

**TÚLIO RESENDE ALCÂNTARA FERNANDES**

**PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA DE REALIDADE AUMENTADA PARA O  
ENSINO DE PROJETO BIOCLIMÁTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Clarissa Ferreira Albrecht

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Fernandes, Túlio Resende Alcântara, 1990-  
F363p Proposta de uma ferramenta de realidade aumentada para o  
2023 ensino de projeto bioclimático / Túlio Resende Alcântara  
Fernandes. – Viçosa, MG, 2023.  
1 dissertação eletrônica (83 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Clarissa Ferreira Albrech.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.606>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Arquitetura e clima. 2. Bioclimatologia - Projeto  
auxiliado por computador. 3. Realidade aumentada.  
4. Arquitetura - Estudo e ensino. I. Albrech, Clarissa Ferreira,  
1981-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD 22. ed. 720.47

**TÚLIO RESENDE ALCÂNTARA FERNANDES**

**PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA DE REALIDADE AUMENTADA PARA O  
ENSINO DE PROJETO BIOCLIMÁTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de junho de 2023.

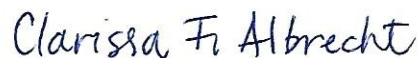
Assentimento:



---

Túlio Resende Alcântara Fernandes

Autor



---

Clarissa Ferreira Albrecht

Orientadora

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Marinalva e Antonio, pelo incentivo, pelas orações e pelos ensinamentos mais valiosos.

Ao meu querido irmão Vítor, por estar sempre comigo de perto ou de longe.

À minha orientadora, Clarissa, cujo empenho e disposição em abrir portas e oportunidades marcaram minha trajetória de arquiteto tanto nas primeiras aulas da graduação quanto na conclusão do mestrado, enfrentando com muita paciência os problemas mais esperados e inesperados.

À Ana Carolina, cuja companhia, determinação e integridade me inspiraram a seguir em frente durante todo esse processo.

Aos meus amigos, que para minha sorte são tantos, com quem dividi sorrisos, perdas, histórias, lares, músicas, e com certeza estão genuinamente felizes com essa etapa concluída.

Aos meus professores, por quem cresce a cada dia minha admiração, em especial à Luciana, Ítalo, Maristela, Tiago, Ramon, Elza, Joyce, Denise e Rosana.

Aos colegas de laboratório e de departamento, que desde a graduação são responsáveis pela riqueza do ambiente acadêmico.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação e pela formação crítica e cidadã.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

## RESUMO

FERNANDES, Túlio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2023. **Proposta de uma ferramenta de realidade aumentada para o ensino de projeto bioclimático.** Orientadora: Clarissa Ferreira Albrecht.

No entendimento de que o uso de ferramentas digitais é parte integrante do desenvolvimento dos estudantes de Arquitetura, este trabalho estruturado na forma de artigos consiste, numa pesquisa exploratória que tem como objeto de estudo a Realidade Aumentada como ferramenta para o ensino de Projeto Bioclimático para o qual por meio da metodologia de relato de experiência explorou a disciplina de Conforto Térmico, do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa, como campo do qual se extraiu os conteúdos e abordagem de ensino bem como as ferramentas, estratégias e recursos didáticos utilizados na mesma. Tal exploração serviu de ponto de partida para refletir sobre as metodologias de ensino no contexto da graduação. Ao passo que, o estudo de caso desenvolvido e apresentado no terceiro capítulo está caracterizado como de casos múltiplos incorporados apresentando unidades múltiplas de análise: o contexto no qual cada ferramenta foi desenvolvida, a interface ou meio pela qual se apresenta e a profundidade de informação que cada ferramenta se propõe a explorar. Os três casos analisados foram o Kit estrutural MOLA, Projeteee e Typology Cards. Permitindo identificar os elementos que cada ferramenta analisada oferece, os quais poderiam ser aproveitados na definição de uma base para o desenvolvimento de uma nova ferramenta de ensino. Como síntese reflexiva apresenta uma proposta de ferramenta didática baseada em AR na forma de cartas codificadas interpretadas por uma interface web, corroborando para a compreensão de viabilidade da AR como recurso didático para o ensino superior na área de projeto bioclimático em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo.

**Palavras-Chave:** Ferramenta de Ensino. Projeto Bioclimático. Realidade Aumentada. Ensino de Arquitetura.

## ABSTRACT

FERNANDES, Túlio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June 2023. **Proposal of an augmented reality tool for teaching bioclimatic design.** Advisor: Clarissa Ferreira Albrecht.

With the understanding that the use of digital tools is an integral part of the development of Architecture students, this work structured in the form of articles consists of an exploratory research that studies Augmented Reality as a tool for teaching Bioclimatic Design explored through an experience report methodology the subject of Thermal Comfort, from the Architecture and Urbanism course at the Universidade Federal de Viçosa, as a field from which the contents and teaching approach were extracted as well as the tools, strategies and didactic resources used in it. This exploration served as a starting point to reflect on teaching methodologies in the undergraduate context. Meanwhile, the case study developed and presented in the third chapter is characterized as multiple embedded cases presenting multiple units of analysis: the context in which each tool was developed, the interface or medium through which it is presented and the depth of information that each tool proposes to explore. The three cases analyzed were the MOLA Structural Kit, Projeteee and Typology Cards. Allowing to identify the elements that each analyzed tool offers, which could be used to define a basis for the development of a new teaching tool. As a reflective synthesis, it presents a proposal for a didactic tool based on AR in the form of coded cards interpreted by a web interface, corroborating the understanding of the viability of AR as a didactic resource for higher education in the area of bioclimatic design in undergraduate courses in Architecture and Urbanism.

**Keywords:** Learning Tool. Bioclimatic Design. Augmented Reality. Architecture Education.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico a partir do levantamento de artigos de revisão sobre AR em diferentes sub-áreas.....	23
Figura 2 – Conteúdo da disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico.....	28
Figura 3 – Experimento utiliza uma resistência térmica para demonstrar a capacidade de absorção de calor do vidro .....	29
Figura 4 – Página da web com diagrama psicrométrico interativo utilizado na disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico .....	30
Figura 5 – Página da web demonstrando as mudanças da geometria solar de acordo com a latitude .....	31
Figura 6 – Página da web que permite fazer upload de um modelo 3d para estudo de sombreamento .....	31
Figura 7 – Diferentes vistas usadas para explicar o mesmo fenômeno .....	34
Figura 8 – QR code que direciona para a visualização do exemplo da Figura 7.....	34
Figure 9 – A diagram illustrating the method used for the case studies. ....	40
Figure 10 – The Mola Structural Kit that comes with modular magnetic pieces to be assembled intuitively or with the help of the manual. ....	42
Figure 11 – Case Study No. 1 diagram. ....	43
Figura 12 – Projeteee help architects make design decisions in line with the site's climate conditions.....	45
Figura 13 – Case Study No. 2 diagram. ....	46
Figure 14 – Typology Cards purposefully separates house, property, people and even sustainability types to better understand and communicate its actual separation in real life.....	47
Figure 15 – Case study No. 3 diagram.....	48
Figura 16 – Aspects to be present in future learning tools. ....	49
Figura 17 – Marcadores do tipo Hiro e código de barras, utilizados pela biblioteca AR.js .....	59
Figura 18 – Um código QR contendo um endereço web.....	60
Figura 19 – Um código QR parcialmente obstruído para conferir-lhe assimetria .....	61

Figura 20 – Da esquerda para a direita: a estampa utilizada na ferramenta AR.js Marker Training, o marcador produzido e o exemplo de uma imagem que combina o marcador com um código QR.....	62
Figura 21 – Elementos obrigatórios do HTML e título da página.....	63
Figura 22 – Importação de bibliotecas externas.....	63
Figura 23 – Elementos do corpo da página HTML.....	64
Figura 24 – Configuração inicial.....	64
Figura 25 – A função não prossegue enquanto não houver um vídeo disponível.....	65
Figura 26 – A imagem da câmera é copiada.....	65
Figura 27 – Conversão do conteúdo do QR-code em um endereço para um modelo 3D.....	66
Figura 28 – Remoção de elementos associados ao marcador, antes de carregar um novo modelo.....	67
Figura 29 – Adição de um novo modelo 3D, após a leitura do QR-code.....	67
Figura 30 – As cartas apresentam nome e ilustração na frente e um código no verso que quando escaneado exhibe um modelo tridimensional referente a estratégia ou conceito abordado.....	68
Figura 31 – A leitura do código direciona para a visualização de um modelo 3D em Realidade Aumentada.....	69
Figura 32 – Exemplo de folha A4 que expande o uso das cartas com visualização de uma trajetória solar sobre uma maquete em escala.....	70
Figura 33 – Cartas podem trazer conceitos como trajetória solar.....	70
Figura 34 – Exemplo de desafio onde as cartas com estratégias de projeto se relacionam a uma mudança nas condições de um ambiente.....	71
Figura 35 – Cartas que respondem ao exemplo de desafio da Figura 24.....	72
Figura 36 – Nesse exemplo é apresentado um resumo do clima de Viçosa, para que se possa escolher as estratégias a partir das informações apresentadas.....	72
Figura 37 – Estratégias recomendadas para o clima de Viçosa.....	73

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AR	Realidade Aumentada.
VR	Realidade Virtual.
MxR	Realidade Mista.
NBR	Norma Técnica Brasileira
LATECAE	Laboratório de Tecnologias em Conforto Ambiental e Eficiência Energética

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
REFERÊNCIAS.....	16
<b>CAPÍTULO 2 - REALIDADE AUMENTADA E ESTRATÉGIAS ADOTADAS NO ENSINO DE PROJETO BIOCLIMÁTICO EM ARQUITETURA: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA.....</b>	<b>17</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	18
2.2 INTERAÇÃO ENTRE A INFORMAÇÃO E O USUÁRIO: A REALIDADE AUMENTADA.....	20
2.3 REALIDADE AUMENTADA E VIRTUAL EM ARQUITETURA .....	22
2.4.1 Tecnologias adotadas no ensino de projeto bioclimático em uma disciplina do curso de graduação em arquitetura .....	26
2.5 CONSIDERAÇÕES.....	32
REFERÊNCIAS.....	35
<b>CAPÍTULO 3 - MEANINGFUL TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURE EDUCATION: THREE CASE STUDIES.....</b>	<b>37</b>
3.1 INTRODUCTION.....	38
3.2 METHOD.....	39
3.3 CASE STUDY No. 1: MOLA STRUCTURAL KIT .....	41
3.4 CASE STUDY No. 2: PROJETEER .....	43
3.5 CASE STUDY No. 3: TYPOLOGY CARDS.....	46
3.6 CONCLUSION .....	48
REFERENCES.....	50
<b>CAPÍTULO 4 - REALIDADE AUMENTADA COMO FERRAMENTA PARA ENSINO DE PROJETO BIOCLIMÁTICO: ROTEIRO PARA VISUALIZAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS NA WEB.....</b>	<b>52</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	55
4.2 METODOLOGIA .....	57
4.3 A INTERFACE DIGITAL E SEUS COMPONENTES .....	58
4.4 IMPLEMENTAÇÃO DA PÁGINA WEB .....	62
4.5. INTERFACE FÍSICA NA FORMA DE CARTAS CODIFICADAS.....	68
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	73
REFERÊNCIAS.....	75
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>77</b>
5.2 LIMITAÇÕES .....	78

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	78
<b>APÊNDICE A – Cartas com estratégias recomendadas para Viçosa - MG.....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE B – Cartas com a trajetória solar para a latitude de Viçosa – MG ...</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE C – Base para estudo solar a partir das cartas .....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE D – Exercício adaptado da disciplina de Conforto Térmico.....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE E – Desafio que relaciona aplicação de estratégias ao clima.....</b>	<b>83</b>

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A indústria da construção se encontra num momento de forte transformação a partir da adoção de novas tecnologias que promovem digitalização, automação, integração e otimização de processos no ciclo de vida de um projeto. Entre essas tecnologias destaca-se a Realidade Aumentada (AR), um sistema avançado de visualização que pode melhorar atividades que dependem ou se valem de acesso a dados visuais, como revisão de projeto, treinamento e gestão através de modelos tridimensionais digitais e interativos, em escala de leiautes ou edifícios inteiros e comparação entre projeto e execução. Empresas de construção, escritórios de arquitetura e instituições de pesquisa já se beneficiam de soluções envolvendo AR, que é listada entre as mais promissoras tecnologias para melhoria de produtividade na construção civil, com expectativa de um rápido crescimento de mercado nos próximos anos (HUSSIEN; WARAICH; PAES, 2020).

Quanto à formação do arquiteto, é esperado que estudantes e profissionais de arquitetura cada vez mais atinjam níveis conceituais de projeto que apresentem bom desempenho ambiental e abordagens mais holísticas em sua elaboração diante das mudanças climáticas e impacto na qualidade de vida. Especificamente no Brasil, apesar de todo o desenvolvimento do conhecimento em projeto bioclimático, a maioria dos arquitetos não os integram, o que é agravado por pressões de mercado (MACIEL, 2006).

Além disso, a introdução de princípios e conceitos de projeto bioclimático, básicos e/ou aprofundados, pode impactar o entendimento abrangente da noção de sustentabilidade, e a conscientização acerca do conforto e questões ambientais, influenciando de forma positiva a carreira profissional e a prática arquitetônica dos estudantes (RASHED-ALI *et al.*, 2014). Espera-se também que as escolas de arquitetura adotem esse paradigma digital e desenvolvam assim procedimentos integrativos de ensino, almejando educar e desenvolver nas novas gerações de arquitetos um alto grau de consciência sustentável, e uma sólida compreensão a respeito das implicações de suas decisões no processo de projeto (SARHAN, 2012 apud SARHAN; RUTHERFORD, 2014).

Porém, esse tipo de abordagem mais holística e integrativa está diretamente ligada a uma característica determinante para que o arquiteto tenha sucesso na aplicação desses conceitos: a sua capacidade de comunicar e entrar em acordo com as diferentes partes envolvidas (*stakeholders*) em um projeto. Apesar da notável quantidade e diversidade de tecnologias disponíveis, um dos principais desafios da indústria da construção é a comunicação e troca de informações entre essas partes, que ainda é feita através de métodos imprecisos e com grande consumo de tempo (HUSSIEN; WARAICH; PAES, 2020).

Nas salas de aula e ateliês de projeto, já se observa o crescente foco em treinamento e aprimoramento de *softwares* e ferramentas baseadas em computação no ensino superior de arquitetura (ARASHPOUR; ARANDA-MENA, 2017; HOLZER, 2019). Entretanto, esta capacitação acaba por ocupar as matrizes curriculares, que por sua vez se tornam cada vez mais sobrecarregadas, demandando dos educadores que procurem métodos para instruir os estudantes de forma a maximizar os benefícios de interações presenciais combinadas com instrumentos de ensino online e autônomo (HOLZER, 2019).

Assim, a AR, que é fundamentalmente uma ferramenta avançada de visualização, pode ser uma alternativa para melhorar as condições de tomada de decisão colaborativa e solução de problemas pelos arquitetos, além da comunicação e inserção de tecnologia em sala de aula.

Muitas pesquisas sobre AR são conduzidas no sentido de usar dispositivos e aplicativos como forma de suporte ao processo de projeto em arquitetura. Entretanto, encontrou-se um menor número de produções científicas focadas na avaliação da pertinência de VR e AR no que tange ao ensino de projeto.

À vista disso, há uma oportunidade de busca e desenvolvimento de um arcabouço conceitual (*framework*) a ser utilizado em aplicações que dão suporte específico ao ensino em arquitetura. Desta forma, as propostas com foco no enriquecimento da atividade projetual em si podem ser parte do ensino de projeto, entretanto, para uma implementação pedagógica, as características da aplicação devem ser adaptadas, entendendo que, para estudantes de arquitetura o ateliê de projeto é a parte mais fundamental de seu currículo acadêmico (MILOVANOVIC *et al.*, 2017).

