um aplicativo de Realidade Aumentada para auxiliar na reforma de cômodos em residência unifamiliar através da plataforma Unity 3D. Tendo em vista os resultados adequados em termos de portabilidade e estabilidade do aplicativo, decidiu-se utilizar a mesma plataforma para produção do aplicativo a ser utilizado no presente trabalho.

Para determinação dos possíveis problemas e desejáveis funcionalidades a serem implementadas no aplicativo, considerando-se sua finalidade educacional, foram consultados professores, alunos e monitores do curso de Engenharia Civil do campus Aracaju do Instituto Federal de Sergipe. Além disso, tomou-se o cuidado de elaborar uma interface de usuário simplificada para facilitar a interação entre o usuário e a tecnologia.

3.3 CRIAÇÃO DE CENÁRIOS

A criação dos cenários (modelos tridimensionais e animações) a serem inseridos no aplicativo para consequente apresentação em sala de aula é de fundamental importância. Para a elaboração dos mesmos foi necessária a escolha de um *software* de modelagem capaz de criar modelos 3D compatíveis com a ferramenta Unity 3D. Os seguintes *softwares* foram cogitados para realização de tal tarefa:

- AutoCad 3D;
- Revit;
- SAP 2000;
- Blender 3D.

Dentre esses *softwares*, o que mais se destacou foi o Blender 3D pela sua superior capacidade de modelagem, aplicação de texturas, liberdade na criação de animações e compatibilidade com Unity 3D. Entretanto, em algumas situações pontuais a utilização do

Blender 3D foi feita em conjunto com o SAP2000 para obtenção de um modelo mais completo e realista.

Consequentemente, as modelagens criadas foram utilizadas na elaboração de cenários virtuais ligados à temas propostos pelas ementas das disciplinas. Esses cenários simulam diferentes situações de carregamento, condições de vínculo e intensidades de carregamento em diferentes estruturas e elementos estruturais. Os cenários modelados serão explicados de maneira mais detalhada no capítulo 4.

Os marcadores para os cenários desenvolvidos estão apresentados no APÊNDICE I.

3.4 AULA EXPERIMENTAL

Previamente as aulas com o uso da Realidade Aumentada, o aplicativo foi disponibilizado aos alunos através de um *link* para *download* para àqueles que desejassem pudessem instalar em seus aparelhos celulares.

No semestre letivo 2019/2, como parte do projeto de pesquisa intitulado *Aplicação da realidade aumentada no estudo de disciplinas da área de estruturas dos cursos de engenharia e arquitetura*, foi realizada uma aula presencial ministrada pelo autor, a qual consistiu numa breve explanação sobre o uso do aplicativo e em seguida foram apresentados assuntos da área de estruturas com uso simultâneo do aplicativo por parte dos alunos.

3.5 QUESTIONÁRIO AVALIATIVO

Um questionário foi elaborado para avaliação da afinidade dos estudantes com a tecnologia, e ainda do grau de entendimento dos mesmos sobre os temas apresentados durante a aula experimental.

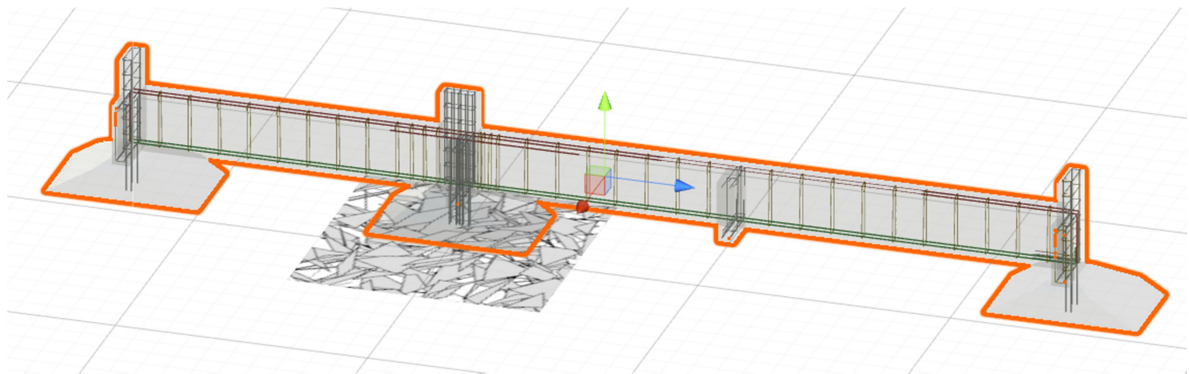
4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA COMO FERRAMENTA DE ENSINO

4.1 VISUALIZAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS

4.1.1 Detalhamento de armaduras

Durante a disciplina Isostática, o traçado de diagramas de esforços internos é uma atividade corriqueira. O desenvolvimento do modelo apresentado na figura 12 teve como objetivo demonstrar as implicações práticas desses diagramas. Para isso uma viga baldrame que conecta 3 fundações foi modelada. Foi dada à viga uma textura transparente para tornar possível a observação da distribuição das armaduras, as barras negativas foram dispostas na cor vermelha, as positivas na cor verde e os estribos na cor amarela.

Figura 12 – Viga Baldrame

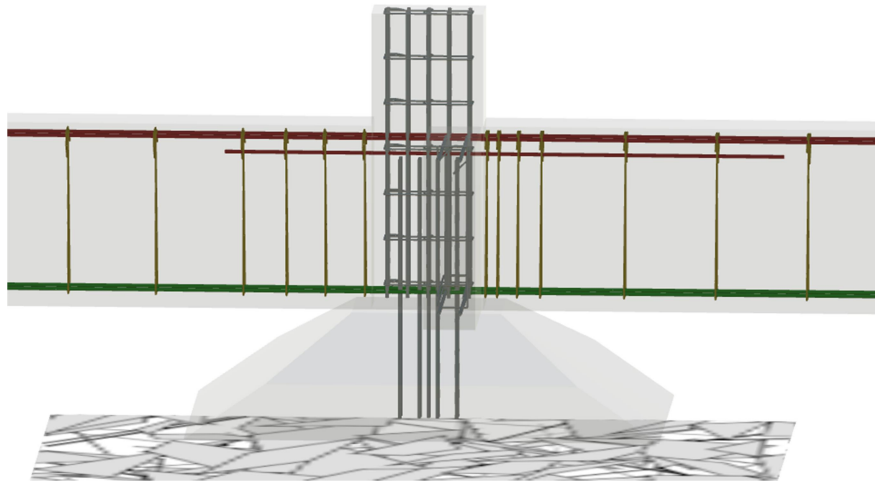


Fonte: Autor (2020)

Ao aproximar a figura 12 é possível observar que o apoio central apresenta um número maior de estribos para compensar a intensidade da força cortante nesse ponto (figura 13). No lado esquerdo do apoio central foi mostrada a maneira correta de dispor as armaduras transversais, respeitando o devido espaçamento. Já no lado direito foi mostrado a disposição dos estribos de maneira incorreta, sem respeitar o espaçamento devido, o que pode causar manifestações patológicas na estrutura, pois durante a concretagem o agregado gráúdo do concreto teria dificuldade de penetrar nessa região.

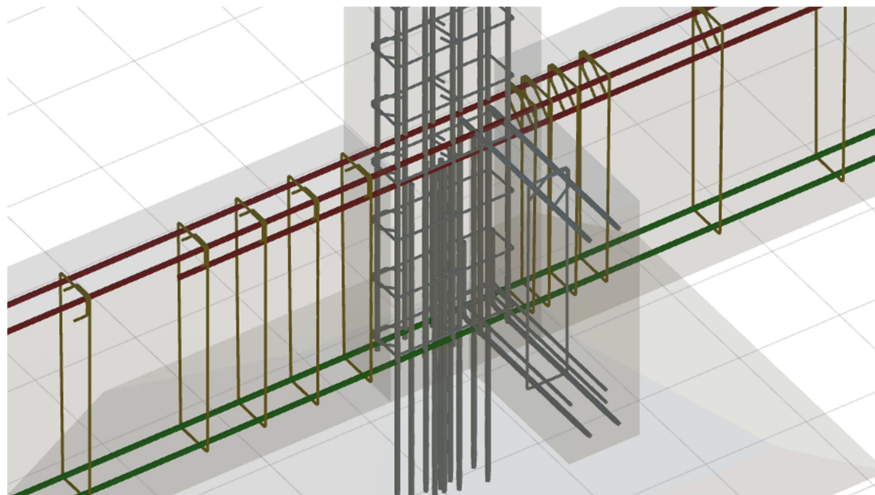
Além disso, os apoios centrais também apresentam momento fletor negativo e por isso é possível observar que essa região possui uma barra a mais (figura 14).

Figura 13 – Armaduras Transversais



Fonte: Autor (2020)

Figura 14 – Armaduras Transversais

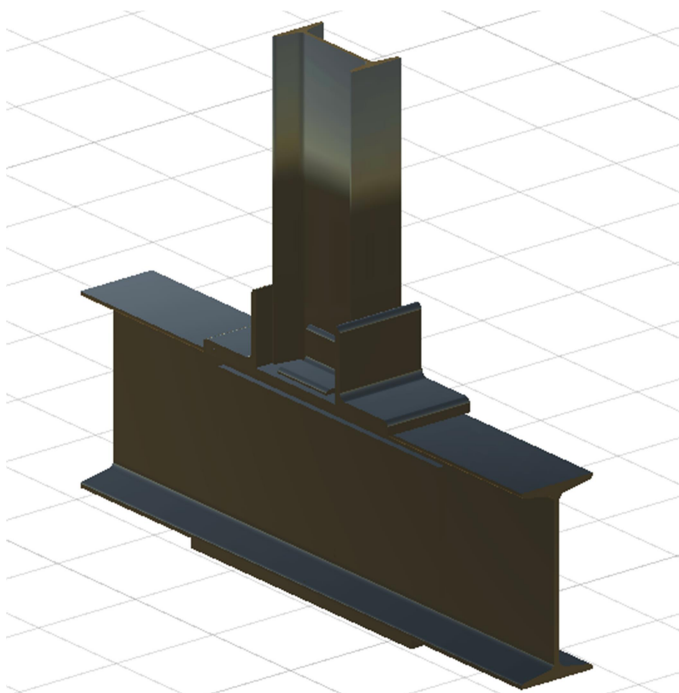


Fonte: Autor (2020)

4.1.2 Visualização de estruturas diversas

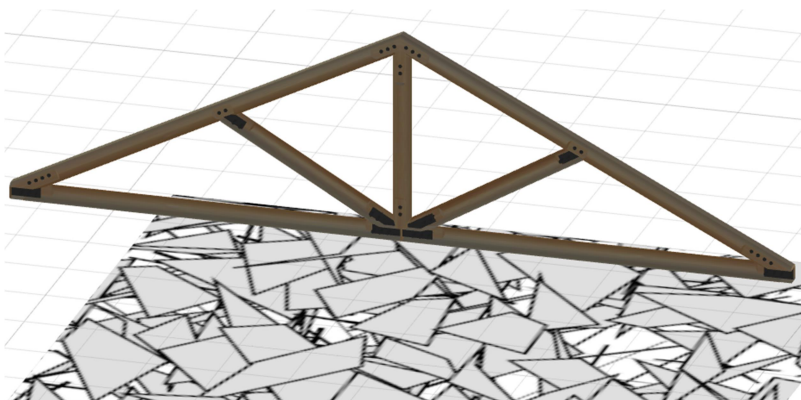
A tecnologia também permite a visualização de uma série de elementos estruturais que foram modelados com o intuito de mostrar outros possíveis temas cujo ensino pode ser enriquecido com a utilização da Realidade Aumentada. Dentre eles, Detalhamento de Ligações Metálicas (figura 15), treliças (figura 16 e 17), pórticos (figura 18 e figura 19) e sapatas (figura 20).