A partir desse cenário, problematiza-se a proposição de uma ferramenta de ensino baseada em AR e como seus aspectos interativos poderiam contribuir para a compreensão e aplicação no processo de projeto, abrindo campo para sua adoção no desenvolvimento de conceitos de projeto bioclimático por estudantes de arquitetura, além de fomentar a aplicação de AR no ensino e, conseqüentemente, futura prática na arquitetura.

Para isso, optou-se por realizar um levantamento de campo dentro da disciplina ARQ 326 - Eficiência Energética, do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFV, a fim explorar estritamente os conteúdos e abordagem de ensino bem como as ferramentas, estratégias e recursos didáticos utilizados no curso pela docente. Tal exploração serviu de ponto de partida para refletir sobre as metodologias de ensino no contexto da graduação - sobre as quais pretendia-se identificar as contribuições das ferramentas digitais e possibilidades de incorporação à AR.

Nesse sentido, o objetivo desta dissertação é apresentar uma proposta de ferramenta didática baseada em AR na forma de cartas codificadas interpretadas por uma interface *web*, de modo a propor AR como meio para se criar ferramentas para o ensino de projeto bioclimático em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Na etapa de projeto para a realização deste trabalho, foram estabelecidos quatro Objetivos Específicos (OE) os quais desenvolvidos e apresentados a seguir. O primeiro OE foi identificar conceitos e estratégias de projeto bioclimático abordados na formação de estudantes de arquitetura os quais pudessem ser comunicados por meio de Realidade Aumentada. Para isso, com base na metodologia do relato de experiência foi realizada uma revisão bibliográfica que resultou na fundamentação do artigo apresentado no capítulo 2. O levantamento compôs a base teórica a respeito dos temas: Projeto Bioclimático, Realidade Aumentada e sua aplicação na Arquitetura. Sendo que o artigo foi construído no formato de relato de experiência abordando o acompanhamento das tecnologias adotadas para o ensino na disciplina ARQ 326 - Eficiência Energética, do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa, ministrada pela Professora Joyce Correna Carlo.

Já o OE2, foi alcançado e apresentado no Capítulo 4 onde foram articulados os conceitos e estratégias de Projeto Bioclimático identificados de modo a favorecer sua

compreensão e comunicação. No referido capítulo, está apresentado um exercício propositivo de modelo AR no qual foi explorado e ilustrado o tema em questão. Fica contemplado, também no capítulo 4, o OE3 de construir uma ferramenta didática baseada em AR na forma de cartas codificadas interpretadas por uma interface web, o que se deu a partir dos capítulos 2 e 3. Os objetivos apresentados levam ao OE4, onde discutimos as potencialidades pedagógicas no uso da ferramenta no ensino de projeto.

Sobre o percurso metodológico, vale explicar que o trabalho ganhou no decorrer de seu desenvolvimento uma dimensão de pesquisa exploratória permitindo emergir como objeto de estudo, a Realidade Aumentada (AR) como ferramenta para o ensino de Projeto Bioclimático, sendo que a disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico figurou não como um espaço de experimentação de metodologias junto aos discentes de graduação<sup>1</sup>, mas como campo para a extração de conteúdos explorados nesta pesquisa ao lado de fontes primárias e secundárias exploradas na revisão de literatura.

Sobre o estudo de caso apresentado, foi desenvolvido um estudo denominado por Yin (2001, p.61) como de casos múltiplos incorporados, no qual unidades múltiplas de análise: o contexto no qual cada ferramenta foi desenvolvida, a interface ou meio pela qual se apresenta e a profundidade de informação que cada ferramenta se propõe a explorar, sendo três os casos analisados o Kit estrutural MOLA, Projeteee e Typology Cards. O que foi feito tanto para extrair elementos para a construção de uma proposta de ferramenta didática para o ensino de projeto bioclimático através da AR em arquitetura, quanto para relacioná-los entre si.

As ferramentas analisadas foram escolhidas por seu aspecto interativo facilitando a introdução a conceitos teóricos básicos para a formação em arquitetura (comportamento das estruturas, relação da construção e clima e a relação entre arquitetura e contexto urbano). Do mesmo modo que ocorreu uma exploração da disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico, o estudo de caso teve o objetivo de identificar os elementos que cada ferramenta analisada oferece, os quais poderiam ser

---

<sup>1</sup>Tal decisão se deu em favor da observação das estratégias empregadas pela docente em aula, visto que para desenvolver o trabalho de experimentação junto aos estudantes seria necessário adotar outras metodologias de pesquisa, tais como Pesquisa Ação fugindo do escopo deste trabalho.

aproveitados na definição de uma base para o desenvolvimento de uma nova ferramenta de ensino, a qual proposta no Capítulo 4 do presente trabalho.

Em resumo, este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma introdução geral, contextualiza o problema e justifica o tema. O Capítulo 2, como mencionado anteriormente, contém a base teórica a respeito dos temas de Realidade Aumentada, sua aplicação na Arquitetura, Projeto Bioclimático e tecnologias utilizadas para seu ensino. O Capítulo 3 apresenta em formato de artigo, três casos analisados por meio da metodologia de Estudo de Caso, trazendo exemplos de ferramentas de ensino, a fim de subsidiar o desenvolvimento de uma nova ferramenta didática. O Capítulo 4 descreve a proposta de construção da ferramenta didática para ensino de Projeto Bioclimático através da tecnologia de Realidade Aumentada, a partir do conteúdo discutido nos capítulos anteriores trazendo o roteiro dessa construção. Por último, no Capítulo 5, as contribuições da pesquisa, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

ARASHPOUR, Mehrdad; ARANDA-MENA, Guillermo. Curriculum renewal in architecture, engineering, and construction education: Visualizing building information modeling via augmented reality. **ISEC 2017 - 9th International Structural Engineering and Construction Conference: Resilient Structures and Sustainable Construction**, [s. l.], p. 1–6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.14455/isec.res.2017.54>

HOLZER, Dominik. Teaching computational design and BIM in the age of (semi)flipped classrooms. **Intelligent and Informed - Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2019**, [s. l.], v. 2, p. 715–724, 2019.

HUSSIEN, Aseel; WARAICH, Atif; PAES, Daniel. A review of mixed-reality applications in Construction 4.0. **Construction 4.0**, [s. l.], p. 131–141, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780429398100-7>

MACIEL, Alexandra Albuquerque. **INTEGRAÇÃO DE CONCEITOS BIOCLIMÁTICOS AO PROJETO ARQUITETÔNICO**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2006.

MILOVANOVIC, Julie *et al.* Virtual and Augmented Reality in Architectural Design and Education: An Immersive Multimodal Platform to Support Architectural Pedagogy. **17th International Conference, CAAD Futures 2017, Istanbul, Turkey, July 2017**, [s. l.], p. 513–532, 2017. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01586746>

RASHED-ALI, Hazem *et al.* Use of augmented - reality in teaching energy efficiency : prototype development and testing. **ARCC/EAAE 2014 | Beyond Architecture: New Intersections & Connections**, [s. l.], n. March 2016, p. 398–407, 2014. Disponível em: <http://arcc-journal.org/index.php/repository/article/view/293>

## **CAPÍTULO 2 - REALIDADE AUMENTADA E ESTRATÉGIAS ADOTADAS NO ENSINO DE PROJETO BIOCLIMÁTICO EM ARQUITETURA: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA<sup>2</sup>**

### **AUGMENTED REALITY AND STRATEGIES ADOPTED IN TEACHING BIOCLIMATIC DESIGN IN ARCHITECTURE: AN EXPERIENCE REPORT**

#### **RESUMO**

O presente relato de experiência aborda os conceitos de Realidade Aumentada e Realidade Virtual para refletir sobre o projeto bioclimático como tema e conteúdo a ser explorado na docência em arquitetura. Problematiza o ensino de projeto bioclimático a partir da expectativa da adoção da Realidade Aumentada como recurso didático para o ensino superior na área, o que foi feito com vistas às estratégias adotadas por meio da experiência do estágio de docência junto à disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico, ministrada para estudantes do terceiro período do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Ao abordar o tema da Bioclimatologia e do projeto baseado em desempenho, a disciplina representa o primeiro contato dos estudantes com esses temas, alguns dos quais, na percepção estagiário de docência, foram melhor aproveitados a partir da adoção das ferramentas digitais se comparadas aos recursos analógicos em sala de aula.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arquitetura. Ensino Superior. Ensino Projeto Bioclimático. Estágio de Docência.

---

<sup>2</sup> Este capítulo foi submetido como artigo ao periódico científico interdisciplinar Revista Expressão Católica do Centro Universitário Católica de Quixadá – UNICATÓLICA e aguarda o parecer final para publicação.

## ABSTRACT

This experience report addresses the concepts of Augmented Reality and Virtual Reality to consider bioclimatic design as a theme and content to be explored in teaching architecture. It discusses the teaching of bioclimatic design from the expectation of adopting Augmented Reality as a didactic resource for higher education in the area, which was done with a view to the strategies adopted through the experience of the teaching internship with the discipline ARQ 326 - Thermal Comfort, taught to students from the third period of the undergraduate course in Architecture and Urbanism at the Universidade Federal de Viçosa (UFV). By addressing the issue of Bioclimatology and performance-based design, the subject represents the first contact of students with these themes, some of which in the perception of the teaching intern, were better suited for the adoption of digital tools compared to analogical resources in the classroom.

**KEYWORDS:** Architecture. Higher Education. Project. Teaching Internship. Bioclimatic design learning.

### 2.1 INTRODUÇÃO

Este trabalho parte do pressuposto que, um importante aspecto a ser levado em consideração no ensino de Arquitetura é a necessidade de novos modos de educar que permitam a discussão do foco no conteúdo de ensino facilitado pelo uso de *software*, evitando assim o foco no aprendizado de operação de ferramentas e execução de comandos (HOLZER, 2019).

Para Freitas e Ruschel (2013), a adoção de tecnologias de realidade imersiva ainda nos primeiros anos dos cursos de graduação em Arquitetura, pode se constituir como um importante elemento para incentivar a mudança na condição dos estudantes de observadores para participantes no processo de aprendizado. Dentre essas tecnologias a Realidade Virtual (VR) proporciona grande imersão e interatividade, mas

é altamente dependente de equipamentos específicos, como Headsets<sup>3</sup>, ao passo que a Realidade Aumentada (AR) apresenta maior compatibilidade com diversos dispositivos, incluindo *smartphones* e *tablets*, que são mais acessíveis ao grande público (MILOVANOVIC et al., 2017). Considerando isso, a opção pela AR como tecnologia neste trabalho se deu sua independência de equipamentos especializados, bem como a compatibilidade com dispositivos móveis já mencionados anteriormente.

A portabilidade e popularidade desses equipamentos permitem não apenas o uso da tecnologia proposta no ambiente convencional da sala de aula, mas também em ateliês de projeto ou mesmo em casa. Destarte, também se relaciona ao aspecto destacado por Holzer (2019) como uma necessidade observada nos trabalhos que abordam o tema de sala de aula invertida e semi-invertida (quando os estudantes têm contato com o conteúdo a seu modo, antes da exposição tradicional dos professores) no ensino em arquitetura: a capacidade dos métodos pedagógicos de se moverem, de maneira fluida, de um Foco no Conteúdo<sup>4</sup> para um Foco no Processo<sup>5</sup> e vice-versa, se adequando assim a diferentes contextos. Além disso, Holzer (2019) aponta um futuro em que o ensino híbrido (presencial e não presencial) em sala de aula invertida<sup>6</sup> constituirá um papel cada vez mais presente no ensino de Arquitetura, principalmente no que tange ao aprendizado de *software* como parte dos objetivos.

Observa-se a oportunidade de aprimorar a utilização de tecnologias imersivas na arquitetura, e entende-se a importância de endereçar não só os conceitos teóricos como também aplicações práticas que possam contribuir com as discussões no campo do ensino, prática e pesquisa.

Por meio da atividade de Estágio de Docência junto à disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico, ministrada para estudantes do terceiro período do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa (UFV), foi possível acompanhar a

---

<sup>3</sup> Headsets, do termo em inglês *Head-mounted display*, pode ser traduzido como dispositivos de exibição sobre a cabeça, e atualmente são comercialmente disponíveis como Óculos de Realidade Virtual.

<sup>4</sup> Do termo original em inglês *Content-Focus*.

<sup>5</sup> Do termo original em inglês *Process Focus*.

<sup>6</sup> Para Bergmann e Sams (2020), a sala de aula invertida consiste em inverter a lógica da “lição de casa” ou “dever de casa”. Em sua obra, os autores propõem que o estudante realize leituras e consultas a vídeos e textos em casa, deixando os exercícios, atividades e realização de projetos individuais ou em grupo para a sala de aula, demandando maior participação do discente na resolução de problemas.

adoção de metodologias de ensino que corroboram e permitem identificar estratégias de projeto bioclimático possíveis de serem adotadas para a construção de uma ferramenta didática por meio da AR, as quais são apresentadas neste texto a partir de um relato de experiência do então estagiário.

A definição por acompanhar a disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico se deu pelos seguintes motivos: primeiramente, por se tratar de uma disciplina introdutória na qual a docente adota metodologias ativas diversificadas, sendo integrada à área de projetos, pesquisa e pós-graduação. Além de contar com laboratório para a realização das aulas práticas e disponibilidade da coordenação da disciplina em acolher este trabalho.

## **2.2 INTERAÇÃO ENTRE A INFORMAÇÃO E O USUÁRIO: A REALIDADE AUMENTADA**

O termo “realidade aumentada” já foi definido e classificado de diferentes maneiras por pesquisadores (NINCAREAN *et al.*, 2013). Uma definição recorrente é que a AR realça o entendimento do ambiente físico através da interação com objetos virtuais por uma interface digital (BEKELE; CHAMPION, 2019; HUSSIEN; WARAICH; PAES, 2020; MEKNI; LEMIEUX, 2014; NINCAREAN *et al.*, 2013).

Entretanto, há uma variedade de outros termos que se apresentam ao consultar o tema, sendo os principais: realidade virtual, realidade imersiva e realidade mista, ou até mesmo forma combinada. De maneira geral, AR é classificada por alguns autores como “Realidade Mista” e por outros como “Realidade Imersiva”. Essas classificações compartilham uma definição comum, que é realçar o entendimento do ambiente físico através de interfaces digitais (BEKELE; CHAMPION, 2019), o que as tornam ferramentas potenciais ao ensino e prática de arquitetura, visto que promovem uma experiência de imersão e interatividade entre o espaço físico e o virtual, que não são possíveis através das formas tradicionais de representação (BURDEA; COIFFET, 2003, p. 2 *apud* FREITAS; RUSCHEL, 2013). Em relação à AR, essa imersão é atingida através da sobreposição de um conteúdo digital sobre a visão do mundo físico, mesmo que o foco da experiência seja mantido mais na realidade do que na virtualidade (BEKELE; CHAMPION, 2019).

Além disso, Azuma (1997) descreve possíveis aplicações da tecnologia na medicina, fabricação, visualização, robótica, entretenimento e aviação militar. Em seu levantamento, o autor identifica a limitação das definições existentes a equipamentos específicos, como capacetes e *Headsets* especializados. Com o objetivo de evitar a limitação da aplicação de AR a equipamentos específicos, Azuma (1997) propôs três atributos para definir a AR: a combinação do real com o virtual, interatividade em tempo real e apresentação em três dimensões.

O trabalho de Azuma (1997), intitulado “A survey of augmented reality. Foundations and Trends in Human-Computer Interaction” está entre as fontes mais citadas para definição da AR, e se apresenta em quase todos os artigos que discutem o termo (BEKELE; CHAMPION, 2019). Dez anos após sua publicação, se iniciou uma ampla disseminação de dispositivos móveis, como *smartphones*, promovendo uma vasta exploração da AR (MEKNI; LEMIEUX, 2014; NINCAREAN *et al.*, 2013), finalmente possibilitando a aproximação do usuário à AR sem os requisitos levantados pelo autor há cerca de vinte e seis anos - se considerarmos a data de hoje.