Figura 15 – Ligação Metálica



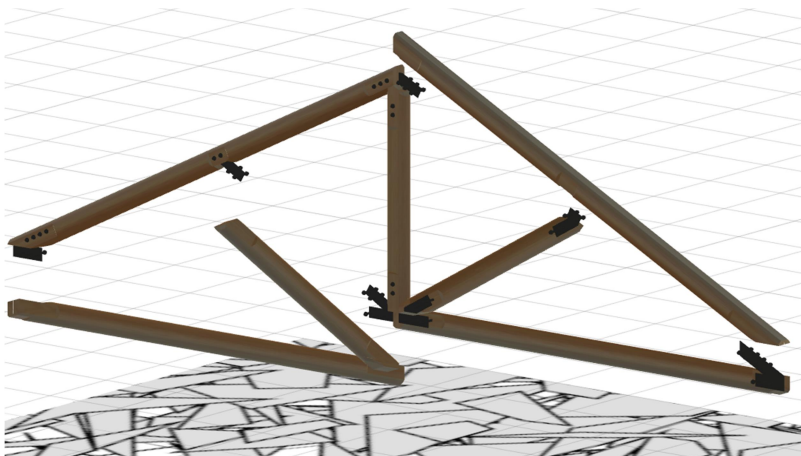
Fonte: SketchFab (2020a)

Figura 16 – Tesoura



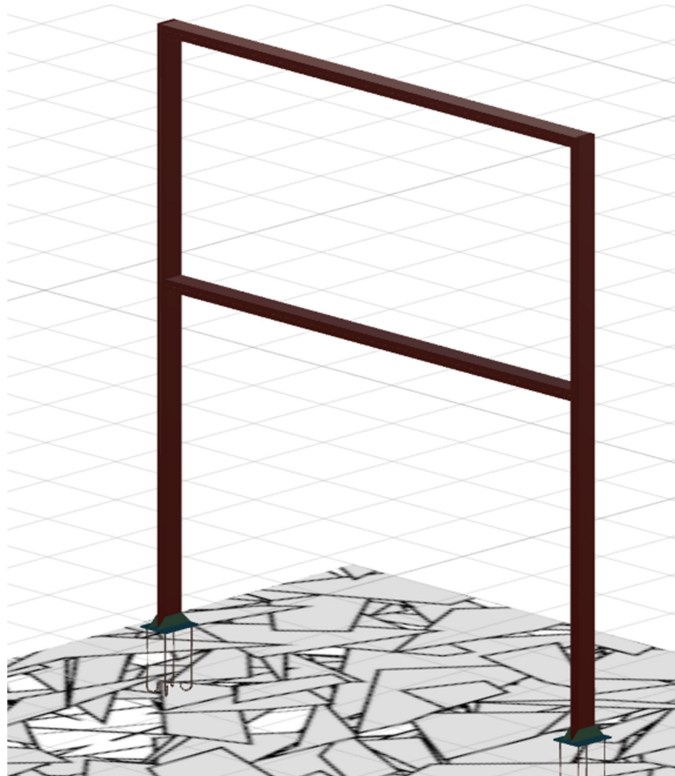
Fonte: SketchFab (2020b)

Figura 17 – Detalhamento de Tesoura



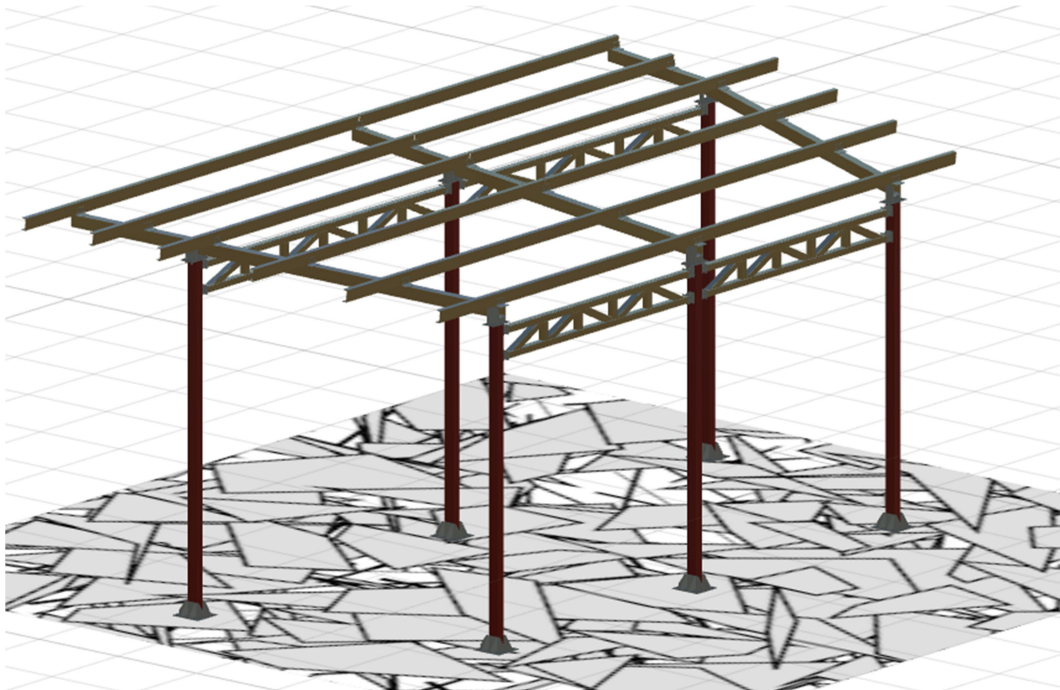
Fonte: SketchFab (2020b)

Figura 18 – Pórtico Plano



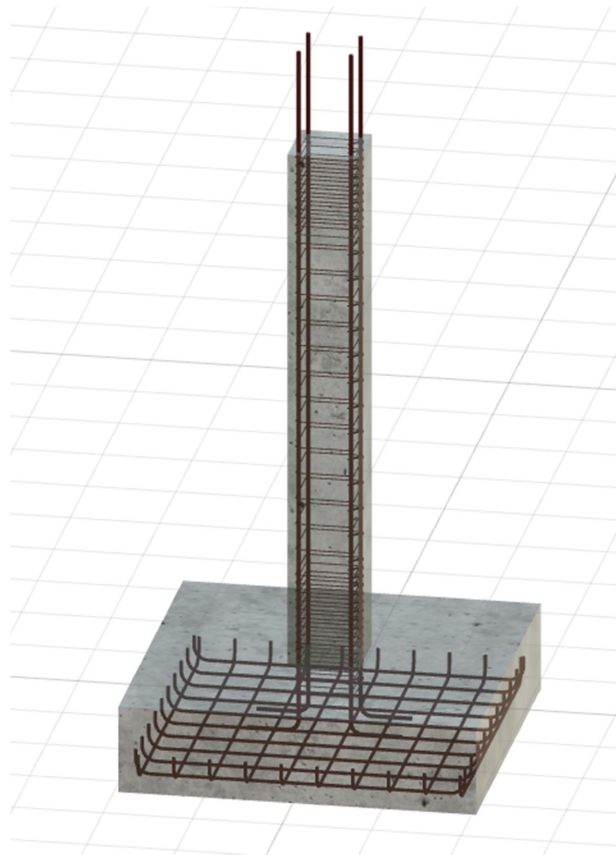
Fonte: SketchFab (2020c)

Figura 19 – Pórtico Espacial



Fonte: SketchFab (2020d)

Figura 20 – Detalhamento Armadura de Pilar e Sapata



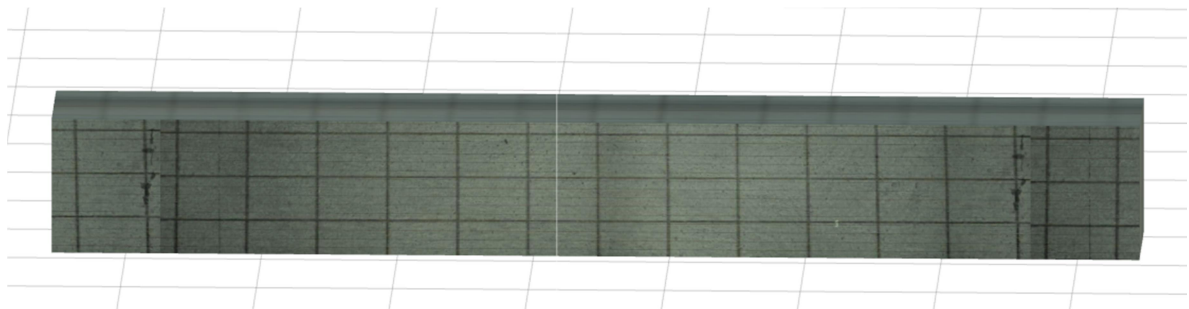
Fonte: SketchFab (2020e)

4.2 ANIMAÇÕES DE DEFORMAÇÕES

4.2.1 Esforços internos solicitantes

O marcador apresentado na figura 21 contém quatro cenários que mostram um mesmo elemento com textura quadriculada sendo submetido a diferentes tipos de esforços solicitantes. A textura aplicada permite aos alunos a visualização das deformações que os esforços provocam no elemento.

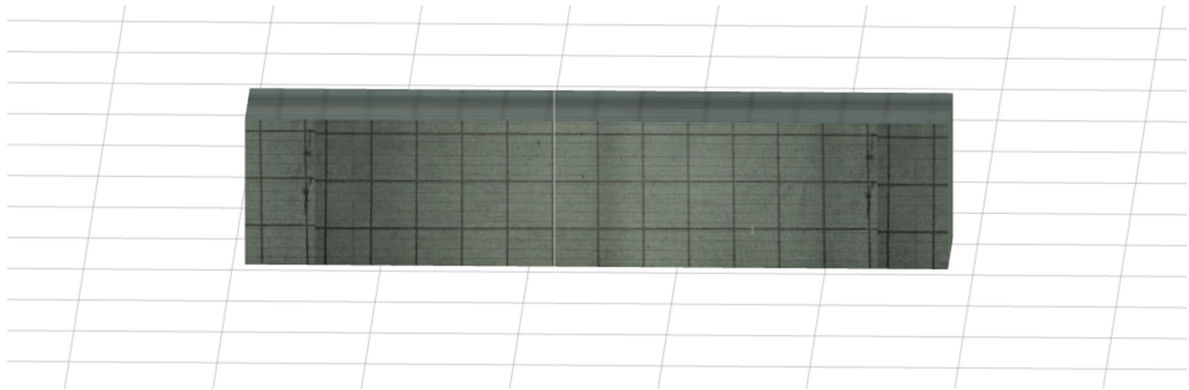
Figura 21 – Elemento livre



Fonte: Autor (2020)

O primeiro cenário demonstra o esforço de compressão, sendo possível observar que os retângulos do elemento ficam menores, de maneira intencionalmente exagerada, quando o mesmo é submetido à compressão (figura 22).

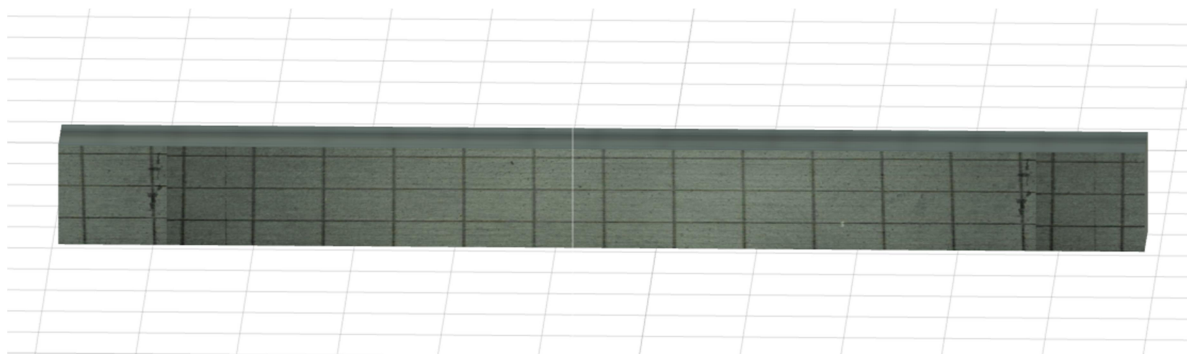
Figura 22 – Elemento submetido à compressão



Fonte: Autor (2020)

O segundo cenário demonstra o esforço de tração, sendo possível observar que os retângulos do elemento ficam maiores, de maneira intencionalmente exagerada, quando o mesmo é submetido à tração (figura 23).