O fato de AR e VR estarem intrinsecamente ligados à tecnologia - *software*, *hardware* e comunicação - (DE FREITAS; RUSCHEL, 2013) tornou obsoletos alguns aspectos desses termos com o passar do tempo, o que motivou uma atualização das definições por Bekele e Champion (2019).

Uma redefinição de Realidade Aumentada, Realidade Virtual e Realidade Mista (MxR), é apresentada por Bekele e Champion (2019) através de uma perspectiva que enfatiza a relação entre o usuário, a virtualidade e realidade como um componente fundamental. Os autores apresentam essa proposta ao entender que as definições anteriores estavam novamente associadas a padrões de *display*<sup>7</sup> e termos já obsoletos, e pouco na experiência do usuário. Esse aspecto da redefinição é importante já que a experiência é uma parte fundamental em qualquer sistema ou aplicação que envolva alguma forma de interação entre a informação e quem utiliza a ferramenta. Assim, a definição de AR adotada neste trabalho é:

Realidade Aumentada (AR) suplementa o mundo real com elementos virtuais e permite ao usuário uma interação com esses elementos virtuais. Mesmo se os elementos virtuais forem sobrepostos no ambiente físico, a interação em AR é sempre entre o usuário e o elemento virtual. Mais importante, o

---

<sup>7</sup> Pode ser traduzido como tela ou monitor visual.

ambiente real é dominante e se beneficia de elementos virtuais a fim de realçar a percepção do mundo real pelo usuário (BEKELE; CHAMPION, 2019, p. 7, traduzido pelos autores).

Para chegar nessa significação Bekele e Champion (2019) diferenciam Realidade Aumentada de Realidade Virtual, explicitando que VR fecha a visão do mundo real em favor de um ambiente virtual, mantendo a interação apenas entre o usuário e o mundo virtual, e conseqüentemente, sem interações diretas entre a realidade e a virtualidade. Os autores apresentam também a diferença entre a Realidade Aumentada e a Realidade Mista, que não possui limite bem demarcado conforme definições anteriores.

Em AR o mundo físico é dominante, enquanto em MxR essa dominância não pode ser determinada, pois os ambientes se beneficiam dos elementos um do outro. Desta forma, MxR realça a percepção do usuário tanto do mundo real, quanto do ambiente virtual, além de permitir interações entre usuário, mundo físico e ambiente virtual.

Essa interatividade com modelos computacionais tridimensionais proporcionada pela AR, quando aplicada à arquitetura, é capaz de dar suporte ao complexo processo decisório de projeto (que envolve uma diversidade de partes interessadas, as quais por vezes apresentam conflito de interesses) e supera o desenho bidimensional na análise crítica por parte do próprio projetista ou por terceiros, que nem sempre são treinados para interpretar a linguagem desse tipo de desenho técnico (PAES; ARANTES, 2015).

### **2.3 REALIDADE AUMENTADA E VIRTUAL EM ARQUITETURA**

Com o objetivo de facilitar a exploração do conhecimento específico para as Realidades Aumentada e Virtual aplicadas à arquitetura em nível de pós-graduação, desenvolvimento de tecnologias e ênfase em pesquisas brasileiras, Freitas e Ruschel (2013) revisaram duzentos artigos publicados entre os anos 2000 e 2011, e observaram que os estudos apresentavam área de pesquisa, ênfase e estágio de desenvolvimento tecnológico específicos, agrupando-os da seguinte forma.

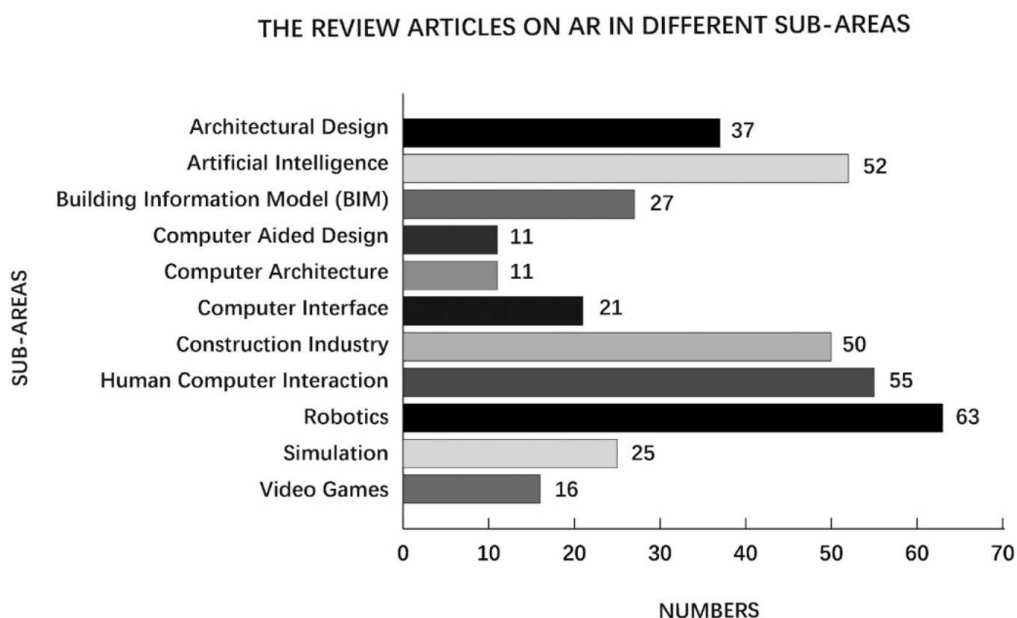
Em relação às áreas de pesquisa, as observadas foram: método de projeto (46%), teoria, história e crítica (23%), interação humana com o espaço e artefatos (20%) e representação (5%). As principais ênfases verificadas foram: educação (9%), aplicação (17%), colaboração (5%), visualização (10%) e discussão teórica (13%). E

por fim, os estágios de desenvolvimento tecnológico constatados foram: Especificação (15%), Desenvolvimento (14%), Implementação (21%) e avaliação (26%).

Desta forma, Freitas e Ruschel (2013) concluíram que AR e VR ainda não foram incorporados à prática arquitetônica, apesar de não serem tecnologias novas e de terem evoluído em outras áreas, o ensino é uma das forças que promovem a apropriação da tecnologia na prática.

A década seguinte apresentou um amadurecimento no uso de AR e VR em arquitetura como mostra a Figura 1, especialmente nas áreas de fabricação digital, através de instruções holográficas para montagem, compartilhamento de dados e interação com os computadores (SONG; KOECK; LUO, 2021), mas também auxiliando na adoção do BIM como ferramenta de suporte quando integrada a esse processo de trabalho. (SIDANI *et al.*, 2021).

Figura 1 - Gráfico a partir do levantamento de artigos de revisão sobre AR em diferentes sub-áreas



Fonte: (SONG; KOECK; LUO, 2021). Acesso em: 22 dez. 2022.

Apesar do amadurecimento da tecnologia e um aumento de sua adoção na área de arquitetura, a revisão sistemática sobre técnicas e ferramentas recentes de Realidade Aumentada associadas ao BIM, realizada por Sidani *et al.* (2021), mostra que sua

implementação ainda está distante do desejável. No caso do uso da AR durante a fase de execução no canteiro de obras, isso pode ser atribuído ao baixo nível de conectividade e transferência de dados de internet e GPS, algo que não é, ou não deve ser um obstáculo nas salas de aula. De maneira geral, ainda faltam um *framework*<sup>8</sup> para implementação de Realidade Aumentada na indústria de Arquitetura e Construção, bem como métodos de avaliação para entender a eficácia e utilidade na aplicação dessa tecnologia. Pode-se considerar então que a integração da AR em arquitetura encontra-se ainda em fase de desenvolvimento e baixa adoção.

## **2.4 O PROJETO BIOCLIMÁTICO COMO TEMA E CONTEÚDO A SER EXPLORADO NA DOCÊNCIA EM ARQUITETURA**

Lamberts (2016) define clima, bioclimatologia, para então tratar de “bioclimatologia aplicada à arquitetura”, para ele a arquitetura bioclimática é aquela onde são aplicados os entendimentos de clima e sua integração com as pessoas, tirando partido ou evitando os efeitos das variáveis climáticas: radiação solar, luz natural, temperatura, vento e umidade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2016). No Brasil, esse pensamento foi formalizado através de uma metodologia de zoneamento bioclimático adaptada ao clima brasileiro por Givoni (1992), dando origem à normas técnicas que recomendam certas estratégias construtivas de acordo com cada zona do país (NBR 15220-3), numa tentativa de oferecer uma resposta rápida e objetiva à construção adequada ao clima brasileiro.

Goulart e Pitta (1999) definem o projeto bioclimático, conforme citado por Maciel (2006) como uma abordagem que se aproveita do clima através da aplicação correta de elementos de projeto e de tecnologia para controle dos processos de transferência de calor. A autora afirma ainda que a aplicação desses elementos deve acontecer nos estágios iniciais de um projeto, entretanto, apesar de comprovados os benefícios dessa abordagem de projeto, sua adoção é pouco observada na prática.

Para Maciel (2006) a Arquitetura Bioclimática se transformou apenas num método para reduzir o consumo de energia e o ato de economizar energia é mais motivado pela necessidade do que pela escolha. Assim, focalizar na disseminação do projeto

---

<sup>8</sup> Enquadramento conceitual ou arcabouço. Um conjunto de sugestões e guias para a incorporação dessa tecnologia.

bioclimático em bases de economia é um apelo limitado; é necessário criar e promover uma linguagem de arquitetura realmente integrada e de mensagem visual atraente.

A partir da Carta Bioclimática adaptada para o Brasil por Givoni (1992), Lamberts et al. (2016, 83-92) descrevem as principais estratégias de projeto a serem empregadas por arquitetos em projetos a saber Aquecimento Solar Passivo; Inércia Térmica para Resfriamento; Resfriamento Evaporativo; Sombreamento e Ventilação Natural.

A começar pelo Aquecimento Solar Passivo, uma estratégia recomendada para climas com temperaturas entre 10°C e 20°C. Pode ser alcançado através de um isolamento térmico mais rigoroso, diminuindo a perda de calor, uso de superfícies envidraçadas orientadas ao sol e proporções apropriadas para o maior aproveitamento solar no inverno.

Quando se deseja reduzir os picos de temperatura recomenda-se a Inércia térmica para resfriamento, que diminui a amplitude da temperatura interior em relação à exterior. O calor armazenado na edificação é devolvido ao ambiente somente à noite, quando as temperaturas externas estão baixas. Da mesma maneira, a edificação é resfriada durante a noite, mantendo a temperatura interna mais baixa quando a temperatura externa é mais alta (redução dos picos de temperatura). Isso pode ocorrer através da inércia térmica de fechamentos, do solo ou de elementos isolantes associados à construção.

Para épocas quentes e secas é recomendado o Resfriamento evaporativo, que reduz as temperaturas e aumenta a umidade relativa de um ambiente através da evaporação da água. Essa estratégia requer boas taxas de ventilação para evitar o acúmulo de vapor de água. Pode ser aplicado diretamente através de vegetação, fontes de água ou outro recurso que promova a evaporação da água diretamente no ambiente a ser resfriado, ou indiretamente, através de uma associação à estrutura, onde a perda de calor da água no processo de evaporação resfria os ambientes da edificação associada a ela. Em casos de baixa umidade e baixa temperatura (abaixo de 27°C) a umidificação do ar melhora a sensação de conforto mesmo com um resfriamento indesejado.

Dado ao clima predominantemente quente no território durante a maior parte do ano, o Sombreamento é uma das estratégias mais importantes no Brasil. Deve ser utilizado

sempre que a temperatura do ar for superior a 20°C. Pode ser alcançado através de proteções solares, beirais mais longos nos telhados, marquises, sacadas, persianas, vegetação e a própria orientação e volumetria geral da arquitetura.

Por fim, para melhorar a sensação térmica para temperaturas diurnas internas acima de 29°C e umidade relativa maior que 80% é recomendada a Ventilação natural. Para um clima quente e úmido a estratégia mais simples é a ventilação cruzada, porém se a temperatura externa for muito alta (maior que 32°C) se torna indesejável, trazendo ganhos térmicos por convecção para o ambiente interno. Ambientes amplos e sem barreiras edificadas facilitam o movimento do ar. Em regiões áridas, com temperaturas diurnas entre 30°C e 36°C, temperaturas noturnas abaixo de 20°C e umidade relativa abaixo de 60%, é recomendado o resfriamento convectivo noturno. Se a temperatura diurna é maior que 36°C, a ventilação noturna não é suficiente para o conforto, sendo necessários outros sistemas de resfriamento.

À face do exposto, foram listados até aqui alguns dos elementos da matéria de projeto bioclimático abordados na formação de estudantes de arquitetura. Uma área que apresenta uma gama de itens que podem ser explorados por meio de AR, sobretudo aqueles que ficam melhor exemplificados por modelos em escala, por meio de representação visual, formas ou desenhos arquitetônicos (esquemas, representação gráfica, perspectivas ou recursos visuais) para os quais a representação em AR significaria uma expansão da compreensão das relações entre o conteúdo a ser desenvolvido e o espaço arquitetônico.

#### **2.4.1 Tecnologias adotadas no ensino de projeto bioclimático em uma disciplina do curso de graduação em arquitetura**

Para tomar contato junto às ferramentas já utilizadas no ensino superior de Projeto Bioclimático na área de Arquitetura, foi realizada por meio do Estágio de Docência a inserção do pesquisador na disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico, ministrada para estudantes do terceiro período do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa (UFV), coordenada e ministrada pela docente Joyce Correna Carlo, com carga horária total de sessenta horas, no período letivo de março à junho de 2022, referente ao primeiro semestre letivo do ano.

A disciplina<sup>9</sup> está vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo por meio do Laboratório de Tecnologias em Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LATECAE) do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFV.

A participação do pesquisador estagiário de docência consistiu no acompanhamento das aulas presenciais teóricas, discussões sobre temáticas da ementa ou de textos didáticos pré-estabelecidos, exercícios de revisão semanal, avaliações, comunicação direta com os estudantes, presencialmente e por e-mail, atendimentos para orientações e sugestões referentes à realização dos trabalhos.

O método utilizado na disciplina consistiu no contato dos estudantes com uma gama de abordagens, tais como vídeo aulas produzidas pela professora da disciplina e vídeos independentes no YouTube, a partir do qual se construiu uma familiaridade com o conhecimento da disciplina. Dessa exposição inicial, houve a explanação explicativa verbal em quadro e giz convencional somado ao debate mediado pela docente.

Além disso, a docente elaborou e apresentou periodicamente tutoriais para revisão do conteúdo no ambiente virtual de aprendizagem (PVAnet MOODLE), o que compunha parte da avaliação final.

Nas aulas práticas houve o exercício do desenvolvimento de projeto, uma ação executada por todos os estudantes, além da prática investigativa para a resolução de problemas.

O conteúdo abordado pode ser visto na Figura 2, o qual mostra a divisão da disciplina em dois módulos: sendo o primeiro módulo o mais importante por se tratar do conteúdo introdutório fundamental para se trabalhar a ferramenta proposta por este trabalho. O módulo abordou: Conforto térmico, Trocas térmicas, Psicrometria, Bioclimatologia, Geometria solar e Projeto de proteções para sombreamento.

---

<sup>9</sup>A disciplina de graduação está conectada imediatamente ao PPG.au pela interação proporcionada pelo LATECAE, por meio das Iniciações Científicas, estágios de docência e seminários desenvolvidos em conjunto. Já, o pesquisador realizou o estágio de docência por meio da disciplina de pós-graduação ARQ 778 - Estágio em Ensino III, com carga horária total de 45 horas.