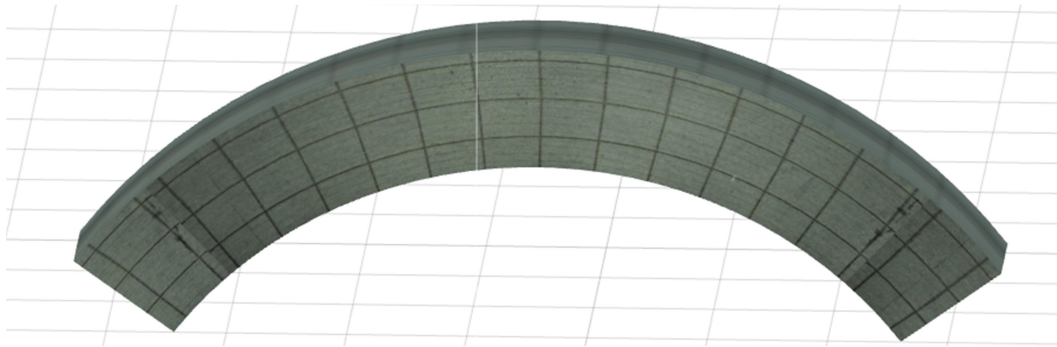
Figura 23 – Elemento submetido à tração



Fonte: Autor (2020)

O terceiro cenário (figura 24) demonstra o esforço de flexão, mais especificamente flexão simples. É possível observar na textura do objeto que os retângulos aumentam de tamanho acima da linha neutra e diminuem abaixo da mesma. Isso demonstra que a parte superior do elemento está sendo submetida à tração enquanto a parte inferior está submetida ao esforço de compressão.

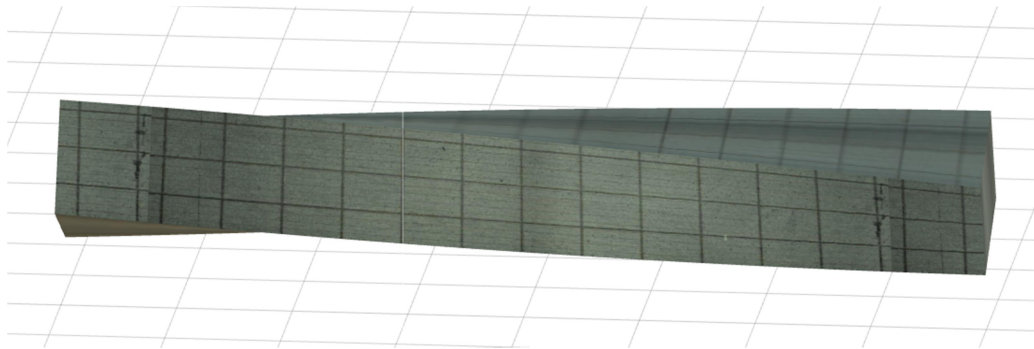
Figura 24 – Elemento submetido à flexão



Fonte: Autor (2020)

O quarto e último cenário (figura 25) para este marcador demonstra o esforço de torção. Pode-se observar pela textura que a deformação causada por esse esforço é semelhante à do cisalhamento.

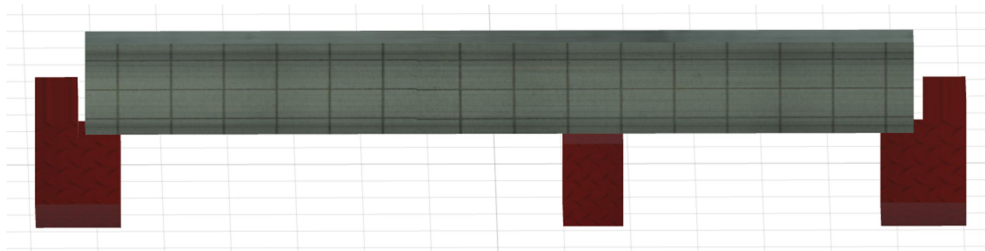
Figura 25 – Elemento submetido à torção



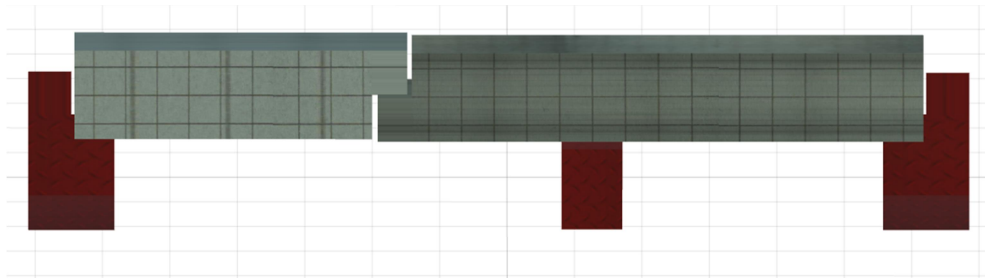
Fonte: Autor (2020)

4.2.2 Viga Contínua e Viga Gerber

O segundo marcador apresenta uma viga contínua hiperestática (figura 26), enquanto o terceiro apresenta uma viga Gerber (figura 27). Esses cenários foram modelados para demonstrar a diferença no comportamento das vigas hiperestáticas e isostáticas além de demonstrar de maneira prática que não há transmissão de momento fletor no dente Gerber devido a descontinuidade.

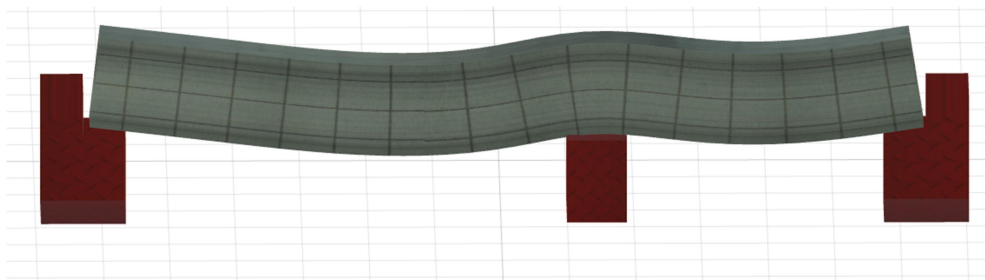
Figura 26 – Viga contínua

Fonte: Autor (2020)

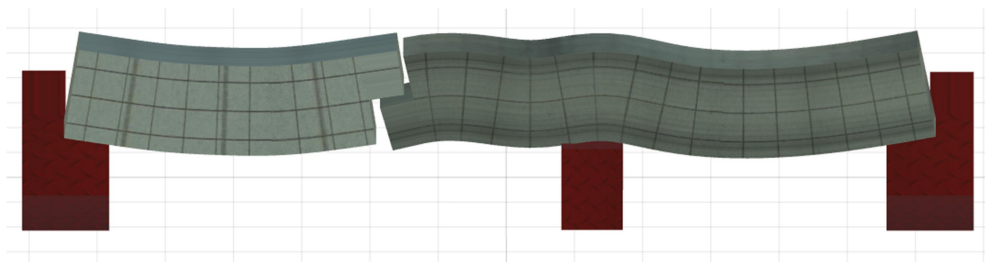
Figura 27 – Viga Gerber

Fonte: Autor (2020)

Para cada uma das vigas foi produzida uma animação que demonstra de maneira exagerada a linha elástica, que diferem somente pela presença da rótula, quando submetidas a carregamentos verticais. É possível para os alunos verificar que existe uma sensível diferença nas deformações da viga contínua (figura 28) e da viga Gerber (figura 29).

Figura 28 – Viga Contínua Carregada

Fonte: Autor (2020)

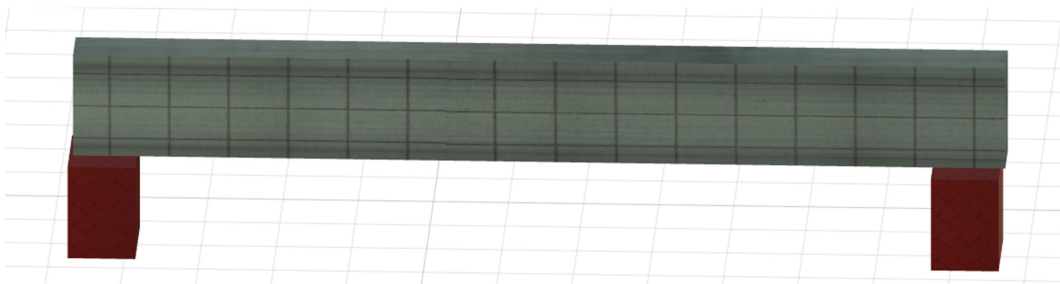
Figura 29 – Viga Gerber Carregada

Fonte: Autor (2020)

4.2.3 Apoios de 1º e 2º gênero

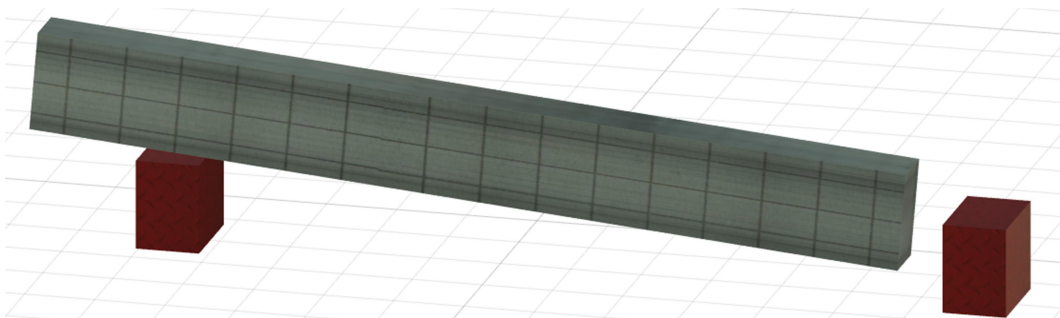
Este marcador contém dois cenários associados. No primeiro foi realizada a modelagem de uma viga apoiada sobre dois apoios de 1º gênero (figura 30) submetidos a um carregamento na direção vertical e horizontal. Isso caracteriza uma condição de estrutura hipostática em que as reações de apoio existentes são insuficientes para manter a estrutura em equilíbrio tornando-a, portanto, instável (figura 31).

Figura 30 – Viga Hipostática



Fonte: Autor (2020)

Figura 31 – Viga Hipostática após aplicação do carregamento

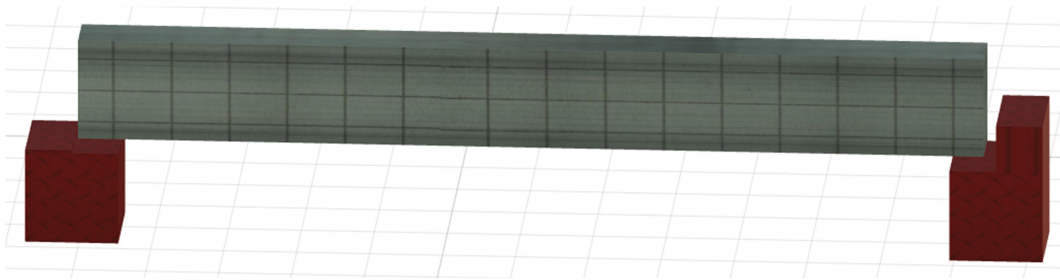


Fonte: Autor (2020)

O segundo modelo associado a esse marcador é apresentado na figura 32. Essa modelagem foi criada com o intuito de permitir aos alunos enxergar a rotação que acontece nos apoios de primeiro e segundo gênero. Assim, o cenário modelado começa com a viga sem carregamento (figura 32) e em seguida com carregamento vertical aplicado no meio do vão (figura 33).

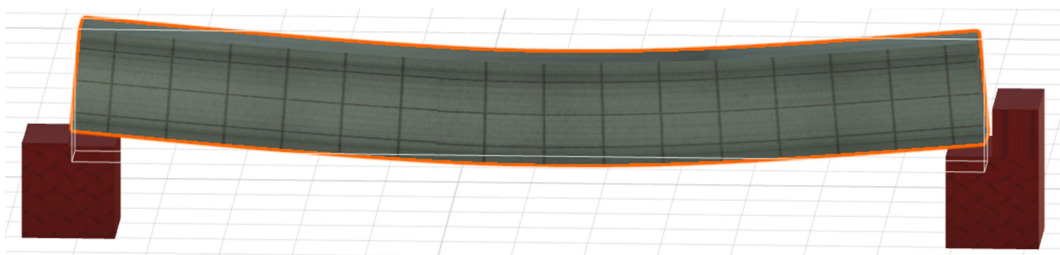
Ao avaliar o cenário, os alunos podem visualizar de maneira intuitiva como a viga e os apoios interagem.

Figura 32 – Viga biapoiada sem carregamento



Fonte: Autor (2020)

Figura 33 – Viga biapoiada com carregamento

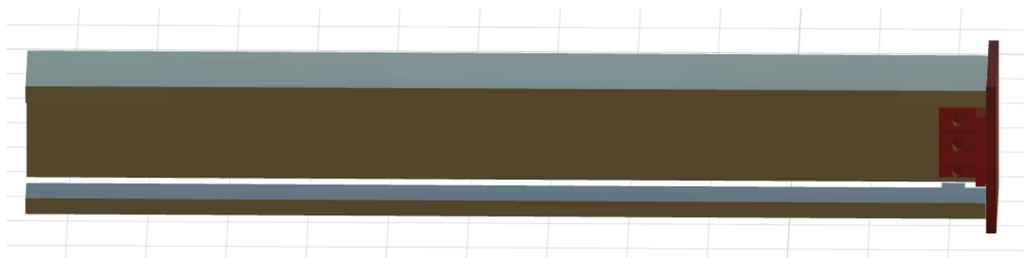


Fonte: Autor (2020)

4.2.4 Apoio de 3º gênero

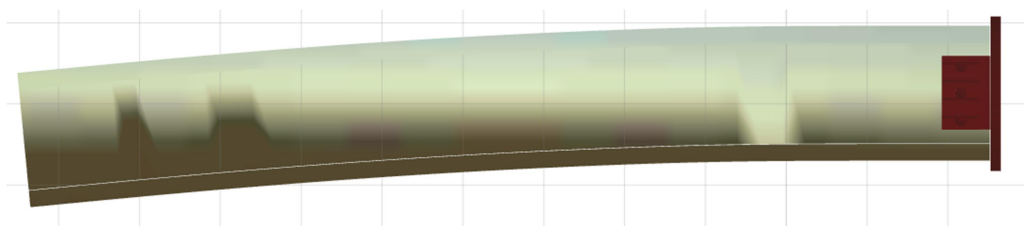
Para exemplificar o tema foi modelada uma viga metálica engastada (figura 34) submetida a um carregamento vertical na extremidade livre. Os alunos podem observar que não existe rotação no vínculo conforme figura 35.

Figura 34 – Viga engastada sem carregamento



Fonte: Autor (2020)

Figura 35 – Viga engastada com carregamento



Fonte: Autor (2020)

4.2.5 Comprimento de flambagem

Para esse marcador foi modelado um pórtico metálico (figura 36) sendo submetido à um carregamento vertical distribuído sobre a superfície plana horizontal. A estrutura foi modelada com o auxílio do *software* SAP2000, no qual é possível obter a deformação da estrutura e ainda amplificá-la para melhor visualização. Essa modelagem possui 2 animações associadas, o que permite explorar diversos temas no cenário criado.

Figura 36 – Pórtico sem carregamento



Fonte: Autor (2020)

A primeira animação (figura 37) apresenta a estrutura, com todos os elementos travados e em perfeitas condições, deformando ao ser carregada.

Figura 37 – Pórtico Carregado



Fonte: Autor (2020)

A segunda animação (figura 38) demonstra uma situação hipotética em que a estrutura perde dois dos elementos transversais de travamento, o que pode ocorrer, por exemplo, devido a uma corrosão que provocou o rompimento na conexão desses elementos ao longo de sua vida útil.

Figura 38 – Pórtico com perda accidental de travamentos



Fonte: Autor (2020)

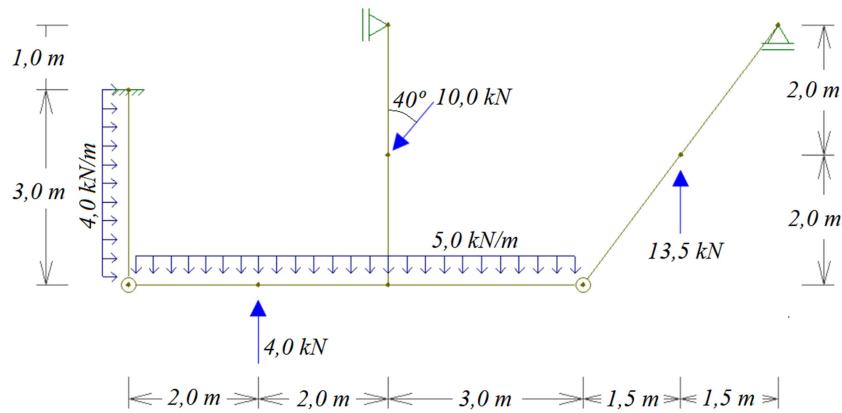
Pode-se extrair do cenário temas relacionados à elementos estruturais de travamento. A animação permite a verificação direta da finalidade que esses elementos desempenham em favor da estabilidade estrutural ao comparar-se a deformação que a estrutura sofre quando a mesma possui tais elementos (figura 37) e o que acontece caso ela perca esses elementos em casos acidentais (figura 38). Outros temas bastante pertinentes para serem explorados, porém que fazem parte da ementa da matéria Resistência dos Materiais são os temas de comprimento e carga crítica de flambagem.

4.3 GABARITO DE QUESTÕES

Outra possível aplicação para a tecnologia é a sua utilização para fornecimento de gabaritos de questões de maneira simples e rápida. A própria imagem da questão (figura 39) funciona como marcador e, portanto, cabe ao usuário apenas apontar a sua câmera para a questão e a interface de usuário será ativada (figura 40).

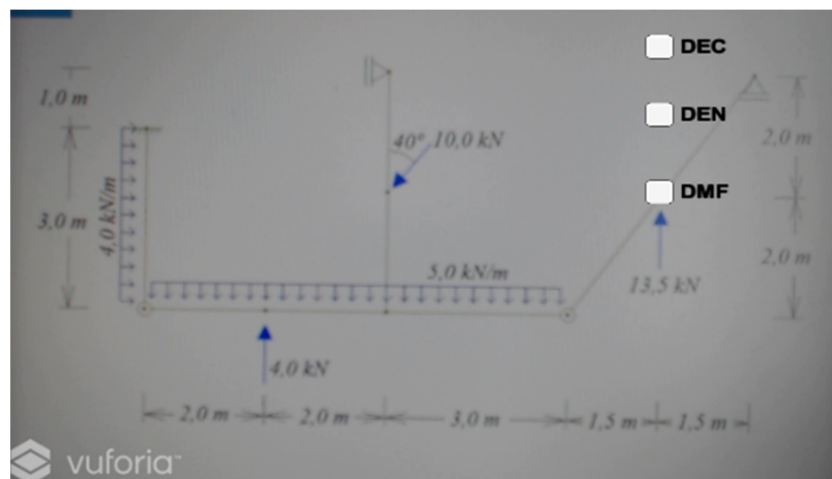
A interface dará ao usuário a opção de sobrepor à imagem da questão os diagramas de esforço cortante (figura 41), esforço normal (figura 42) e momento fletor (figura 43).

Figura 39 – Questão de traçado de diagrama



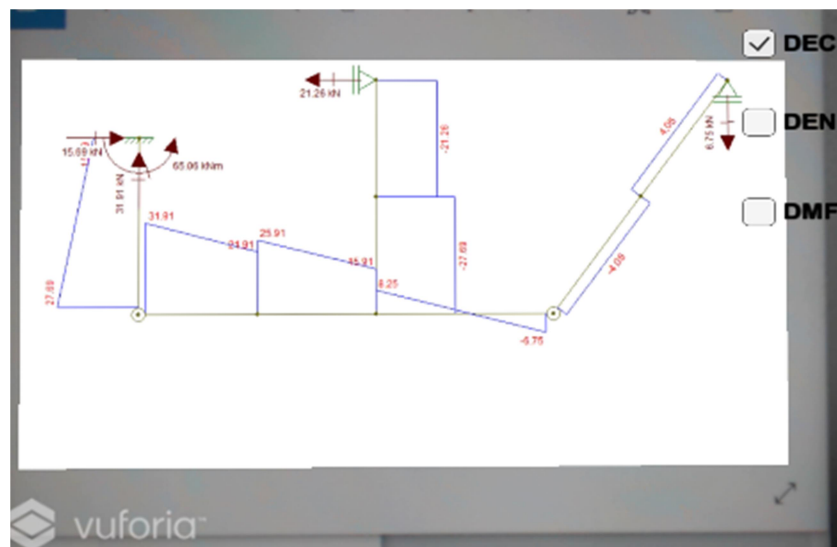
Fonte: Autor (2020)

Figura 40 – Interface de usuário



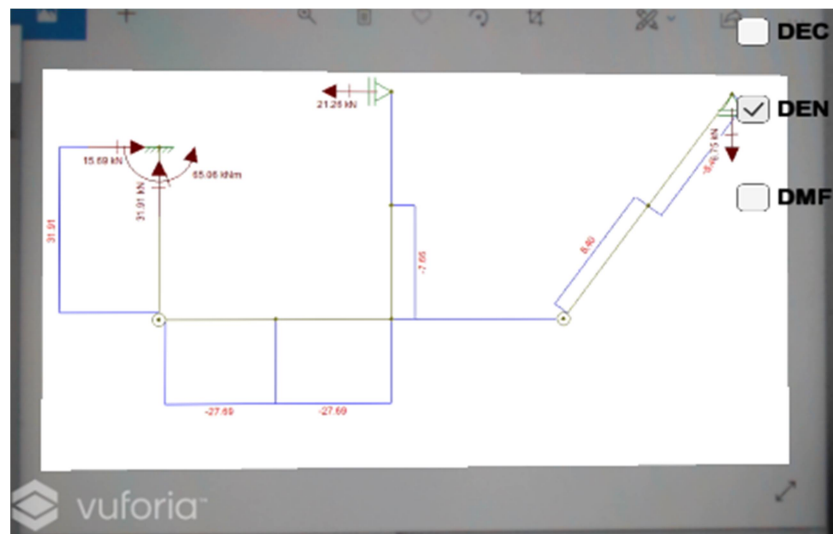
Fonte: Autor (2020)

Figura 41 – Sobreposição do diagrama de esforço cortante



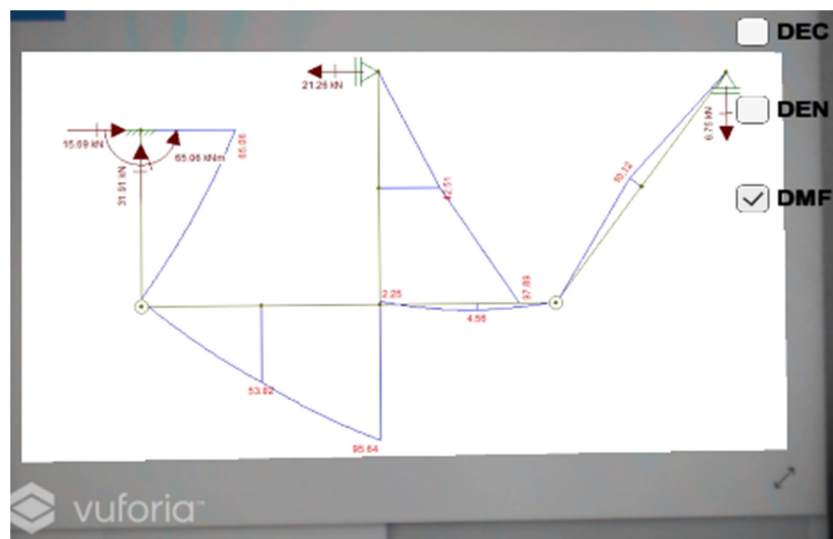
Fonte: Autor (2020)

Figura 42 – Sobreposição do diagrama de esforço normal



Fonte: Autor (2020)

Figura 43 – Sobreposição do diagrama de momento fletor



Fonte: Autor (2020)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O aplicativo desenvolvido ficou com o tamanho de 65 Mb e funcionou perfeitamente em todos os aparelhos de celular utilizados pelos estudantes, o que demonstra que não existem mais barreiras tecnológicas no que se refere ao poder de processamento e qualidade de câmera dos aparelhos celulares atuais para o uso da Realidade Aumentada.

Participaram da aula experimental 21 (vinte e um) estudantes do Instituto Federal de Sergipe – campus Aracaju, os quais responderam um questionário ao final da mesma. O questionário foi composto por três partes (APÊNDICE II), a primeira foi utilizada para levantar os dados gerais dos entrevistados, como idade, motivo de escolha do curso, experiências prévias na área de Engenharia Civil, etc. Desta parte, destaca-se que 42,9% dos alunos entrevistados possuem formação técnica em edificações enquanto os outros 57,1% não possuem nenhuma experiência acadêmica prévia em engenharia ou arquitetura. A grande maioria também afirma ter escolhido o curso por ter afinidade com área de exatas.