Sendo que, o segundo módulo da disciplina destaca as propriedades térmicas de materiais e componentes de acordo com as normas vigentes, a qualidade que proporcionam ao espaço e a relação com o desempenho da edificação (LATECAE, [s. d.]). Para este trabalho serão discutidos quais ferramentas e tecnologias são utilizadas para o desenvolvimento dos tópicos 1 a 5, referentes ao primeiro módulo de acordo com a Figura 2.

Figura 2 - Conteúdo da disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico

#### **Conteúdos**

1. Conforto térmico
  - 1.1. Balanço térmico humano
  - 1.2. Mecanismos de termo-regulação fisiológica
2. Trocas térmicas
3. Psicrometria
4. Bioclimatologia
  - 4.1. Escalas climáticas
  - 4.2. Zoneamento Bioclimático Brasileiro
  - 4.3. Estratégias bioclimáticas
5. Geometria solar
  - 5.1. Trajetória aparente do sol
  - 5.2. Carta solar
  - 5.3. Projeto de proteções solares
6. Propriedades térmicas de fechamentos
  - 6.1. Propriedades dos materiais
  - 6.2. Propriedades dos componentes opacos
  - 6.3. Propriedades de componentes transparentes
7. Ventilação
  - 7.1. Ventilação no edifício
  - 7.2. Ventilação urbana
8. Clima urbano
9. Projeto baseado em desempenho

Fonte: Disponível em: <http://www.latecae.ufv.br/pt-BR/arq-326/>. Acesso em: 22 dez. 2022.

A professora segue uma lógica na apresentação dos conteúdos começando pela apresentação das variáveis climáticas como radiação solar, luz natural, temperatura, vento e umidade. Para em seguida desenvolver a medição dessas variáveis com a utilização de instrumentos como solarímetro, termômetro, anemômetro e psicrômetro respectivamente.

A partir dessa apresentação, os estudantes da disciplina são introduzidos ao conceito de conforto através da relação entre variáveis climáticas e os mecanismos

termorreguladores do corpo humano, tanto para frio, quanto para calor. Nesse momento, é exemplificado o fenômeno de transmissão de calor por radiação com a utilização de uma resistência térmica direcionada para uma lâmina de vidro (Figura 3), onde é demonstrado não apenas uma das formas pela qual o calor é transmitido, mas também a característica dos materiais (no caso, o vidro) em absorver esse calor, para posteriormente, emití-lo também por radiação, além dos diferentes espectros da luz visível, já que o vidro é translúcido ao espectro visível da luz solar, porém opaco às ondas curtas, através das quais o calor é transmitido por radiação. Uma vez compreendidos e identificados os tipos de trocas térmicas existentes entre o homem e o ambiente e o homem-edificação-ambiente-externo, é construída uma base para o entendimento do conceito de bioclimatologia (LATECAE, [s. d.]).

Figura 3 - Experimento utiliza uma resistência térmica para demonstrar a capacidade de absorção de calor do vidro

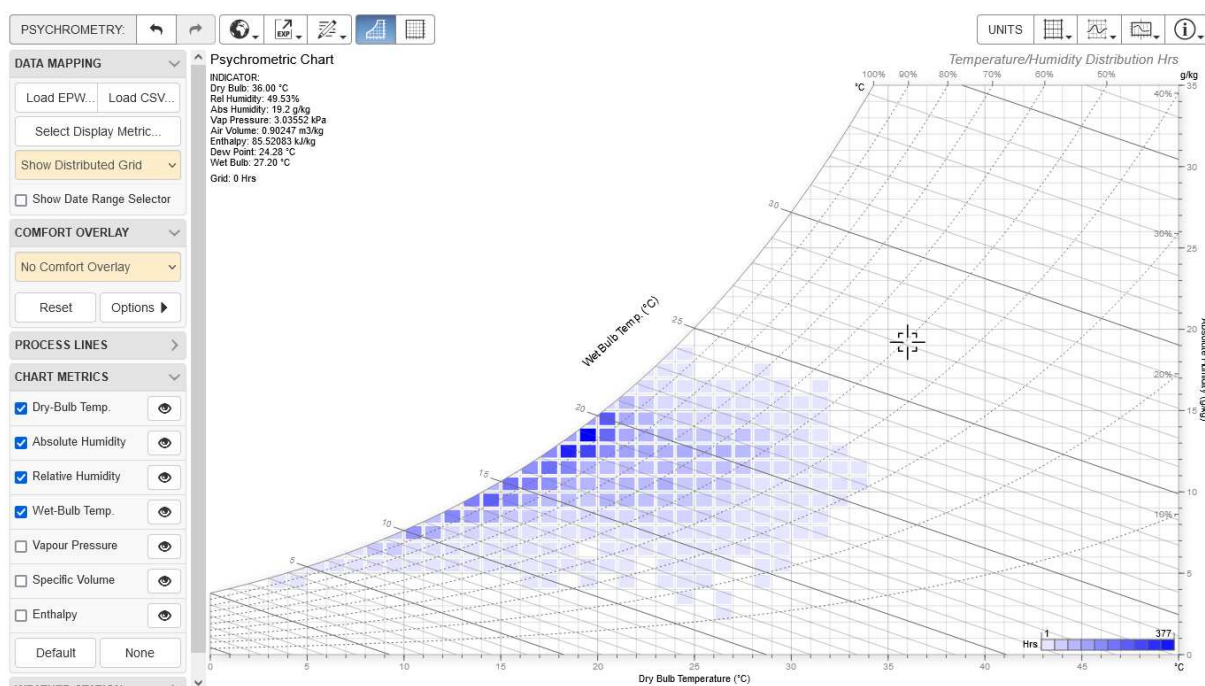


Fonte: Autores (2023).

Além disso, índices clássicos de conforto, como o ITGU (índice de temperatura de globo e umidade) e conforto adaptativo foram apresentados e demonstrados através de instrumentos como termômetros de bulbo seco e bulbo úmido. Para discussão de

Psicrometria e apresentação dos fenômenos decorrentes das trocas térmicas no ambiente é utilizado um diagrama psicrométrico interativo, mostrado na Figura 4, onde é possível manipular os eixos de temperatura e umidade, além de escolher a localização a partir de arquivos climáticos<sup>10</sup>.

Figura 4 - Página da web com diagrama psicrométrico interativo utilizado na disciplina ARQ 326 – Conforto Térmico



Fonte: (MARSH, [s. d.]).

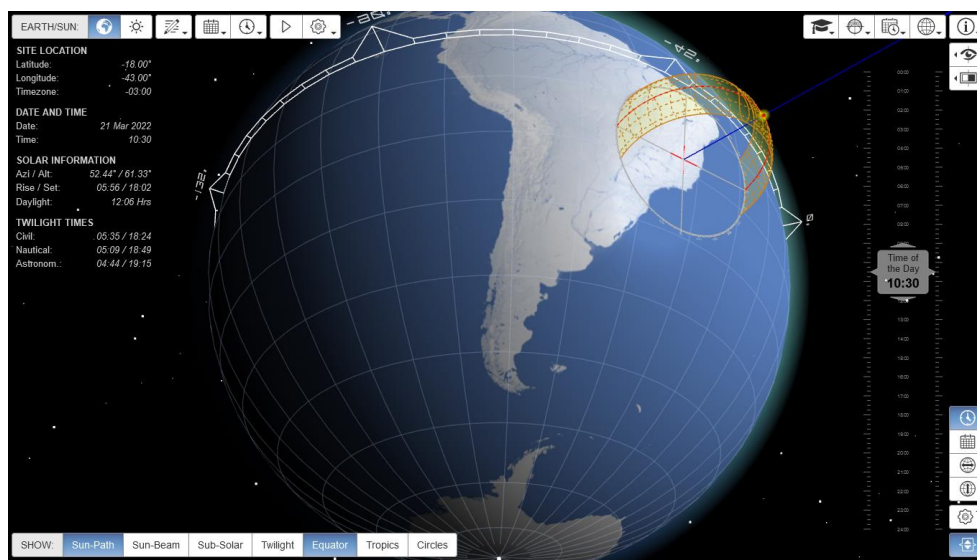
Finalmente, o zoneamento bioclimático brasileiro é apresentado aos discentes e as estratégias bioclimáticas a serem aplicadas na edificação são relacionadas pela docente a partir da carta bioclimática de Givoni (1992), considerando os aspectos subjetivos da percepção térmica no espaço.

O primeiro módulo da disciplina encerra-se com o aprendizado da geometria solar e o projeto de proteções para sombreamento, o que é feito com o auxílio de uma ferramenta interativa que permite visualizar as diferenças na trajetória solar de acordo

<sup>10</sup> Arquivos em formato .epw contendo dados horários de um determinado clima, que se tornou padrão para ferramentas de simulação de desempenho em edificações.

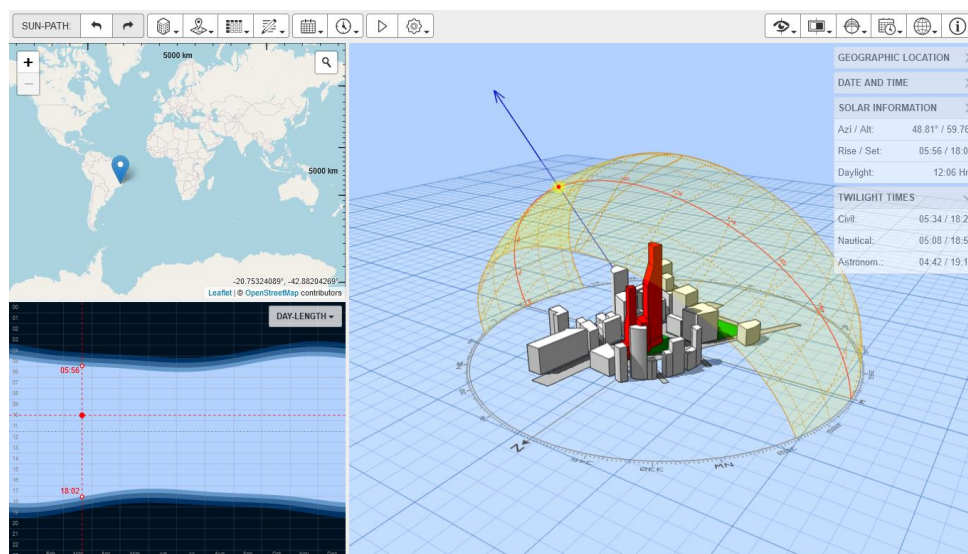
com a latitude, como pode ser visto na Figura 3, e a projeção das sombras em um determinado volume arquitetônico, com possibilidade de usar um modelo tridimensional próprio via *upload*, vide Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Página da web demonstrando as mudanças da geometria solar de acordo com a latitude



Fonte: (MARSH, [s. d.]).

Figura 6 - Página da web que permite fazer upload de um modelo 3d para estudo de sombreamento



Fonte: (MARSH, [s. d.]).

Já existe uma sistematização para a recomendação de estratégias de projeto bioclimático, à partir da NBR que pode ser adotada para a construção de uma ferramenta didática, além disso, tanto equipamentos laboratoriais de ensino tais como o Heliodon<sup>11</sup>, quanto às ferramentas digitais se valem de uma interatividade e manipulação de peças, modelos em escala, ou localização, indicando uma possível viabilidade para a incorporação de modelos tridimensionais interativos em Realidade Aumentada para a discussão, visualização e comunicação de conceitos e estratégias de projeto.

## **2.5 CONSIDERAÇÕES**

Na contemporaneidade, o uso de ferramentas digitais é parte integrante do desenvolvimento dos estudantes de Arquitetura. Desta forma, os educadores devem considerar o uso de tecnologias em diferentes níveis nas estruturas de disciplinas da área, seja como forma de dar suporte ao processo criativo com o uso de computadores ou como meio de desenvolver as habilidades adequadas para a representação de projetos.

A disciplina ARQ 326 - Conforto Térmico aborda o campo da Bioclimatologia e do Projeto baseado em desempenho representando o primeiro contato dos estudantes com esses temas, sendo fundamental para a consolidação desses conhecimentos por futuros profissionais na elaboração e desenvolvimento de projetos.

O estágio de docência apresentado neste relato, proporcionou a reflexão sobre a transposição didática dos conteúdos pautados no intuito de vislumbrar recursos para a mediação dos temas a serem explorados em AR pelo pesquisador junto aos graduandos.

Ademais, a experiência de estágio de docência possibilitou o contato com a dinâmica do ensino dos conceitos da disciplina num contexto híbrido, onde parte do material didático disponível aos estudantes pela docente havia sido produzido em favor das aulas desenvolvidas em modo remoto em razão da pandemia da Covid-19<sup>12</sup>. Com o

---

<sup>11</sup> Equipamento que simula a trajetória do sol ao longo de um ano, além da projeção de sombras em relação a um ponto a partir de uma simplificação da abóbada celeste.

<sup>12</sup>Referente ao período de isolamento social na UFV em decorrência da pandemia da doença conhecida como COVID-19 causada pelo coronavírus SARS-CoV-2.

retorno das aulas presenciais e a possibilidade do contato em sala de aula, os materiais contribuíram para sedimentar as discussões e a consolidação desse conhecimento.

Na percepção do pesquisador, foi possível identificar nas aulas a efetividade da adoção das ferramentas digitais se comparadas aos recursos analógicos. Se, por um lado, a disciplina atendeu aos objetivos propostos aprofundando os conhecimentos relacionados ao projeto de arquitetura, não obstante a adoção da AR como ferramenta complementar intensificaria a relação entre o discente e o conteúdo.

A AR é um recurso, concretamente acessível, presente em jogos tais como o Pokémon GO<sup>13</sup>, fazendo parte do cotidiano dos acadêmicos e do público em geral. Nesse sentido, ao considerar a importância de AR no ensino de projeto bioclimático há que se ter em vista materiais didáticos já existentes no mercado, - ou na *internet*, utilizados em outras áreas, mas que poderiam ser adaptados para o ensino em arquitetura como é o caso de aplicativos como o Google Arts & Culture<sup>14</sup> de visita a museus, SketchAR<sup>15</sup> que permite a animação de desenhos feitos pelos usuários ou o Geogebra<sup>16</sup> utilizado no ensino de matemática.

Neste estudo, dentre as ferramentas de ensino adotadas na disciplina ARQ 326, elegeu-se o heliodon, o projetee e o diagrama psicrométrico como possíveis de serem amplificados pela AR por se valerem de modelos tridimensionais ou de estruturação em estratégias de projeto em sua comunicação e apresentação.

Por fim, vimos que para explicar o fenômeno de ventilação, Lamberts (2004, p. 270) utiliza pelo menos três desenhos diferentes para ilustrá-lo, o que é feito na lógica do desenho arquitetônico com imagens que apresentam a separação de vistas ortogonais para um mesmo objeto (Figura 7).

---

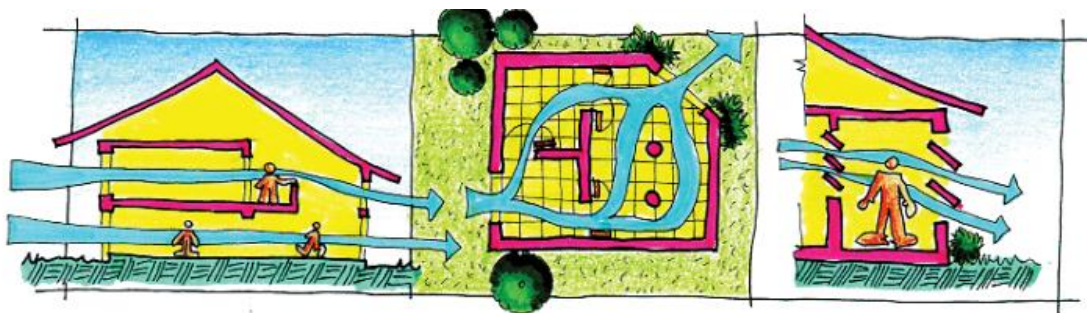
<sup>13</sup> Jogo para celulares, lançado em 2016, que incentiva o exercício físico ao exigir do jogador buscar por criaturas virtuais, sobrepostas (pela câmera e GPS do aparelho) em diferentes locais das cidades.