A segunda consistiu na apresentação de afirmações voltadas diretamente ao tema do projeto na qual os participantes deveriam indicar do número 1 ao 5, em que 1 significava total discordância com a afirmação enquanto o número 5 significava total concordância com a afirmação do referido item. As informações obtidas nessa parte do questionário foram compiladas no gráfico 1.

Gráfico 1 – Respostas obtidas quanto às afirmações apresentadas

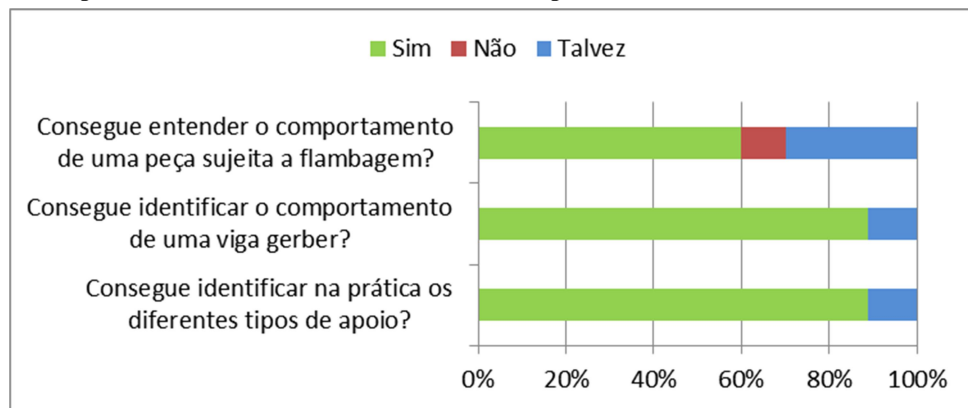


Fonte: Autor (2020)

Nesta parte do questionário várias informações relevantes podem ser verificadas, como:

- A maioria dos alunos afirma ter afinidade com matemática e física, corroborando com as respostas apresentada na primeira parte do questionário quanto aos principais fatores que os motivaram a ingressar no curso;
- A maioria dos alunos julga que o ensino médio não forneceu base suficiente para o curso de Engenharia;
- Mais estudantes relatam utilizar meios alternativos de estudo como vídeos na internet e apostilas em relação a estudar por meio de livros, possivelmente por acharem que os mesmos são de difícil entendimento;
- Embora a maioria tenha indicado que a metodologia de ensino utilizada pelos professores é satisfatória, também indicam que novas metodologias de ensino são necessárias e que modelos físicos e virtuais auxiliam o entendimento dos assuntos, o que demonstra que novas metodologias de ensino são importantes para promover um melhor grau de entendimento dos assuntos abordados;
- Poucos afirmam ter facilidade de visualizar o comportamento das estruturas seja no plano ou no espaço;
- Poucos afirmam ter afinidade com a área de estruturas;
- Em todas as afirmativas relacionadas a Realidade Aumentada, seja como parte integrante das aulas, seja em livros de engenharia, a grande maioria acredita ser uma ferramenta interessante para ser utilizada.

A terceira parte do questionário foi elaborado para avaliar o conhecimento que os estudantes conseguiram absorver da aula experimental com os modelos e animações tridimensionais em Realidade Aumentada. Na apresentação foram explanados os temas: Apoios ou vínculos, Vigas Gerber e Esforços internos, pertencentes a ementa da disciplina isostática e já apresentados aos participantes no decorrer do período letivo e, para uma melhor análise dos resultados do uso da Realidade Aumentada no ensino também foi explanado também os assuntos de flambagem e detalhamento de armaduras, pertencentes a ementas de disciplinas futuras e, portanto, nunca visto pelos participantes. O gráfico 2 apresenta as respostas obtidas sobre o entendimento de alguns dos temas apresentados.

Gráfico 2 – Respostas sobre entendimento dos assuntos apresentados com realidade aumentada

Fonte: Autor (2020)

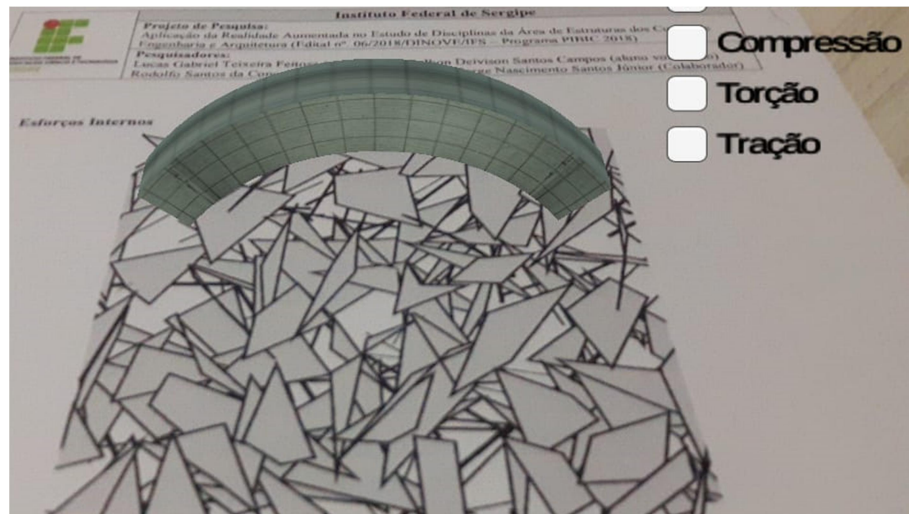
Verifica-se no gráfico 2 que a grande maioria afirma conseguir identificar o comportamento de uma viga gerber e ainda conseguir identificar na prática os diferentes tipos de apoio ou vínculos. Quanto à flambagem, tema brevemente abordado durante a aula experimental, porém respaldado por um modelo 3D animado (fotografia 2), a maior parte dos participantes afirmou conseguir entender o comportamento da estrutura quando sujeita à flambagem, o que pode indicar ser proveniente do auxílio da Realidade Aumentada.

Fotografia 2 – Modelo em Realidade Aumentada para demonstração da flambagem

Fonte: Autor (2020)

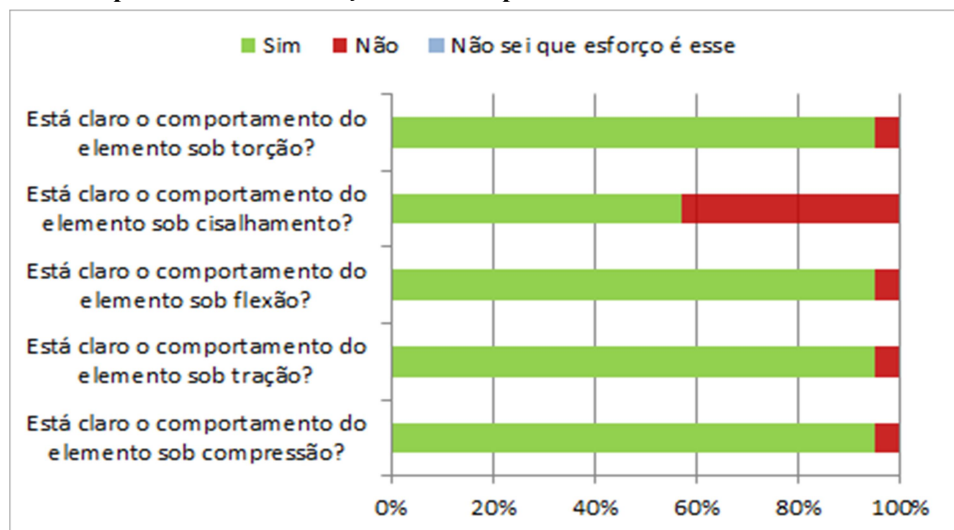
Quanto ao tema de esforços internos, os quais podem ser de quatro tipos: esforço normal (compressão ou tração), esforço cortante ou esforço cisalhante, momento fletor e momento torçor, foi apresentado um marcador no qual era possível visualizar a deformação de todos os esforços, exceto o esforço cortante (fotografia 3). O gráfico 3 apresenta as respostas obtidas sobre o entendimento dos esforços internos.

Fotografia 3 – Modelo em Realidade Aumentada para demonstração de esforços internos



Fonte: Autor (2020)

Gráfico 3 – Respostas sobre os esforços internos apresentados com realidade aumentada



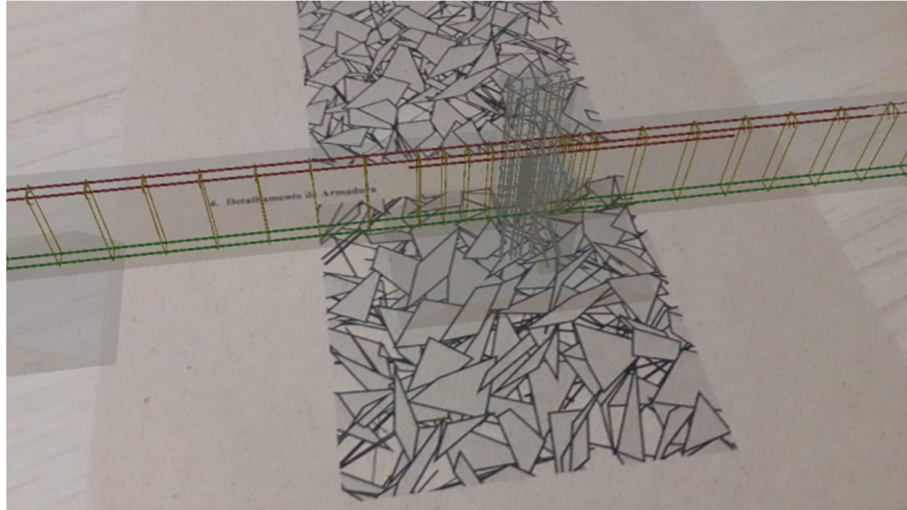
Fonte: Autor (2020)

Verifica-se no gráfico 3 que 42,9 % dos participantes afirmaram não entender o comportamento de um elemento sob cisalhamento apesar do assunto já ter sido abordado em aulas anteriores da disciplina e fazer parte do tema dos demais esforços internos (flexão, torção, compressão-tração), para os quais o nível de compreensão foi maior que 95%. Desta maneira, pode-se inferir que a diferença no resultado se deve ao uso da Realidade Aumentada na demonstração dos esforços internos.

Por fim, extrapolando o nível de dificuldade dos problemas apresentados, foi apresentado um modelo de detalhamento de armaduras para uma viga baldrame (fotografia 4). O projeto e detalhamento de armaduras é assunto abordado apenas em disciplina futura e é de difícil entendimento mesmo para aqueles com alguma experiência prática. Neste modelo as

barras foram criadas com diferentes cores para facilitar a “leitura do projeto” e foram questionados a quantidade de barras existentes em diferentes partes da viga.

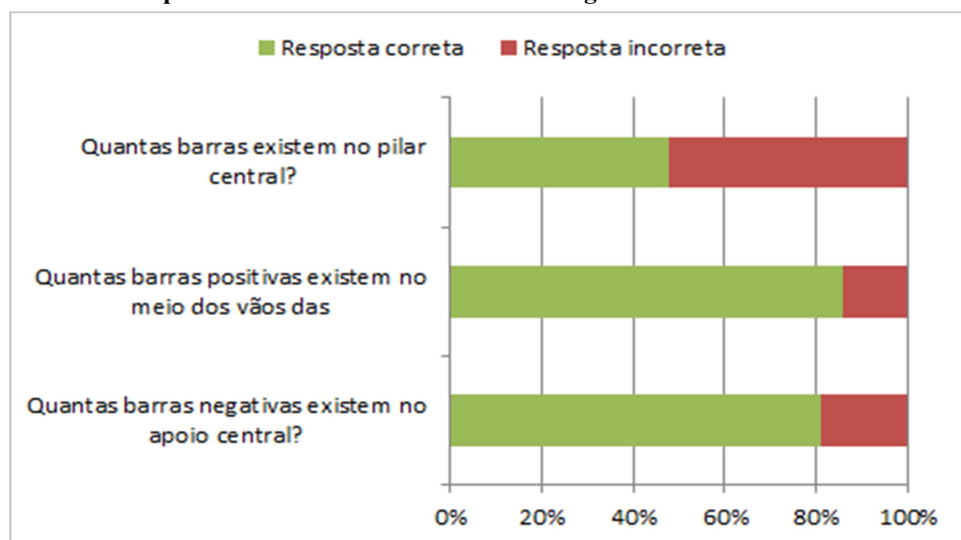
Fotografia 4 – Modelo em Realidade Aumentada para armaduras de uma Viga Baldrame



Fonte: Autor (2020)

O gráfico 4 apresenta os resultados das respostas fornecidas quanto ao número de barras presentes no modelo em Realidade Aumentada. Verifica-se um alto nível de acerto quanto a identificação do número de barras positivas e negativas existentes na viga. Entretanto, verificou-se um baixo nível de acertos para o número de barras dos pilares, possivelmente por estas terem sido modeladas na cor cinza a qual não possui um bom contraste com as folhas nas quais foram impressos os questionários como pode ser verificado também na fotografia 4.