<sup>14</sup> Serviço de visitas virtuais gratuitas mantido pelo Google em parceria com museus ao redor do mundo (GOOGLE, 2023).

<sup>15</sup> Aplicativo móvel que usa AR para desenho em ambiente virtual compartilhado (SKETCHAR INC., 2023).

<sup>16</sup> Premiado aplicativo de matemática para visualização de geometria (pontos, retas e polígonos) a partir de suas funções geradoras (GEOGEBRA, 2023).

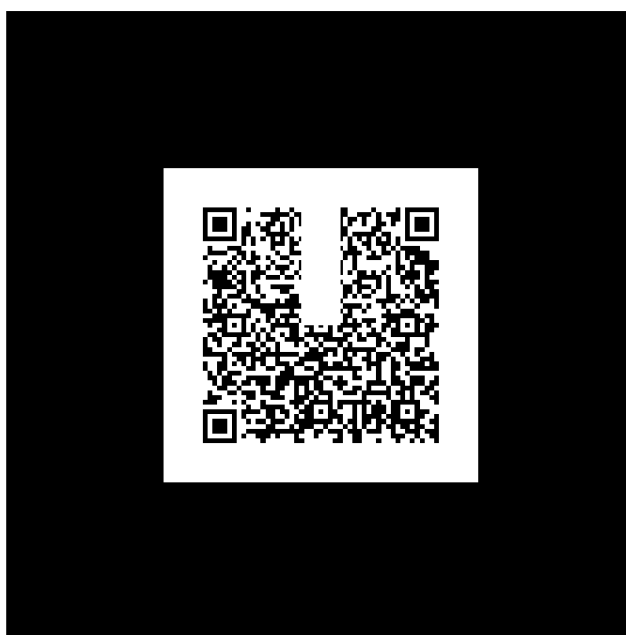
Figura 7 - Diferentes vistas usadas para explicar o mesmo fenômeno



Fonte: (Lamberts, 2004).

O entendimento é que a ilustração poderia se converter em uma experiência muito mais potente se organizássemos o mesmo exemplo em AR a partir de um prédio, ou sala de aula, no qual os estudantes estejam desenvolvendo suas atividades. Nessa perspectiva, dispõe-se aqui a proposta a ser acessada por meio do QR Code da figura 8.

Figura 8 - QR code que direciona para a visualização do exemplo da Figura 7



Fonte: Autores.

## REFERÊNCIAS

AZUMA, Ronald T. A survey of augmented reality. **Foundations and Trends in Human-Computer Interaction**, [s. l.], v. 8, n. 2–3, p. 73–272, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1561/1100000049>

BEKELE, Mafkereseb Kassahun; CHAMPION, Erik. Redefining mixed reality: User-reality-virtuality and virtual heritage perspectives. **Intelligent and Informed - Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2019**, [s. l.], v. 2, p. 675–684, 2019.

Bergmann, Jonathan. e Sams, Aaron. **Sala de Aula Invert!da**: Uma metodologia ativa de aprendizagem. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

DE FREITAS, Márcia Regina; RUSCHEL, Regina Coeli. What is happening to Virtual and Augmented Reality applied to architecture? **Open Systems - Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2013**, [s. l.], n. Caadria, p. 407–416, 2013.

GEOGEBRA. **About GeoGebra**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.geogebra.org/about>. Acesso em: 2 jun. 2023.

GOOGLE. **Google Arts & Culture**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://artsandculture.google.com/>. Acesso em: 2 jun. 2023.

HOLZER, Dominik. Teaching computational design and BIM in the age of (semi)flipped classrooms. **Intelligent and Informed - Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2019**, [s. l.], v. 2, p. 715–724, 2019.

HUSSIEN, Aseel; WARAICH, Atif; PAES, Daniel. A review of mixed-reality applications in Construction 4.0. **Construction 4.0**, [s. l.], p. 131–141, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780429398100-7>

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. Capítulo 3: arquitetura e clima. *In*: **EFICIENCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2016. p. 71–106.

LATECAE. **Apresentação da disciplina Arq 326 - CONFORTO TÉRMICO**. Viçosa, [s. d.]. Disponível em: <http://www.latecae.ufv.br/pt-BR/arq-326>. Acesso em: 22 dez. 2022.

MACIEL, Alexandra Albuquerque. **INTEGRAÇÃO DE CONCEITOS BIOCLIMÁTICOS AO PROJETO ARQUITETÔNICO**. 338 f. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2006.

MARSH, Andrew. **PD: Earth/Sun**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://drajmarsh.bitbucket.io/earthsun.html>. Acesso em: 22 dez. 2022.

MEKNI, Mehdi; LEMIEUX, André. Augmented Reality : Applications , Challenges and

Future Trends. **Applied Computational Science anywhere**, [s. l.], p. 205–214, 2014.

MILOVANOVIC, Julie *et al.* Virtual and Augmented Reality in Architectural Design and Education: An Immersive Multimodal Platform to Support Architectural Pedagogy. **17th International Conference, CAAD Futures 2017, Istanbul, Turkey, July 2017**, [s. l.], p. 513–532, 2017. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01586746>

NINCAREAN, Danakorn *et al.* Mobile Augmented Reality: The Potential for Education. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 103, p. 657–664, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.385>

PAES, Daniel; ARANTES, Eduardo Marques. Immersive Virtual Reality As a Support Technology To the Understanding of Computational Models. **VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção**, [s. l.], n. 7, 2015.

SIDANI, Adeb *et al.* Recent tools and techniques of BIM-Based Augmented Reality: A systematic review. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 42, p. 102500, 2021.

SONG, Yang; KOECK, Richard; LUO, Shan. Review and analysis of augmented reality (AR) literature for digital fabrication in architecture. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 128, p. 103762, 2021.

SKETCHAR INC. **Sketchar – Learn to Draw Your Future**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://sketchar.io/about/>. Acesso em: 2 jun. 2023.

### **CAPÍTULO 3 - MEANINGFUL TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURE EDUCATION: THREE CASE STUDIES<sup>17</sup>**

#### **ABSTRACT**

Bringing together theoretical concepts and practical scenarios, this paper analyzes three learning and design tools. It aims to promote the use of meaningful and diverse technologies in architectural education, while looking for virtues and characteristics that may inform the basis for the development of new design learning tools. To achieve that, the first step in analyzing the learning tools is through its context of usage. The second step is a discussion about the depth of the information each of them carries and how that contributes to the use of it. Finally, the third step is looking for the relationship between the concept and the information each tool communicates. The interactive nature of the three tools studied, and the increasingly digital insertion in the learning process points the direction to develop hybrid learning tools, carrying the tangible interactivity of *Mola Structural Kit*, the synthesis capabilities of *Typology Cards* and the rich technical approach of *projetEEE*. More recent technology advancements can expand even further these possibilities, pointing to a seamlessness in the way we interact with learning interfaces, helping students with both the design and communication challenges of an Architect's career. For that, Virtual Reality, Augmented Reality and web apps represent a possible path for expanding these educational tools for architects.

**KEYWORDS:** Design Education, Architectural Design, Tangible Interface, Augmented Reality

**PAPER SESSION TRACK:** Pedagogy.

---

<sup>17</sup> Este capítulo foi submetido como artigo ao evento internacional ARCC 2023, com citações e referências no formato *Chicago Manual of Style 17th Edition*.

### 3.1 INTRODUCTION

The architectural practice and construction industry are increasingly transforming and adopting new technologies, while promoting an integration with digital media and tools in all stages of a project lifecycle (Al-Qawasmi 2005). In this context, the approach of design education expands from the interest of students in interactive media, and the possibility of building concepts merging architecture, art, and information technologies. This pursuit of solutions leading to unique architectural objects raises the challenge to develop interdisciplinary subjects and interfaculty dynamics, as well as more advanced and complex projects (Życzkowska and Urbanowicz 2019).

Some of these challenges faced by schools of architecture are developing in the future Architects (1) a solid comprehension of the impacts of their design decisions from a sustainability perspective (Sarhan and Rutherford 2014; Życzkowska and Urbanowicz 2019), and (2) a successful communication and information sharing among stakeholders (Arashpour and Aranda-Mena 2017), based on the reasonable number and diversity of available technologies (Hussien, Waraich, and Paes 2020).

in this context of increasing interdisciplinary demands and media possibilities, table 1 shows some the opportunities, such as “Interest of students in media and interactive technologies”, and challenges, for example, “Developing students’ communication skills”. Moreover, it is the training for software application that is becoming an ever more integral part of the architectural education, crowding the academic curricula, while educators look for alternative training methods to maximize the usefulness of face-to-face interaction with students (Arashpour and Aranda-Mena 2017; Holzer 2019).

To promote the use of meaningful and diverse technologies in the architectural education, bringing together theoretical concepts and practical scenarios, this paper aims to analyze three learning and design tools. The case studies are conducted while looking for the tools virtues and characteristics that may inform the basis for the development of new design learning tools, with two main conceptual hurdles to overcome. The first one is the depth of the information, meaning if we go too much in depth, the student may be better off reading a book on the subject, but with the lack of it comes the risk of not being capable of successfully contributing with the learning

process. The second is the relationship between the information carried by the tools and its concept (why use it instead of something else).

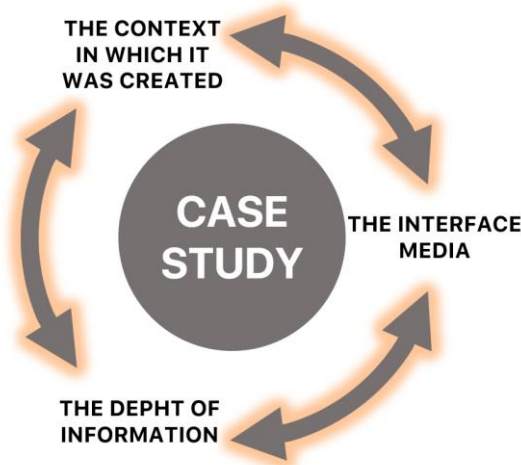
**Table 1:** Opportunities and challenges in architectural education. Source: (Życzkowska and Urbanowicz 2019, 330)

Architectural education	
Opportunities	Challenges
Interest of students in media and interactive technologies	Building interdisciplinary, interfaculty courses
Searching for new solutions on the borders of architecture: art, information technologies and lighting technologies	Searching for media solutions in the context of sustainable development
Pursuit of uniqueness and changeability of architectural objects	Construction of prototypes of new display elements and responsive structures
Interdisciplinary co-operation between students of the faculty of Electronics, Telecommunications, and Informatics	Developing students' communication skills, such as focusing on interactivity and human perception from different users' perspectives
Visualise architectural designs on a 1:1 scale in the immersive 3D Visualisation Laboratory (I3DVL) at Gdansk University of Technology	Visualisation of media and interactive solutions in the I3DVL: a new platform for co-operation between the teacher and the student

### 3.2 METHOD

Following Robert Yin's definition: a "case study is an empirical inquiry that investigates a contemporary phenomenon within its real-life context, especially when the boundaries between phenomenon and context are not clearly evident" (Groat and Wang 2013, 418). Therefore, as shown in the Figure 9 the first step in analyzing the learning tools is through an understanding of their context, the depth of the information each of them carries and how that contributes to its usage. The second step is a discussion on how the relationship between these different aspects help to form the basis for the development of future learning tools targeting architecture students.

Figure 9 - A diagram illustrating the method used for the case studies.



Source: Authors

The three learning tools analyzed in this paper are (1) Mola Structural Kit, (2) Projeteer, and (3) Typology Cards. They were chosen for their interactivity aspect, serving as extensions to theoretical concepts discussed in the architectural academic curriculum. The *Mola Structural Kit* is an interactive physical model that simulates the behavior of architectural structures through magnetized springs and metal spheres. The modular pieces allow for visualization of the movements and deformations of its elements, and countless combinations built by hand, requiring no prior technical knowledge (Oliveira 2014). The *Typology Cards* were developed to study and discuss, the dislocated relationships between house types and their sites in the United States in the form of a deck of cards. The various cards compile data and information about different types of neighborhoods, sites, and houses in a way that makes it easier to bring up these connections and disconnections (Heyda 2019). Finally, *projeteer* is a Brazilian web-based platform to help the general public in adopting design strategies and making construction decisions based on the climate of 400 different Brazilian cities, with detailed and accessible technical information (MME 2013).

They also differ from each other in some respects; Mola Structural Kit is very tactile, physical, and empirical, Projeteer is highly digital, strict, and technical, and, Finally, the Typology Cards, a unique and provocative approach in the way that it purposefully promotes a fragmented comprehension of a reality that presents itself in an incohesive way.

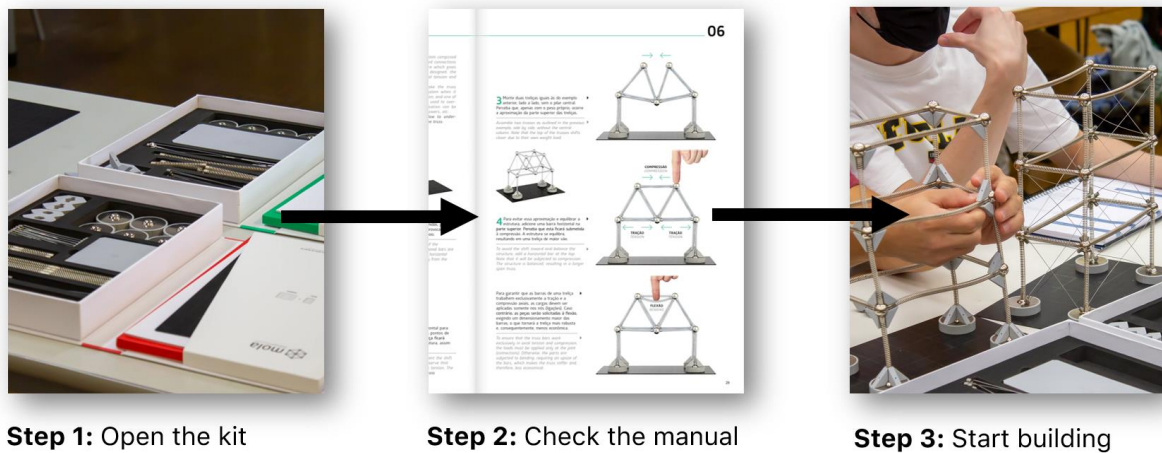
To address these case studies, we opted to synthesize these three aspects as the context, the concept, the content of each of the tools, as we try to highlight their relationship, in order to understand what an interactive design leaning tool should take in consideration during its early development stages to be relevant and helpful for architecture students and educators.

### **3.3 CASE STUDY No. 1: MOLA STRUCTURAL KIT**

Placing architecture and engineering knowledge in opposite spectrums causes a lack of proper cooperation between architects and engineers around the world, being them academics or practitioners. That is not helpful for anyone (Oliveira 2008). Therefore, Márcio Oliveira proposed during a graduate program in architecture an approach to deal with topics related to structural systems in a less abstract way than mathematical equations (Mola 2016). Aiming to help with qualitative and intuitive understanding of structural behavior, Mola Structural Kit brings together architecture and engineering fields.

The experience of using the Mola Structural Kit is predominantly qualitative. It begins with unboxing the different modules that can be arranged immediately, as they are magnetically held together, in a way that users can freely play along or try to replicate any structure they are interested (Figure 1). an illustrated manual provides Further explanation and suggestions as it carries theoretical concepts on structural design. For the system to work, it is assured that the behavior of the built model is representative in isolated elements such as columns, beams and arches, or more complex structural systems resulted from their combination. This was achieved through a validation process based on computer simulation proving springs and magnetic spheres were able to accurately reproduce structural stability, deformation, influence of the form and element arrangements (Oliveira 2008).

Figure 10 - The Mola Structural Kit that comes with modular magnetic pieces to be assembled intuitively or with the help of the manual.



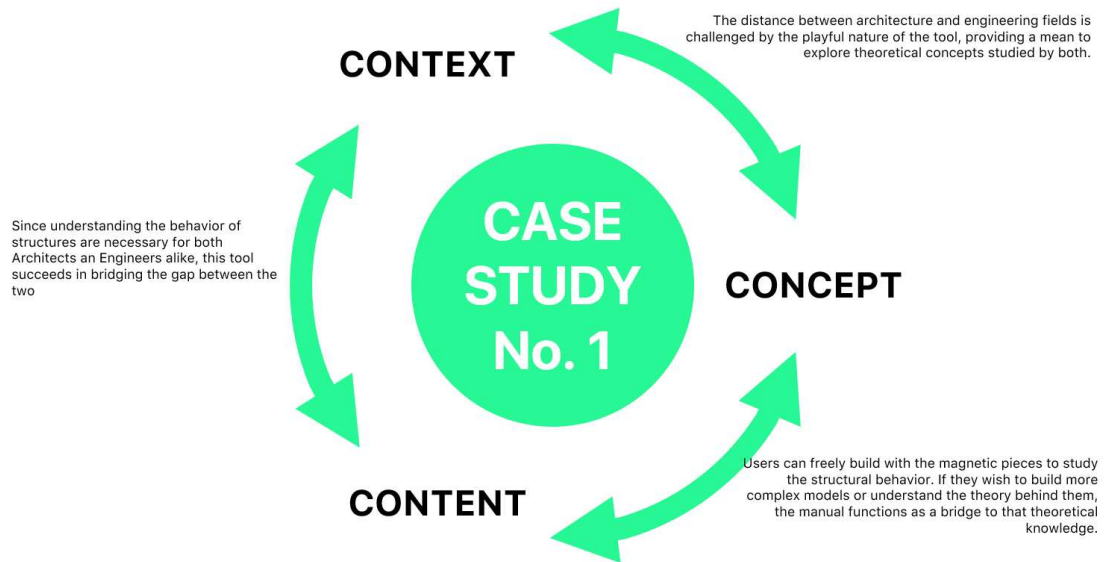
Adapted from source: (Mola 2022)

The interactivity, open-ended nature of the kit offers a dynamic and rewarding learning experience. The handling of the parts during the building stages and the act of manually applying forces brings in the influence of human touch to the comprehension of structural rigidity and accomplishes an understanding impossible to register in real structures by people's sensibilities (Oliveira 2008), the goal to bridge the gap between architecture and engineering fields is then achieved through the concept of a responsive scaled model.

Other important aspect to note is the friendly way in which the tool introduces more theoretical concepts, leaving users choose freely when to read the manual to study more about the structures, or simply build more complex ones.

As depicted in the Figure 11, understanding the behavior of structures is necessary for both Architects and Engineers, and the Case study No1 succeeds in bridging the gap between the two, challenged by the playful nature of the tool, providing means to explore theoretical concepts studied by both, not only by freely building with magnetic pieces, but also complex models with the help of a manual carrying more in depth theoretical content.

Figure 11 – Case Study No. 1 diagram.



Source: Authors

### 3.4 CASE STUDY No. 2: PROJETEEE

In a context of climate change and energy concern, the impact of buildings stands out both at a global scale. Buildings use more than 30% of the energy we produced globally and are responsible for an average yearly energy consumption of 2,5% since 2010 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY 2017). In Brazil, the residential sector used 27% of the total energy produced in 2020, an increase of 3,4% from the previous year (EPE 2021). If combined, the building, commercial, and material production industries (all directly related to architecture), the so-called Architecture sector plays a much bigger part on the demand for energy (Mazria 2003).

In addition to that, due to its size and extension, Brazil has a wide variety of climates and eco systems, so it would be expected to see building adaptations, updating vernacular construction methods with the help of digital tools, with focus on energy performance, passive strategies from different parts of the world through various materials and techniques (Vazquez, Duarte, and Poerschke 2020), especially since 85% of people who built or remodeled their homes, did so without the aid of an architect or engineer (DATAFOLHA and CAU/BR 2022).

Few architects, however, incorporate these adaptations, resulting in the climate and local characteristics being mostly ignored by the construction industry, that works independently of the site conditions. This happens for a variety of reasons, from the architect's education all the way to market circumstances (Maciel 2006).

Projeteee was created in 2006 from a cooperation of the Environment Ministry of Brazil (MME), UNPD Brazil, GEF and BID, aiming to contribute to the adoption of energy efficient design strategies and to promote a market transformation in the building industry. It is a web platform with climactic data of over 400 Brazilian cities, and recommends design strategies from a bioclimatic perspective, adequate to each region, detailing practical ways to be adopted in an architecture design. The given information is basic enough to be used at the start of a project cycle.

The recommendations are directly related to the NBR 15220: 2005 THERMAL PERFORMANCE IN BUILDINGS, a Brazilian national standard document that provides guidelines for social housing construction (ABNT 2003), that calculates the number of hours in or out the comfort zone in a year based on the ASHRAE 55 standard for adaptive comfort model and recommends the design strategies the bioclimatic chart adapted by Givoni for the Brazilian climate. The website runs the same calculations but presents the tailored results, making it much easier for consulting during the early stages of the design.

The first step is typing the name of the city, with this input, the user is immediately presented with a panel of the city's climate data. Finally, are the bioclimatic strategies recommended for the chosen city, as shown in Figure 12.

Figura 12 - Projeteee help architects make design decisions in line with the site's climate conditions.



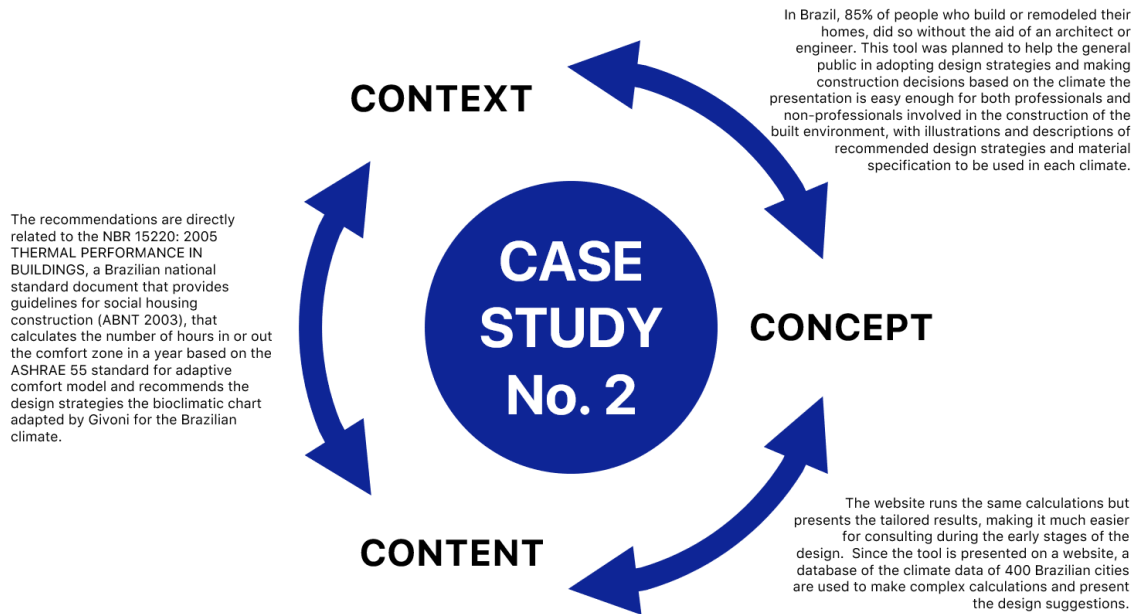
Adapted from source: (MME 2013)

The concept of getting design tips for specific climates and a wide number of cities is a welcome tool, especially in the context of a disconnection of the architecture and climate in Brazilian construction market. From a student's perspective, it can provide an intuitive introduction to bioclimatic design principles and strategies, helping them recognize and experiment with different strategies and climates.

Since the page was created in 2006 it was mostly focused on a desktop environment, just before a big change in the way people interact with web and computers that was kickstarted in the late 2000s by smartphones, tablets and other mobile devices. It still works well enough in these devices due to updates along the following years but doesn't take advantage of some features that became prevalent such as access to users' location, camera, or a variety of sensors that could be greatly integrated in the platforms concept.

In the context of the Brazilian construction market, dominated by informal settlement built without The Case Study No. 2 emerges as an option for professionals and citizens to get in contact with design suggestions tailored for their climate, something that is very welcome considering the country's geography. These complexities are explored in the Figure 13.

Figura 13 - Case Study No. 2 diagram.



Source: Authors

### 3.5 CASE STUDY No. 3: TYPOLOGY CARDS

Patty Heyda's research maps the politic aspects of houses, properties, people, and sustainability aspects of cities in the United States, shown in the Figure 14, so that architects and residents of these areas could rethink design and spatial agency in a context of uneven development and racial, climate and social urgencies (Heyda 2019).

This last case is not focused on the technology, but a more materialistic approach, understanding that the traditional ways of discussing the disconnection between the houses built in the United States, to the cities, place and time they are built on are failing to produce any effect in the construction market. The author presents an attempt to "surrender" to the markets own logic in order to bring attention to this matter by reducing house typologies, neighborhoods, and sites to cards that can be analyzed separately or put together for discussion purposes.

Figure 14 - Typology Cards purposefully separates house, property, people and even sustainability types to better understand and communicate its actual separation in real life.



Adapted from source: (Heyda 2019)

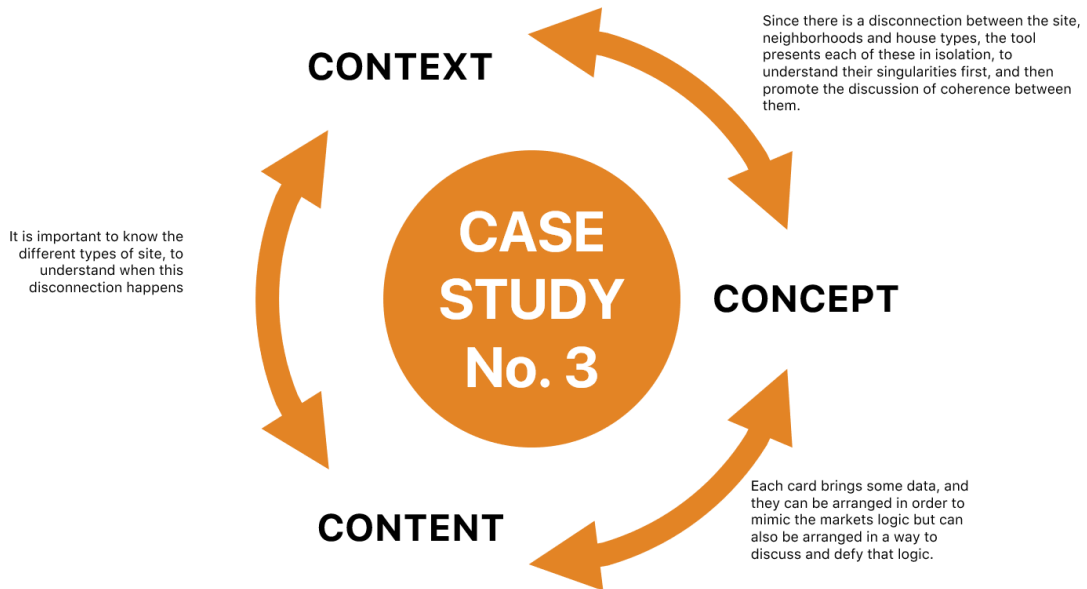
Single-family houses are found along any given American metropolitan transect. Often, these houses share the same typologies regardless of where in the region they are located—urban, suburban, or exurban neighborhoods (Heyda 2019). The values architects are trained to discover and advance, such as environmental and material integrity, aesthetics, public and private life, and memory and continuity, no longer drive design outcomes. Today's house forms are profitable *because* they dislocate from site specificities. While this reality is known to most contemporary designers, few challenge the status quo. Due to this marketization of design, the values architects are trained to discover and advance, such as environmental and material integrity, aesthetics, public and private life, and memory and continuity, no longer drive design outcomes.

If the architects today are no longer in control of the imaging constructions and subversions of their own designs, perhaps the technology we use to interact and interpret these images could be used to architecture education with the specific intent to get closer to that control. In that sense, the mobile devices could represent the technology ubiquity through which the proposed learning tool should carry the design concepts it intends to teach.

The Case Study No. 3, as shown in the Figure 15, presents houses, neighborhoods and sites in a disconnected way, in an attempt to understand a context of actual

disconnection between those, to promote a discussion about the construction market's own logic that imposes itself over the architects training.

Figure 15 - Case study No. 3 diagram.



Adapted from source: (Heyda 2019)

### 3.6 CONCLUSION

The three examples discussed above have important features that can be not only can be incorporated in future learning tools, but also be amplified if put together in a seamless and cohesive way. The interactive nature of these tools, and the increasingly digital insertion in the learning process points the direction to develop hybrid learning tools, carrying the tangible interactivity of *Mola Structural Kit*, the synthesis capabilities of *Typology Cards* and the rich technical approach of *projetEEE*, as condensed in the Figure 16.

Figura 16 - Aspects to be present in future learning tools.

	<b>PROJETEEE WEBSITE</b>	<b>MOLA KIT</b>	<b>TYOLOGY CARDS</b>	<b>FUTURE LEARNING TOOLS</b>
<b>CONTEXT</b>	Climate change and informality	Architecture/ Engineering	U.S. housing market reality	Increasingly digital
<b>CONTENT</b>	Rich, technical, but accessible	Explains in itself + manual	Synthesis capabilities	From simple to complex
<b>CONCEPT</b>	Tailored for user input	tangible interactivity	Cards that can be combined	Seamlessness, experimental

Source: Authors

More recent technology advancements such as mobile devices can expand even further these possibilities, pointing to a more seamlessness in the way we interact with learning interfaces: the cards could come embedded with 3D models interactive through Augmented Reality, providing some of the responsiveness of scale models. Web platforms could also take advantage of sensors, local information, helping students with both the design and communication challenges of an Architect's career.

### **ACKNOWLEDGEMENTS**

This study was financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

## REFERENCES

- ABNT. 2003. *NBR 15220 Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas Para Habitações Unifamiliares de Interesse Social*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Al-Qawasmi, Jamal. 2005. "Digital Media in Architectural Design Education: Reflections on the e-Studio Pedagogy." *Art, Design & Communication in Higher Education* 4 (3): 205–22. <https://doi.org/10.1386/ADCH.4.3.205/1>.
- Arashpour, Mehrdad, and Guillermo Aranda-Mena. 2017. "Curriculum Renewal in Architecture, Engineering, and Construction Education: Visualizing Building Information Modeling via Augmented Reality." *ISEC 2017 - 9th International Structural Engineering and Construction Conference: Resilient Structures and Sustainable Construction*, 1–6. <https://doi.org/10.14455/isec.res.2017.54>.
- DATAFOLHA, and CAU/BR. 2022. "82% DAS MORADIAS DO PAÍS SÃO FEITAS SEM ARQUITETOS OU ENGENHEIROS." 2022. <https://www.caubr.gov.br/pesquisa2022/>
- EPE. 2021. "Balanço Energético Nacional - BEN 2021." *Empresa de Pesquisa Energética*, 268. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>.
- Groat, Linda N., and David Wang. 2013. *Architecture Research Methods*. 2nd ed. New Jersey: Wiley.
- Heyda, Patty. 2019. "What About Typology? An Update for Late Capitalism." *JAE Online*. <http://www.jaeonline.org/articles/design-scholarship/what-about-typology>.
- Holzer, Dominik. 2019. "Teaching Computational Design and BIM in the Age of (Semi)Flipped Classrooms." *Intelligent and Informed - Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2019 2*: 715–24.
- Hussien, Aseel, Atif Waraich, and Daniel Paes. 2020. "A Review of Mixed-Reality Applications in Construction 4.0." *Construction 4.0*, 131–41. <https://doi.org/10.1201/9780429398100-7>.
- Maciel, Alexandra Albuquerque. 2006. "INTEGRAÇÃO DE CONCEITOS BIOCLIMÁTICOS AO PROJETO ARQUITETÔNICO." Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Mazria, Edward. 2003. "It ' s the Architecture , Stupid !" *Solar Today*, 48–51.
- MME. 2013. "Sobre o Projeteeee." Ministério de Minas e Energia. Brasília. 2013. <http://projeteeee.mma.gov.br/sobre-o-projeteeee/>.
- Mola, Community. 2016. "About Us | Molamodel-Us." MOLAMODEL-BR. Perdizes. 2016. <https://molamodel.com/pages/about-us>.
- . 2022. "Como a USP Usa o Mola Para Aprimorar o Ensino de Estruturas |

Molamodel-Br.” MOLAMODEL-BR. Perdizes. 2022. <https://br.molamodel.com/blogs/mola-blog/how-a-leading-university-uses-mola-to-improve-the-teaching-of-structures>.