Gráfico 4 – Respostas sobre as armaduras de uma viga em realidade aumentada



Fonte: Autor (2020)

6 CONCLUSÕES

Durante a aula experimental foi possível verificar que os aparelhos celulares dos alunos funcionaram perfeitamente com o aplicativo de Realidade Aumentada desenvolvido. Isso demonstra que a qualidade das câmeras e o poder de processamento dos aparelhos celulares móveis que antes representavam barreiras tecnológicas que impediam a utilização dessa tecnologia para fins didáticos já fora superado.

Para criação das modelagens verificou-se que, de maneira geral, o uso do *software* Blender 3D é mais adequado sobretudo quando modelos propostos são animados. Em casos pontuais, em que se pretende utilizar uma verossimilhança do comportamento estrutural (deformações, por exemplo) pode-se utilizar em conjunto o *software* SAP2000.

Através da avaliação dos dados obtidos através do questionário referente a aula experimental é possível afirmar que a tecnologia de realidade aumentada é uma ferramenta que tem o potencial de melhorar substancialmente o grau de entendimento dos estudantes em temas voltados ao estudo de estruturas e seus respectivos comportamentos quando submetidos a diferentes tipos e intensidades de esforços solicitantes. A tecnologia possibilita o aperfeiçoamento das habilidades de visualização 3D que facilita o entendimento do comportamento das estruturas de maneira mais próxima à realidade, o que é uma característica fundamental para os egressos.

Destaca-se que tão importante quanto a tecnologia em si é a modelagem dos cenários que exemplifiquem de maneira eficaz o assunto a ser abordado. Assim, a expertise dos docentes é indispensável para o desenvolvimento dos aplicativos, bem como para o planejamento das aulas que serão complementadas com o uso da Realidade Aumentada.

Verificada a viabilidade do uso da Realidade Aumentada no processo de ensino-aprendizagem, mais estudos podem ser realizados para promover a integração dessa tecnologia no ensino da engenharia civil.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Antonia L.P. **Cenários virtuais com um estudo de sincronismo de câmera**. Rio de Janeiro: PUC, 1999.
- ARNALDI, B.; GUITTON, P.; MOREAU, G. **Virtual Reality and Augmented Reality: Myths and Realities**; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2018.
- AZUMA, R. T. **A Survey of Augmented Reality**. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. Massachusetts, v. 6, n. 4, p. 355-385, agosto, 1997.
- BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. **Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia**. Anais International Conference on Engineering and Technology Education, Cairo, Egito, 13, 2014.
- BELHOT, Renato V. **A didática no ensino de engenharia**. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2005, Campina Grande. *Anais...* Paraíba, 2005.
- BROLL, W.; LINDT, I.; OHLENBURG, J.; HERBST, I.; WITTKÄMPER, M.; NOVOTNY, T. **An infrastructure for realizing custom-tailored augmented reality user interfaces**. IEEE -Transactions on Visualization and Computer Graphics. [S.l.], v. 11, n. 6, p. 722-733, dezembro, 2005.
- CHI, H.-L.; WANG, S.C.; WANG, X. **Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction**. Autom. Constr. 33, 116-122, 2013.
- DIAO, P. H.; SHIH, N. J. **Trends and Research Issues of Augmented Reality Studies in Architectural and Civil Engineering Education - A Review of Academic Journal Publications**. *Appl. Sci.* 2019.
- FERREIRA, Joana R. S. **Realidade Aumentada - Conceito, Tecnologia e Aplicações**. Universidade da Beira Interior. 2014.
- FORTE, C. E.; KIRNER, C. **Software educacional potencializado com realidade aumentada para uso em matemática e física**. Dissertação (Mestrado em Ciências da computação). Piracicaba: UNIMEP, 2009.
- HUA, H.; GAO, C.; BROWN, L. D.; AHUJA, N.; ROLLAND, J.P. **Using a head-mounted projective display in interactive augmented environments**. In Proc. ISAR 2001 (IEEE and ACM Int. Symp. on Augmented Reality 2001), pages 217-223, New York, NY, 2001.
- HUANG, Z.; HUI, P.; PEYLO, C.; CHATZOPOULOS, D. **Mobile augmented reality survey: a bottom-up approach**. *The Computing Research Repository (CoRR)*. 2013.
- KIRNER, C., KIRNER, T. G. **Educational Spatial Game using an Augmented Reality Authoring Tool**. International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications. 3, pp. 602-611. Vienna: MIR Labs, 2011.

KIRNER, C., TORI, R. **Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-realidade**. Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências. 1ed. São Paulo, v. 1, p. 3-20, 2004.

LAPINA, G.; SLAIDINS, I. **Teaching open innovation at the universities in Latvia**. Journal of Business Management, pp. 198-207, 2014.

LOPES, L. M. D. *et al.* **Inovações educacionais com o uso da realidade aumentada: uma revisão sistemática**. Educ Rev, Belo Horizonte, v. 35, e197403, 2019.

MACEDO, G. M.; SAPUNARU, R. A. **Uma breve história da engenharia e seu ensino no brasil e no mundo: foco minas gerais**. REUCP, Petrópolis, V 10, nº 1, P. 39-52, 2016.

NARZT, W., POMBERGER, G., FERSCHA, A. **Augmented reality navigation systems**. Univ Access Inf Soc 4, 177–187, 2006.

NEUMANN, U.; MAJOROS, A. **Cognitive, Performance, and Systems Issues for Augmented Reality Applications in Manufacturing and Maintenance**. IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, 4-11, 1998.

OLIVEIRA, V. F.; PINTO, D. P. **Educação em engenharia como área do conhecimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, Anais... Passo Fundo: p. 1-12, 2006.

RIBEIRO M.W.S., ZORZAL, E.R. **Realidade Virtual e Aumentada: aplicações e tendências**. Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Computação; p. 151, 2011.

ROMANO, F. V. **Repensando a Engenharia Civil para o século XXI**. In: Anais COBENGE 99: a engenharia para o Brasil do século XX. Natal, 1999.

SANTOS JÚNIOR, Jorge N. **Aplicação da realidade aumentada no canteiro de obras, visando o auxílio à reforma de cômodos de residência unifamiliar**. IFS, 2018.

SANTOS, H. F.; SÁBIO, G. F. **Abordagem em Realidade Aumentada para Momentos de Aprendizagem Autodirigida**. V Congresso Brasileiro de Informática na Educação, CBIE. p.42-51 2016.

SCHUEFFEL, P. **The Concise Fintech Compendium**. Fribourg: School of Management Fribourg/Switzerland, 2017.

SketchFab. **Ligação Metálica**. Disponível em <https://sketchfab.com/3d-models/steel-connection-web-and-flange-4cc3d1a1767d4f5fb1f16bc3e400a6c2>. Acesso em 12 de nov. de 2020a.

SketchFab. **Pórtico Espacial**. Disponível em <https://sketchfab.com/3d-models/overhang-roof-cf1713c7573448c0b22ab3af5012540d>. Acesso em 12 de nov. de 2020d.

SketchFab. **Pórtico Plano**. Disponível em <https://sketchfab.com/3d-models/portico-stand-236f36d09be44357a2b9005337fe5191>. Acesso em 12 de nov. de 2020c.

SketchFab. **Sapata**. Disponível em <https://sketchfab.com/3d-models/concrete-column-with-footing-e9bb437232ac4adf9bc8d5f9f6beb8e0>. Acesso em 12 de nov. de 2020e.

SketchFab. **Treliça**. Disponível em <https://sketchfab.com/3d-models/round-timber-gable-truss-ab4d501c388d4611a8f981e7f7576f7a>. Acesso em 12 de nov. de 2020b.

The verge. **Amazon's app now lets you place items inside your home using AR**. Disponível em <https://www.theverge.com/2017/11/1/16590160/amazon-furniture-placement-ar-feature-too>. Acesso em 12 de nov. de 2020.

University of Washington, Uw news. **Parents who play 'Pokémon GO' with kids: 'It wasn't really about the Pokémon'**. Disponível em <https://www.washington.edu/news/2017/03/28/parents-who-play-pokemon-go-with-kids-it-wasnt-really-about-the-pokemon/>. Acesso em 12 de nov. de 2020.

VAN KREVELEN, F. D. W.; POELMAN, R. **A survey of augmented reality technologies, applications and limitations**. Int. J. Virtual Reality 9, 1–20, 2010.

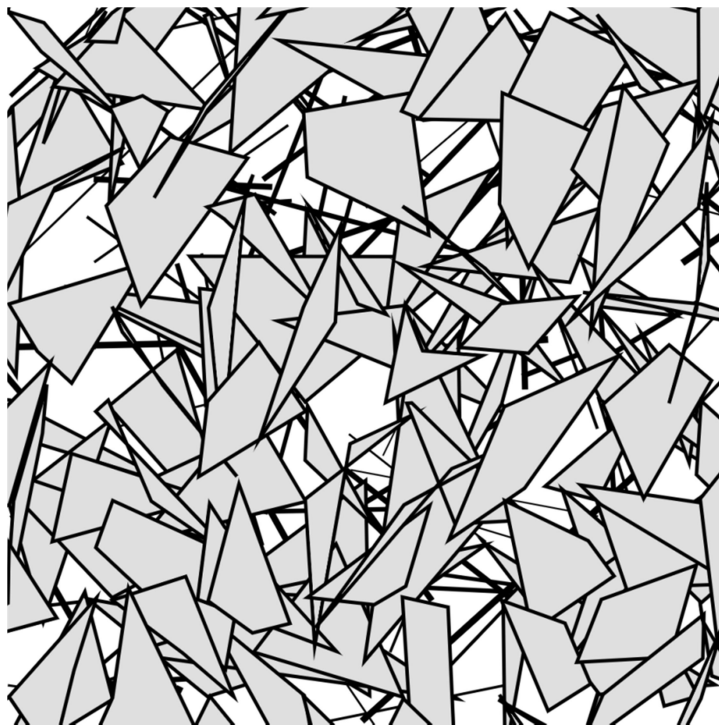
ZÁBOVSKÁ, K e BUČKO, B.; **International journal of information technologies, engineering and management science**. International Journal of Information Technologies, Engineering and Management Science, Volume 5, Issue 1: December, 2019.

ZIEGLER, E. **Real-time markerless tracking of objects on mobile devices**. B.Sc. Thesis. Koblenz: University of Koblenz, 2009.