Oliveira, Márcio Sequeira de. 2008. “Modelo Estrutural Qualitativo Para Pré- Avaliação Do Comportamento De Estruturas Metálicas.” Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. [https://cdn.shopify.com/s/files/1/2107/9061/files/Mola\\_Master\\_Thesis\\_Portuguese\\_Version.pdf](https://cdn.shopify.com/s/files/1/2107/9061/files/Mola_Master_Thesis_Portuguese_Version.pdf).

———. 2014. “Mola Structural Kit.” Catarse. 2014. <https://www.catarse.me/mola>.

Sarhan, Ahmed, and Peter Rutherford. 2014. “Integrating Sustainability in the Architectural Design Educational Process.” *ECAADe 32 1*: 323–32.

Vazquez, Elena, Jose Duarte, and Ute Poerschke. 2020. “For Design Generation and Environmental Performance Optimization” 8628 (I). <https://doi.org/10.1080/00038628.2020.1749552>.

Życzkowska, Karolina, and Katarzyna Urbanowicz. 2019. “Architectural Education and Digital Tools: The Challenges and Opportunities.” In *World Transactions on Engineering and Technology Education*.

## **CAPÍTULO 4 - REALIDADE AUMENTADA COMO FERRAMENTA PARA ENSINO DE PROJETO BIOCLIMÁTICO: ROTEIRO PARA VISUALIZAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS NA WEB<sup>18</sup>**

### **AUGMENTED REALITY IN BIOCLIMATIC DESIGN LEARNING: A ROAD MAP FOR VISUALIZING 3D MODELS ON THE WEB**

#### **RESUMO**

Arquitetura é um campo do conhecimento que se vale de múltiplas outras áreas, oferecendo assim grande potencial para trabalhos interdisciplinares. Especificamente no contexto do ensino do processo de projeto, faz-se necessária a constante adaptação e incorporação de novas ferramentas e tecnologias. Entendendo que a comunicação espacial é importante para proporcionar um entendimento do desempenho do objeto arquitetônico, o presente trabalho se propõe a descrever o processo de construção das bases de uma ferramenta didática para o ensino de projeto Bioclimático, utilizando a Realidade Aumentada para promover essa comunicação. O método utilizado é um relato da organização de uma ferramenta com caráter de catálogo de estratégias ou conceitos de projeto bioclimático na forma de jogo de cartas, viabilizado por um código aberto disponível em um repositório do GitHUB, a partir da adaptação de bibliotecas que permitem visualizar objetos tridimensionais em AR direto de um navegador e compatível com arquivos exportados pela maioria dos softwares de modelagem 3D. Espera-se que este trabalho contribua em auxiliar diretamente a formação inicial de arquitetos, fomentar a utilização dessa tecnologia por docentes nas diferentes áreas do campo da arquitetura, trazer a tecnologia para intensificar as trocas entre professores e estudantes, integrando a transdisciplinaridade e conectividade na prática e ensino de Arquitetura. Algumas limitações são destacadas, como o carregamento e visualização de um modelo por vez, com manipulação apenas de seu posicionamento e rotação, e é destacada a possibilidade de expandir a proposta.

---

<sup>18</sup> Este capítulo foi submetido como artigo ao periódico Gestão & Tecnologia de Projetos e aguarda avaliação até a presente data. Após avaliação da revista, caso seja aceito serão incluídos aqui os nomes das co-autoras.

**PALAVRAS-CHAVE:** ferramenta de ensino; interfaces digitais; projeto bioclimático; realidade aumentada.

### **ABSTRACT**

Architecture is a field of knowledge that draws on multiple other areas, thus offering great potential for interdisciplinary work. Specifically in the context of teaching the design process, it is necessary to constantly adapt and incorporate new tools and technologies. Understanding that spatial communication is important to provide an understanding of the performance of the architectural object, this paper aims to describe the process of building the foundations of a learning tool for teaching Bioclimatic Design, which uses Augmented Reality to promote this communication. The method used was the description of a road map of the tool's development, presented as a catalog of bioclimatic design strategies or concepts in the form of a card game. The tool is made possible by an open-source code available in a GitHub repository, from the adaptation of libraries that allow the visualization of three-dimensional objects in AR directly from a browser and compatible with files exported by most 3D modeling software. It is hoped that this work will contribute to directly assist the initial education of architects, encourage the use of this technology by teachers in different areas of architecture, bring the technology to intensify the exchanges between teachers and students, integrating transdisciplinarity and connectivity in the practice and teaching of Architecture. Some limitations are highlighted, such as the loading and visualization of one model at a time, with manipulation only of its positioning and rotation, and the possibility of expanding the proposal is highlighted.

**KEYWORDS:** learning tool; digital interfaces; bioclimatic design; augmented reality

## RESUMEN

La arquitectura es un campo de conocimiento que se nutre de otras múltiples áreas, por lo que ofrece un gran potencial para el trabajo interdisciplinar. Concretamente en el contexto de la enseñanza del proceso de diseño, es necesario adaptarse constantemente e incorporar nuevas herramientas y tecnologías. Entendiendo que la comunicación espacial es importante para proporcionar una comprensión del rendimiento del objeto arquitectónico, este trabajo tiene como objetivo describir el proceso de construcción de las bases de una herramienta didáctica para la enseñanza del diseño Bioclimático, utilizando la Realidad Aumentada para promover esta comunicación. El método utilizado es un informe de la organización de una herramienta con carácter de catálogo de estrategias o conceptos de diseño bioclimático en forma de juego de cartas, posible gracias a un código fuente abierto disponible en un repositorio GitHUB, a partir de la adaptación de librerías que permiten la visualización de objetos tridimensionales en RA directamente desde un navegador y compatible con archivos exportados por la mayoría de software de modelado 3D. Se destacaron algunas limitaciones de la propuesta, como la carga y visualización de un modelo a la vez, con manipulación únicamente de su posicionamiento y rotación. Se espera que este trabajo contribuya a ayudar directamente a la formación inicial de los arquitectos, fomentar el uso de esta tecnología por los profesores en diferentes áreas del campo de la arquitectura, llevar la tecnología para intensificar los intercambios entre profesores y estudiantes, la integración de la transdisciplinariedad y la conectividad en la práctica y la enseñanza de la arquitectura.

**PALABRAS CLAVE:** herramienta didáctica; interfaces digitales; proyecto bioclimático; realidad aumentada

## 4.1 INTRODUÇÃO

Arquitetura é um campo do conhecimento que se vale de múltiplas outras áreas, oferecendo assim grande potencial para trabalhos interdisciplinares. Uma dessas áreas é o desempenho ambiental de edificações, que vem ganhando cada vez mais importância e trazendo consigo uma significância na tecnologia aplicada ao meio ambiente (e tecnologia em geral), além de um senso de urgência cada vez maior ao redor do tema (RASHED-ALI et al., 2014).

Jakubiec et al. (2017) afirma que a comunicação espacial é importante para proporcionar um entendimento do desempenho do objeto arquitetônico em processos de projeto. Análises demonstrando ventilação, conforto térmico e luz do dia simultaneamente e espacialmente através de uma vista única facilitam sua compreensão.

A Realidade Aumentada (AR) consiste em informações adicionais, que podem ser vistas através de uma interface tecnológica, sobrepostas a imagens do mundo real no espaço tridimensional (RASHED-ALI et al., 2014). Apresenta-se como um híbrido entre os modelos físicos tradicionalmente usados por arquitetos (em um processo mais lento de iteração) e as ferramentas digitais, que proporcionam uma velocidade muito maior nas iterações do processo projetual.

Ao discutir a adoção limitada do BIM na Austrália, (MOLONEY et al., 2018) afirma que nunca haverá uma tecnologia única e isolada, capaz de produzir uma edificação por completo, desde sua concepção até sua ocupação. Contemplando uma abordagem híbrida, adaptando e explorando novas tecnologias, como Realidade Aumentada e Realidade Virtual, o BIM seria apenas uma parte da equação, e como a percepção do usuário final é algo difícil de se medir, essas ferramentas ajudam a simular uma ocupação virtual antes da construção a um custo relativamente baixo.

No contexto do ensino do processo de projeto faz-se necessária a constante adaptação e incorporação de novas ferramentas e tecnologias. Sendo que, uma ferramenta interativa poderia responder a uma demanda por melhor aproveitamento do tempo de sala de aula, bem como a inserção de tecnologia para o desenvolvimento da comunicação do projeto.

Os melhores resultados são obtidos quando essas ferramentas digitais aplicadas à arquitetura são desenvolvidas por equipes multidisciplinares a exemplo do trabalho de Rashed-Ali et al. (2014), onde foi estudado o uso de Realidade Aumentada através de um software para tablets desenvolvido por um time de pesquisadores e educadores de três áreas: Arquitetura, Educação Interdisciplinar e Ciência da Computação. Esse aplicativo simula o impacto de diferentes características projetuais em edifícios residenciais na sua temperatura interna e uso (bem como o custo) anual de energia.

Outros trabalhos trazem modelos mais robustos, que extrapolam a simples manipulação tridimensional e oferecem especialidades diretamente ligadas a seu desenvolvimento e finalidade. No modelo de Moloney et al. (2018), as análises qualitativas e quantitativas dos projetos foram visualizadas tanto no HoloLens quanto no aplicativo de Realidade Aumentada para dispositivos móveis. Além disso, os usuários puderam interagir como modelo e forma de visualização ao mover, mudar a escala e girar através de gestos manuais (HoloLens) ou através de uma tela sensível ao toque (versão móvel), o usuário poderia ligar ou desligar qual informação era visível ou oculta. Ao se utilizar múltiplos aparelhos, os modelos e dados podem ser vistos de diferentes ângulos, facilitando o compartilhamento de informações entre pessoas na mesma sala.

Já Ham; Golparvar-Fard (2013) viabilizaram comparações de desempenho energético de edifícios existentes com simulações através da criação de um modelo EPAR (Energy Performance Augmented Reality). Para isso o espaço a ser analisado é reconstruído com o uso de um scanner a laser e em paralelo são coletadas várias imagens a partir de uma câmera térmica. Nesse modelo reconstruído do espaço são sobrepostas às imagens da simulação e do levantamento, facilitando a comparação.

Há, entretanto, um argumento a favor de uma abordagem mais simples, a fim de introduzir com sucesso princípios e conceitos básicos de eficiência energética e gerar um impacto no entendimento desses conceitos e consciência do significado das questões ambientais, possivelmente influenciando positivamente na carreira dos estudantes, futuros profissionais. Rashed-Ali et al. (2014)

Mediante o exposto, este trabalho tem o objetivo de descrever o processo de construção das bases de uma ferramenta didática para o ensino de projeto

Bioclimático. Detalhar as etapas de criação de uma página web responsável pela hospedagem e exibição de modelos tridimensionais associados à cartas no formato de um jogo de baralho. Explorar o uso da Realidade Aumentada na ferramenta, de modo a associar o aspecto físico e tangível das cartas ao virtual e interativo, evidenciando o conteúdo em tela.

Para isso, primeiro são apresentadas as bibliotecas em Javascript pré-existentes, que foram utilizadas como base para a construção da página web, com as modificações e adaptações necessárias. Em seguida uma exploração de formatos e dimensões da parte tangível da ferramenta proposta é desenvolvida, com possibilidades de relacionar cartas com modelos tridimensionais em Realidade Aumentada, além de folhas A4 trazendo uma expansão da discussão teórica a partir de desafios ou exemplos de aplicação das estratégias aqui abordadas.

## **4.2 METODOLOGIA**

Relata-se aqui a organização de uma ferramenta com caráter de catálogo de estratégias ou conceitos de projeto bioclimático na forma de jogo de cartas. Cada carta traz um conceito ou estratégia, seu nome, uma breve descrição e ilustração esquemática. No verso da carta há um link para website e um QR-CODE. O link direciona para uma página da web que solicita acesso à câmera do dispositivo e exibe um objeto virtual em realidade aumentada referente ao código de cada uma das cartas.

Para viabilizar essa interface será utilizado um código aberto disponível em um repositório do GitHub, plataforma de hospedagem de código-fonte e arquivos com controle de versão, a partir do qual serão feitas as adaptações necessárias. Esse código fonte é compatível com arquivos exportados pela maioria dos softwares de modelagem 3D e utiliza uma biblioteca - conjunto de códigos pré-escritos que permite o desenvolvimento de aplicações baseadas em JavaScript, que possibilita visualizar objetos tridimensionais em AR direto de um navegador sem a necessidade de instalação de aplicativos especializados (ETIENNE, 2021).

Em seguida foi criada uma página web, que solicita acesso à câmera para o reconhecimento de marcadores (QR-CODES), que por sua vez contém instruções sobre qual modelo 3D deve ser exibido. Ao detectar um modelo compatível, é exibida

uma mensagem de confirmação na tela com o nome do modelo, que será baixado e exibido instantaneamente. Daí em diante, quando a câmera detecta o marcador, é exibido sobre a tela o modelo 3D digital posicionado sobre ele, que representa a origem no espaço tridimensional. A escala é definida pela área do quadrado escuro em volta do QR-CODE, que mede por padrão um metro quadrado, podendo ser ajustada.

Essa página web inicial pode ser trabalhada para receber uma interface de usuário gráfica, porém, entende-se que isso adicionaria uma maior complexidade ao código HTML final, fugindo do escopo do trabalho. Dessa maneira, simplificam-se as funcionalidades e aumenta a objetividade do código, tornando mais fácil a compreensão por quem ainda não tem conhecimentos de HTML.

As adaptações do código-fonte original foram feitas no sentido de simplificar a leitura e geração dos marcadores. No lugar de uma associação manual entre QR-codes e modelos 3D foi implementado um gerador a partir do endereço de hospedagem do modelo. Por exemplo, se um modelo é hospedado em <https://tuliorfernandes.github.io/Realidade-Aumentada/models/Casinha.glb>, esse endereço é a chave utilizada para gerar o marcador correspondente ao modelo, permitindo inclusive que um modelo 3D seja atualizado, sem a necessidade de gerar outro marcador, desde que se mantenha o endereço de hospedagem.

A facilidade de se atualizar os modelos tridimensionais (que são a base para os objetos virtuais em realidade aumentada) é uma das vantagens da adoção deste código, além da não dependência de aplicativos próprios, já que é baseado em web, a possibilidade de ser incorporado a um domínio próprio na internet, e ter suporte à animação. Entretanto, existem algumas limitações a ser contornadas, como a impossibilidade de exibir mais de um objeto simultaneamente, uma característica que pode trazer grande interatividade à ferramenta.