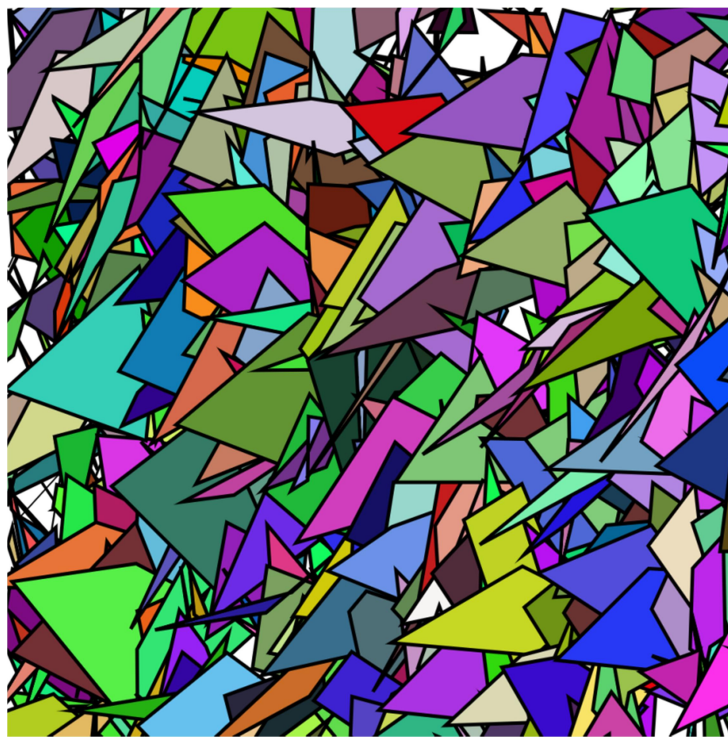
APÊNDICE I

MARCADORES DOS CENÁRIOS CRIADOS

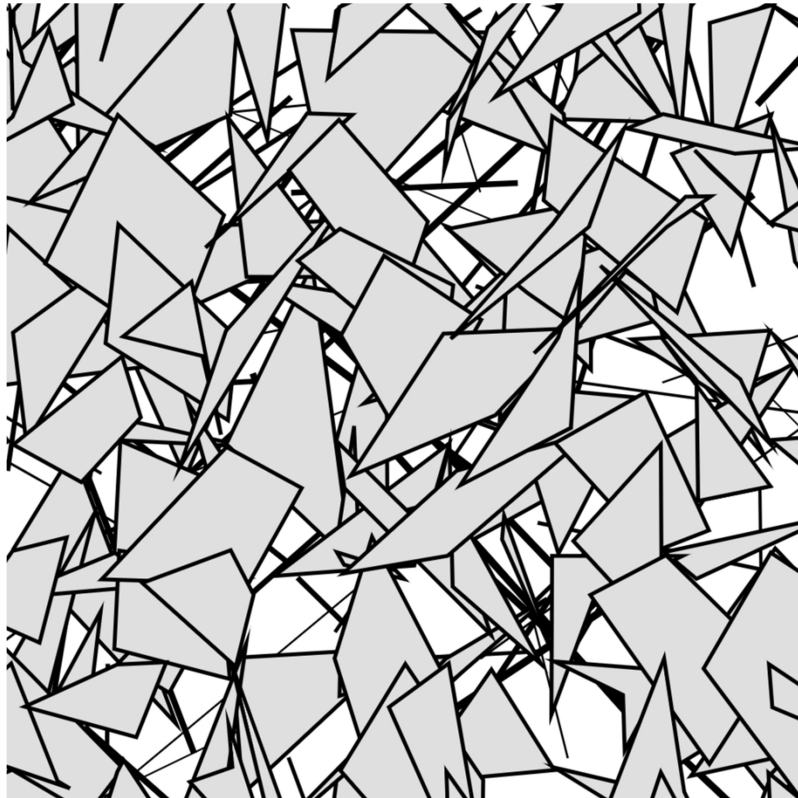
Marcador 1 – Elemento livre



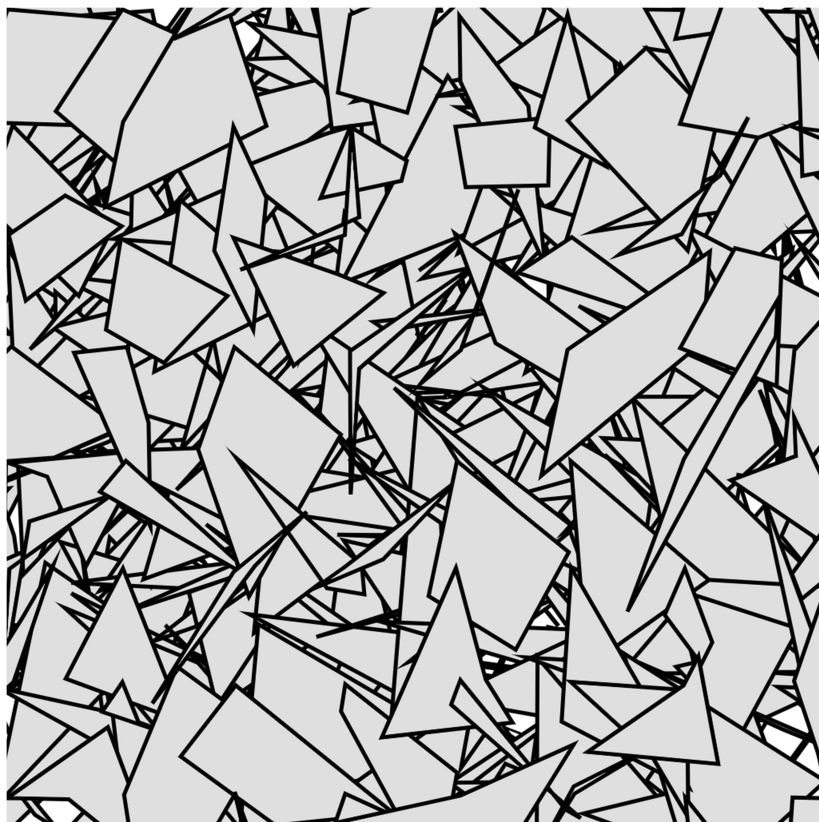
Marcador 2 – Viga continua



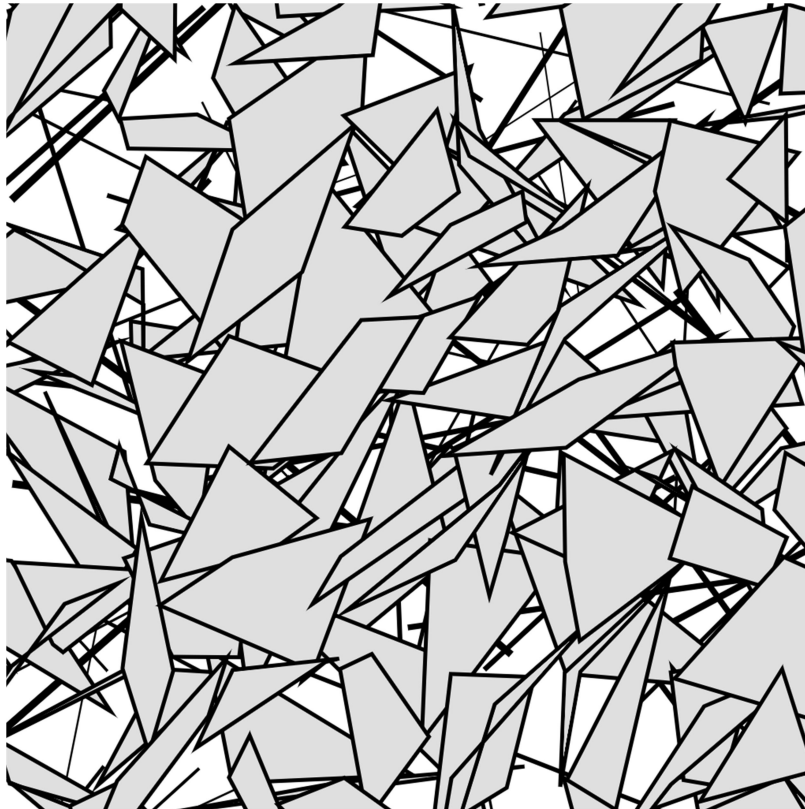
Marcador 1 – Viga Gerber



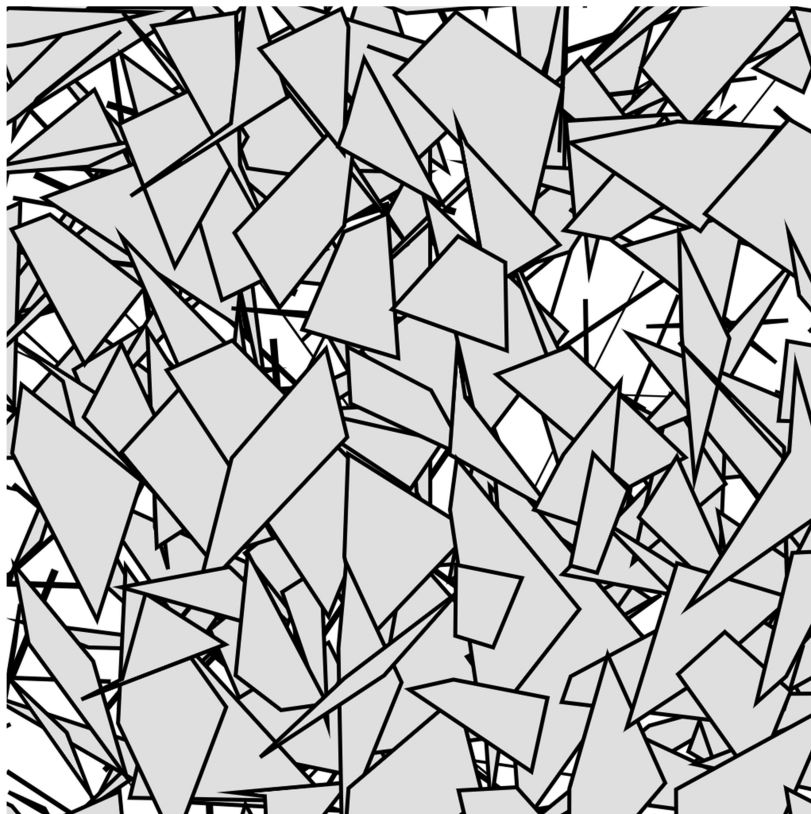
Marcador 4 – Deformação em pórtico espacial



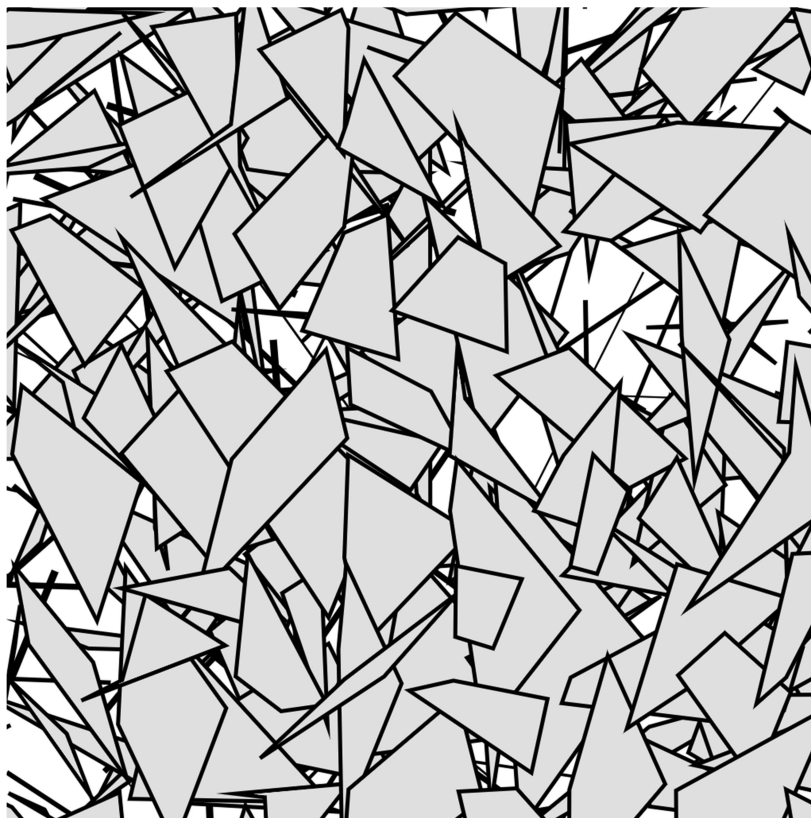
Marcador 5 – Detalhamento de Viga Baldrame e Pilar



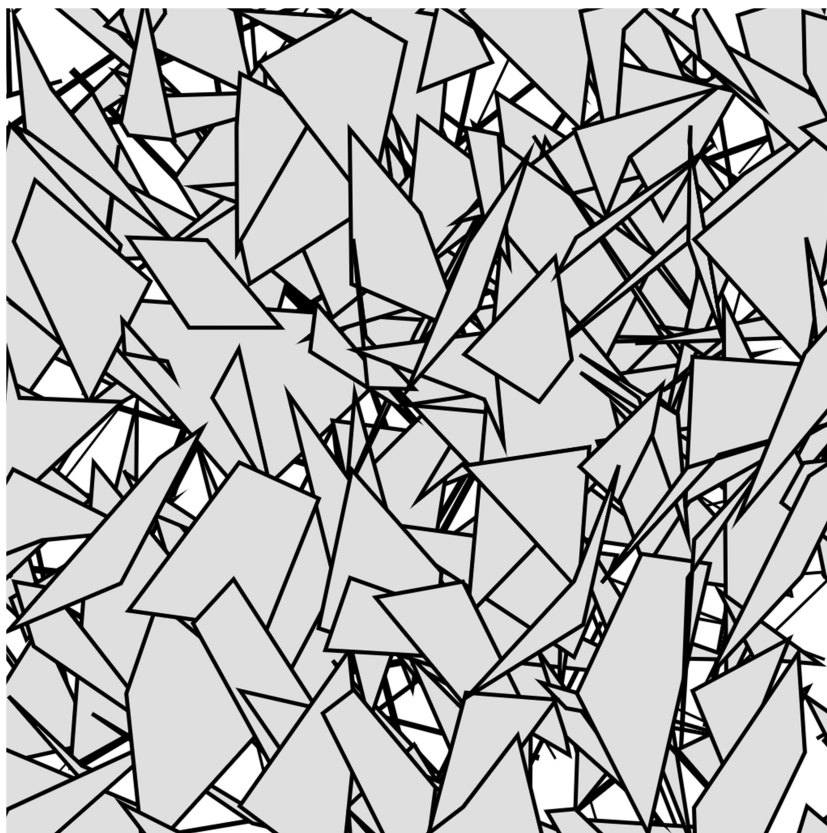
Marcador 6 – Diversos elementos estruturais



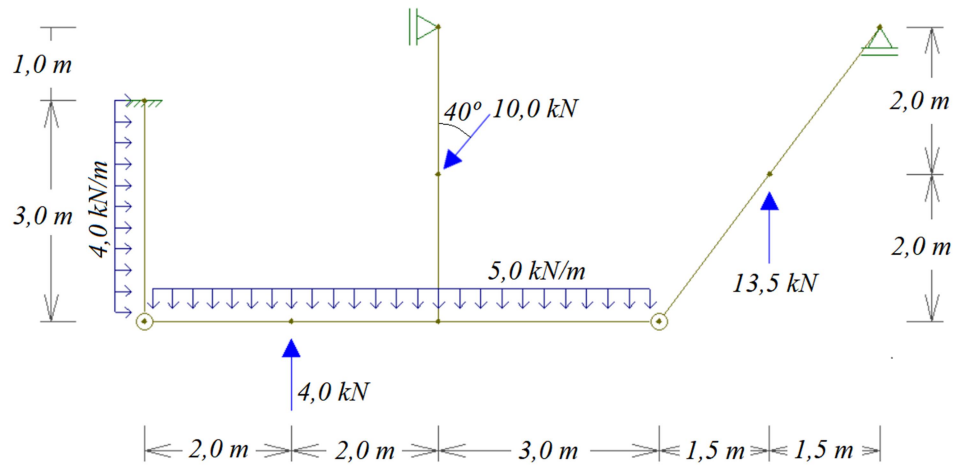
Marcador 7 – Vínculo de primeiro e segundo gênero



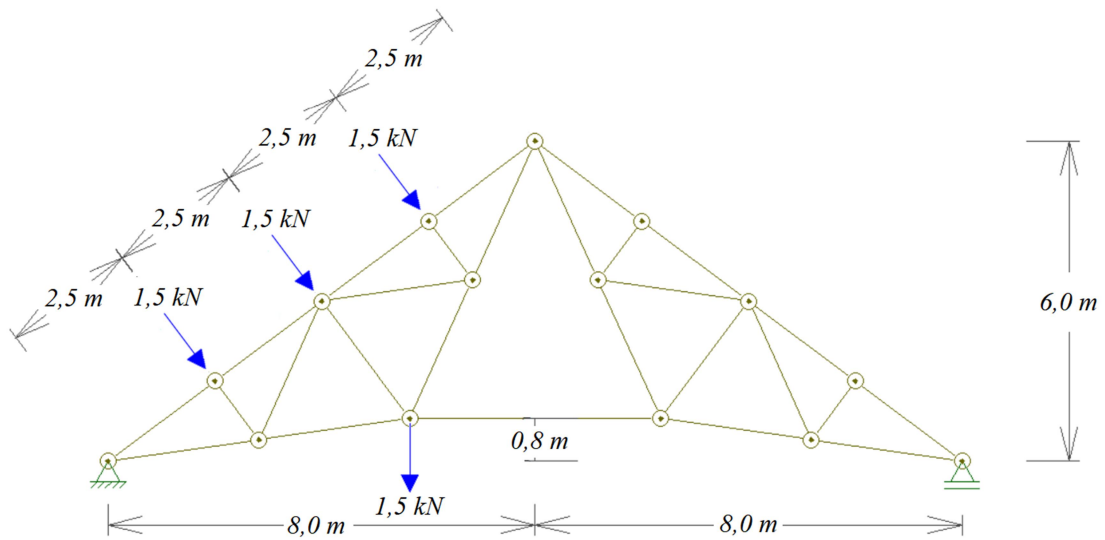
Marcador 8 – Viga engastada



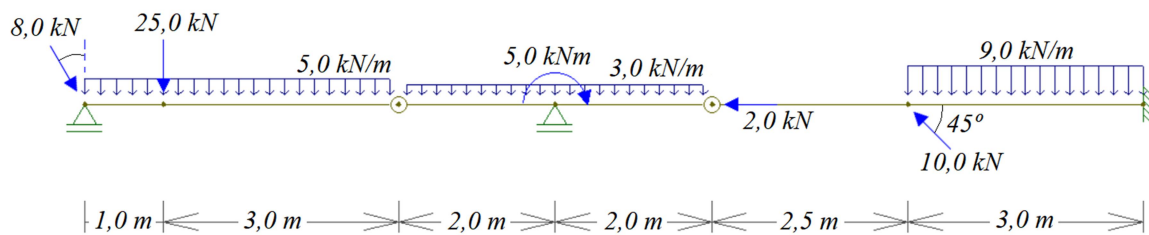
Marcador 9 – Gabarito de questão



Marcador 10 – Gabarito de questão



Marcador 11 – Gabarito de questão



APÊNDICE II

QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ESTUDANTES DOS CURSOS DE ENGENHARIA

Apresentação

O presente documento visa realizar um levantamento das dificuldades encontradas nas disciplinas da área de estrutura dos Cursos de Engenharia Civil e Arquitetura quanto a interpretação e visualização dos problemas propostos na disciplina e quanto ao uso da realidade aumentada como ferramenta didática auxiliar. Esse estudo constitui parte integrante das atividades do projeto de pesquisa aprovado no Programa PIBIC 2018 (**Edital 06/2018/DINOVE/IFS**) e do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil do discente Lucas Gabriel Teixeira Feitosa.

1. Dados Gerais do Entrevistado.

1.1. Idade:	1.2. Gênero: () Masculino () Feminino () Outro
1.3. Período (Ex.: 5º):	1.4. Quando ingressou no curso (Ex.: 2017/2):
1.5. Cidade:	1.6. Tipo de Instituição: () Pública () Privada
1.7. Por que escolheu esse curso?	
1.8. Possui alguma outra formação na área do curso (curso técnico, profissionalizante ou similar)? Se sim, qual?	
1.9. Possui alguma experiência na área do curso? Se sim, qual?	
1.10. Qual assunto na área de estruturas você teve mais dificuldade de entender?	

2. Perguntas ao Entrevistado voltadas diretamente ao tema do projeto.

A seguir serão apresentadas algumas afirmações, marque através da escala apresentada, o que melhor reflete sua opinião.

DISCORDO
TOTALMENTE

1

2

3

4

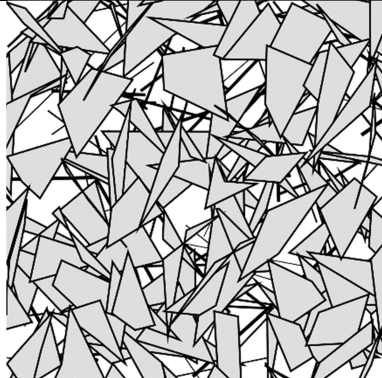
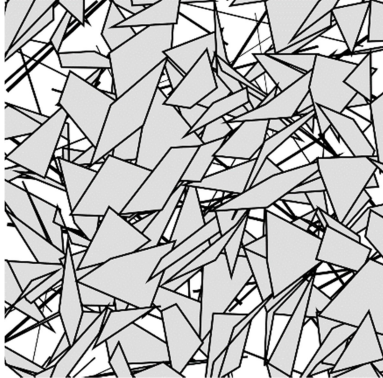
5

CONCORDO
TOTALMENTE

2.1. Tenho afinidade com matemática.	1	2	3	4	5
2.2. Tenho facilidade em aplicar os conceitos de matemática.	1	2	3	4	5
2.3. Tenho afinidade com física.	1	2	3	4	5
2.4. Tenho facilidade em aplicar os conceitos de física.	1	2	3	4	5
2.5. O ensino médio me deu a base necessária para o curso de Engenharia.	1	2	3	4	5
2.6. Acho os livros de Engenharia difíceis de entender.	1	2	3	4	5
2.7. Resolvo os exercícios propostos em sala de aula.	1	2	3	4	5
2.8. A metodologia de ensino dos (as) professores (as) é satisfatória.	1	2	3	4	5
2.9. Novas metodologias de Ensino são necessárias.	1	2	3	4	5
2.10. Estudo por livros.	1	2	3	4	5
2.11. Estudo por apostilas.	1	2	3	4	5
2.12. Estudo por vídeos na internet.	1	2	3	4	5
2.13. Estudo com os amigos da turma em grupos de Estudo.	1	2	3	4	5
2.14. Tenho afinidade com a área de estruturas.	1	2	3	4	5
2.15. Prefiro outra área de atuação em relação à Estruturas.	1	2	3	4	5

2.16.Tenho facilidade em visualizar o comportamento das estruturas no plano.	①	②	③	④	⑤
2.17.Tenho facilidade em visualizar o comportamento das estruturas no espaço.	①	②	③	④	⑤
2.18.Tenho facilidade em enxergar a relação teoria x prática.	①	②	③	④	⑤
2.19. Modelos físicos auxiliam o entendimento dos assuntos.	①	②	③	④	⑤
2.20. Modelos virtuais auxiliam o entendimento dos assuntos.	①	②	③	④	⑤
2.21.A realidade aumentada pode me motivar mais a estudar.	①	②	③	④	⑤
2.22.A realidade aumentada tornaria as aulas mais interessantes.	①	②	③	④	⑤
2.23.A realidade aumentada tornaria os livros mais interessantes.	①	②	③	④	⑤

3. Perguntas ao Entrevistado voltadas a aula com uso da realidade aumentada.

3.1. Considera a RA como uma ferramenta útil ao ensino de estruturas? ()Sim ()Não ()Talvez	
3.2. Consegue identificar na prática os diferentes tipos de apoio? ()Sim ()Não ()Talvez	
3.3. Consegue identificar o comportamento de uma viga gerber? ()Sim ()Não ()Talvez	
3.4. Consegue entender o comportamento de uma peça sujeita a flambagem? ()Sim ()Não ()Talvez	
3.5. O modelo de realidade aumentada abaixo apresenta uma viga sujeita as deformações dos esforços internos. Sobre esse modelo responda:	
3.5.1.Está claro o comportamento do elemento sob compressão? ()Sim ()Não ()Não sei que esforço é esse	
3.5.2.Está claro o comportamento do elemento sob tração? ()Sim ()Não ()Não sei que esforço é esse	
3.5.3.Está claro o comportamento do elemento sob flexão? ()Sim ()Não ()Não sei que esforço é esse	
3.5.4.Está claro o comportamento do elemento sob cisalhamento? ()Sim ()Não ()Não sei que esforço é esse	
3.5.5.Está claro o comportamento do elemento sob torção? ()Sim ()Não ()Não sei que esforço é esse	
3.6. O modelo de realidade aumentada abaixo apresenta o detalhamento da armadura de uma viga. Sobre esse modelo responda:	
	3.6.1.Quantas barras negativas existem no apoio central? ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
	3.6.2.Quantas barras positivas existem no meio dos vãos das vigas? ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
	3.6.3.Qual a região com mais estribos?
	3.6.4.Quantas barras existem no pilar central? ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
3.7. Quais outros temas você gostaria de ver em realidade aumentada?	

A equipe agradece sua participação na pesquisa.