### **4.3 A INTERFACE DIGITAL E SEUS COMPONENTES**

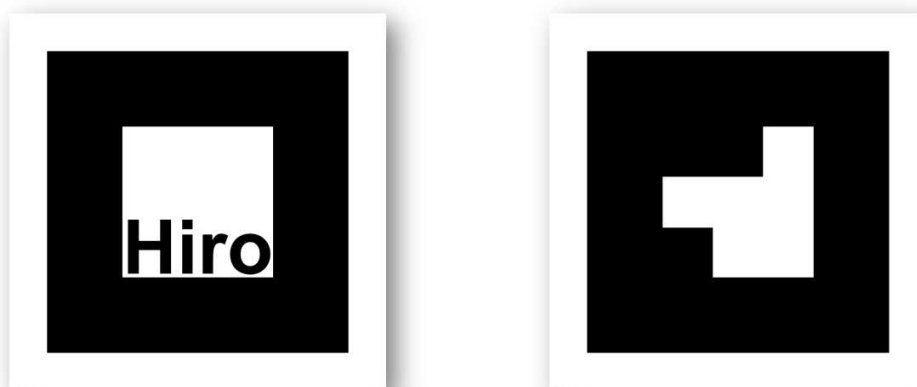
A interface digital parte do uso de bibliotecas prontas em código aberto a fim de evitar o desenvolvimento de aplicativos móveis e necessidade de conhecimento aprofundado em programação, as principais bibliotecas utilizadas foram AR.js e jsQR.

AR.js é uma biblioteca em Javascript para Realidade Aumentada (AR) para navegadores web, o que dispensa o desenvolvimento de aplicativos de celular ou outros dispositivos.

Essa biblioteca suporta três funcionalidades principais: rastreamento por imagem, AR baseada em localização e rastreamento por marcador. O rastreamento por imagem permite exibir um conteúdo sobre uma imagem bidimensional detectada pela câmera. A AR baseada em localização utiliza localização por GPS para definir em que posição exibir conteúdo em relação ao usuário. O rastreamento por marcadores é similar ao rastreamento por imagens, recomendado para situações que utilizam múltiplos marcadores diferentes (AR-JS-ORG, 2023). O presente trabalho utilizou o rastreamento por marcador, por atender à necessidade de exibir diferentes modelos tridimensionais associados a diferentes marcadores.

Dentre os tipos de marcador suportados pela biblioteca AR.js estão Hiro, código de barras e estampa. Hiro é o marcador padrão, consiste na palavra “Hiro” escrita em preto num fundo branco. Código de barras são bidimensionais e representam um número, limitado pela resolução da matriz. A estampa é customizável, criada a partir de uma imagem escolhida pelo usuário (AR-JS-ORG, 2023). Exemplos de cada um dos três padrões estão ilustrados na Figura 17.

Figura 17 - Marcadores do tipo Hiro e código de barras, utilizados pela biblioteca AR.js



Fonte: Autores (2023).

Diferentemente do Hiro, o marcador com código de barras contém uma informação além da posição de referência para o modelo tridimensional, podendo representar também o modelo a ser exibido. Para evitar uma etapa de tradução do número contido no código de barras para o endereço do modelo a ser exibido, optamos por utilizar uma estampa customizada que represente diretamente o endereço do modelo.

A biblioteca AR.js disponibiliza a ferramenta AR.js Marker Training, que cria marcadores com estampas personalizadas a partir de uma imagem (AR-JS-ORG, 2023b). Para que o rastreamento usando marcadores customizados funcione bem, a imagem não pode ter simetria radial, pois isso dificulta que o sistema rastreie a rotação do marcador (CARPIGNOLI, 2019)

Diferente dos códigos de barra utilizados pelo AR.js, que são limitados a números, os Códigos QR, como o da Figura 18, podem conter texto, e representar diretamente um endereço da web. Assim podemos usar um Código QR como estampa na ferramenta AR.js Marker Training, que quando lido, provê o endereço de um modelo tridimensional. Outra característica desejável dos códigos QR é que possui redundância, podendo ser parcialmente obstruído sem impedir sua leitura (DENSO WAVE, 2023).

Figura 18 - Um código QR contendo um endereço web



Fonte: Autores (2023).

Dadas essas características, usar um código QR como estampa para o marcador, permite que ele cumpra duas funções: conter o endereço do modelo tridimensional a ser exibido e posicionar este modelo em Realidade Aumentada utilizando a biblioteca AR.js. Entretanto, o código QR não possui uma assimetria que facilite o rastreo rotacional quando usado no marcador.

Para contornar essa limitação, ocultamos uma parte do código QR para acentuar sua assimetria radial, como mostra a Figura 19, e dessa forma melhorar seu desempenho no rastreamento de rotação. Isso é possível dada sua redundância, já que mesmo parcialmente obstruído o endereço contido nele, pode ser corretamente lido.

Figura 19 - Um código QR parcialmente obstruído para conferir-lhe assimetria

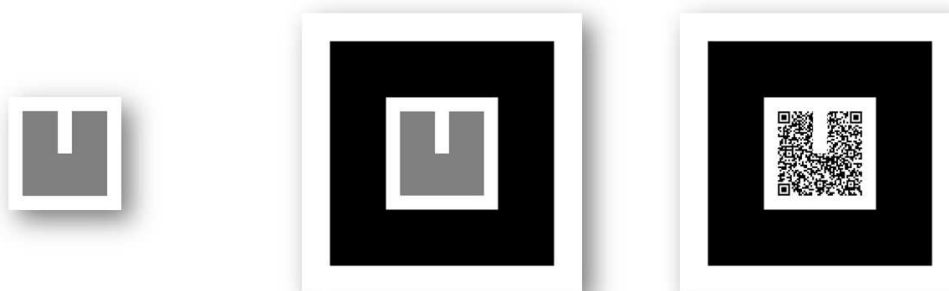


Fonte: Autores (2023).

Como é desejável para o trabalho ter múltiplos marcadores com diferentes códigos QR, optamos por usar uma estampa cinza na ferramenta AR.js Marker Training ao invés de um código QR em preto e branco. Dessa forma, nossa estampa representa a forma geral de um código QR e não um código específico. A ferramenta gera um marcador que o AR.js utiliza para posicionar os modelos tridimensionais.

A Figura 20 mostra a sequência da estampa escolhida, o marcador gerado e em seguida a imagem final utilizada no verso das cartas.

Figura 20 - Da esquerda para a direita: a estampa utilizada na ferramenta AR.js Marker Training, o marcador produzido e o exemplo de uma imagem que combina o marcador com um código QR.



Fonte: Autores (2023).

A imagem que utilizamos no verso das cartas é o marcador gerado pela ferramenta, combinado com um código QR contendo o endereço do modelo a ser exibido. Dessa forma, dada a semelhança do código QR com a estampa, uma única imagem desempenha os dois papéis: o de marcador de posição e o endereço do modelo a ser exibido.

#### 4.4 IMPLEMENTAÇÃO DA PÁGINA WEB

Todo o código da página de visualização de modelos pode ser acessado em <https://github.com/tuliorfernandes/Realidade-Aumentada/blob/main/view/index.html>.

A visualização na web dos modelos foi feita a partir de três bibliotecas de código aberto: A-Frame, AR.js e jsQR. A documentação do AR.js inclui um exemplo para exibição em Realidade Aumentada, utilizando marcadores, em poucas linhas de código HTML, através de uma outra biblioteca, o A-Frame. O exemplo foi adaptado para melhor atender aos nossos objetivos. Substituímos o modelo 3D e utilizamos nosso próprio marcador no lugar do marcador padrão, conhecido como Hiro. Adicionamos também a biblioteca jsQR para ler QR-codes utilizando a câmera do celular. O papel de cada biblioteca e as adaptações estão ilustradas pela sequência de Figuras 21 a 30. Na Figura 21, estão os elementos obrigatórios para construção de uma página HTML e seu título.

Figura 21 - Elementos obrigatórios do HTML e título da página.

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="pt-BR">
3
4 <head>
5   <meta charset="utf-8">
6   <title>Visualizador</title>
7 </head>
```

Fonte: Autores (2023).

Entre as linhas 8 e 11, como mostrado na Figura 22, são importadas as bibliotecas JavaScript para a página web, A-frame para visualização em 3D, AR.js para Realidade Aumentada e jsQR para leitura de QR-codes.

Figura 22 - Importação de bibliotecas externas.

```
8 <script src="https://aframe.io/releases/1.0.0/aframe.min.js"></script>
9 <!-- we import arjs version without NFT but with marker + location based support -->
10 <script src="https://raw.githack.com/AR-js-org/AR.js/master/aframe/build/aframe-ar.js"></script>
11 <script src="https://raw.githack.com/cozmo/jsQR/master/dist/jsQR.js"></script>
```

Fonte: Autores (2023).

O corpo da página consiste em uma cena 3D, contendo um marcador, através do qual o modelo 3D é posicionado, e também uma câmera virtual, como ilustrado na Figura 23, nas linhas 14 e 18. A posição e orientação relativa entre a câmera e marcador virtuais correspondem à posição e orientação relativa da câmera e marcador físicos. O elemento `a-scene` é um recurso da biblioteca A-frame, e a biblioteca AR.js facilita a implementação de Realidade Aumentada durante o uso da A-frame através do elemento `a-marker`, que representa o marcador. Quando a página termina de ser carregada a função `iniciar` é chamada (linha 13).

Figura 23 - Elementos do corpo da página HTML.

```

13 <body style="margin : 0px; overflow: hidden;" onload="iniciar()">
14   <a-scene embedded arjs vr-mode-ui="enabled: false">
15     <a-marker type="pattern" url="MARCADOR.patt" preset="custom">
16       <a-gltf-model src="../models/Casinha.glb"></a-gltf-model>
17     </a-marker>
18     <a-entity camera></a-entity>
19     <!-- Essa é a câmera virtual da cena 3D, e não a câmera do celular -->
20   </a-scene>
21 </body>

```

Fonte: Autores (2023).

A variável “contexto” é declarada na linha 23 do código, como mostra a Figura 24, para ser utilizada tanto pela função “iniciar” quanto pela função “ler\_codigo”, nas linhas 25 e 31. A função “iniciar” cria um contexto onde é possível desenhar imagens em 2D, que será utilizado para detectar o código QR. Ela também configura a função “ler\_codigo” para ser chamada a cada 250 milissegundos. Isso permite que seja possível trocar de modelo sem sair da página, já que um novo código QR poder ser lido a cada chamada da função ler\_codigo.

Figura 24 - Configuração inicial.

```

22 <script>
23   var contexto;
24
25   function iniciar()
26   {
27     contexto = document.createElement("canvas").getContext("2d");
28     setInterval(ler_codigo, 250);
29   }
30
31   function ler_codigo()

```

Fonte: Autores (2023).

A função “ler\_codigo” verifica a presença de um elemento de vídeo na página e prossegue apenas caso esteja disponível, como ilustrado nas linhas 32 a 35 da Figura

25. Um exemplo de uma situação que faça o vídeo estar indisponível é o usuário não conceder ao navegador web a permissão de acesso à câmera. O elemento de vídeo é criado automaticamente pela biblioteca AR.js, e exibe a imagem gerada pela câmera do dispositivo.

Figura 25 - A função não prossegue enquanto não houver um vídeo disponível.

```
31     function ler_codigo()
32     {
33         const video = document.querySelector("video");
34         if (video)
35         {
36             contexto.canvas.width = video.videoWidth;
37             contexto.canvas.height = video.videoHeight;
38             contexto.drawImage(video, 0, 0, contexto.canvas.width, contexto.canvas.height);
39         }
```

Fonte: Autores (2023).

O quadro atual do vídeo é desenhado em nosso contexto e em seguida, extraído em formato de imagem, como mostra a Figura 26. Isso é necessário porque a biblioteca jsQR é capaz de detectar um QR-code em uma imagem, mas não em um vídeo.

Figura 26 - A imagem da câmera é copiada.

```
36     contexto.canvas.width = video.videoWidth;
37     contexto.canvas.height = video.videoHeight;
38     contexto.drawImage(video, 0, 0, contexto.canvas.width, contexto.canvas.height);
39
40     const imagem = contexto.getImageData(0, 0, contexto.canvas.width, contexto.canvas.height);
41     const codigo = jsQR(imagem.data, imagem.width, imagem.height);
42
```

Fonte: Autores (2023).

Caso um QR-code seja encontrado e seja válido, seu conteúdo é ajustado para convertê-lo do endereço da página de visualização para o endereço de um arquivo de

um modelo 3D desejado. Essa condição está ilustrada entre as linhas 43 e 49 da Figura 27.

A função “trocar\_modelo” é chamada com o endereço do novo modelo a ser exibido. Essa troca é feita ao seguir um sistema de nomeação e hospedagem dos modelos 3D, de forma que a informação contida nos QR-codes é na verdade o próprio endereço de hospedagem do modelo. Esse sistema, juntamente com a função “trocar\_modelo” permitem que a troca seja automática, assim que detectado um novo código, tornando o uso da ferramenta mais dinâmico.

Figura 27 - Conversão do conteúdo do QR-code em um endereço para um modelo 3D.

```
43         if (codigo)
44         {
45             if (codigo.data != "")
46             {
47                 trocar_modelo(codigo.data.replace("?", "../models/"));
48             }
49         }
50     }
51 }
52 }
53 }
```

Fonte: Autores (2023).

A troca do modelo 3D, como mostrada na Figura 28, é feita em duas partes. Inicialmente buscamos na página o elemento de marcador contido na nossa cena 3D. A esse marcador está associado o modelo 3D anterior, portanto, antes do novo modelo ser introduzido, apagamos todos os elementos previamente associados a ele.

Figura 28 - Remoção de elementos associados ao marcador, antes de carregar um novo modelo.

```
54     function trocar_modelo(nome_do_modelo)
55     {
56         const marcador = document.querySelector("a-marker");
57         while (marcador.lastChild)
58         {
59             marcador.removeChild(marcador.lastChild);
60         }
61     }
```

Fonte: Autores (2023).

Para a adição do novo modelo 3D, é criado um novo elemento na página, ao qual é passado o endereço do arquivo a ser carregado, de acordo com a Figura 29. Esse novo modelo é associado ao marcador para que sejam renderizados na mesma posição.

Figura 29 - Adição de um novo modelo 3D, após a leitura do QR-code.

```
62         const modelo = document.createElement("a-gltf-model");
63         modelo.setAttribute("src", nome_do_modelo);
64         marcador.appendChild(modelo);
65     }
66 </script>
67
68 </html>
```

Fonte: Autores (2023).

#### 4.5. INTERFACE FÍSICA NA FORMA DE CARTAS CODIFICADAS

Para o formato físico da ferramenta, se optou pelas dimensões de um baralho comum (57x89mm) contendo elementos a serem entendidos individualmente, como estratégias de projeto e trajetória solar, mas também uma peça maior, com papel de tabuleiro, de forma a criar uma relação entre os elementos individuais, tais como a definição de um clima específico ou um tabuleiro prevendo a inserção de maquete física para análise em Realidade Aumentada.

Uma vez implementada a página web com possibilidade de upload de modelos tridimensionais e geração de códigos associados a esses modelos, foram definidas dimensões físicas. Cartas com 11,5cm de comprimento e 9,5cm de largura foram usadas para representar estratégias bioclimáticas seguindo a mesma lógica de recomendação de estratégias bioclimáticas do projetee (MME, 2013) e NBR (ABNT, 2003). A Figura 30 mostra uma dessas cartas, que contém na frente o nome da estratégia bioclimática apresentada, além de uma ilustração, e no verso um código QR.

Figura 30 - As cartas apresentam nome e ilustração na frente e um código no verso que quando escaneado exibe um modelo tridimensional referente a estratégia ou conceito abordado.



Fonte: Autores (2023).

Quando o código QR no verso da carta é lido pela câmera de um dispositivo como celular, tablet ou desktop, é exibida a página web como modelo tridimensional em Realidade Aumentada referente à estratégia apresentada, permitindo uma visualização interativa e dinâmica, como mostra a Figura 31.

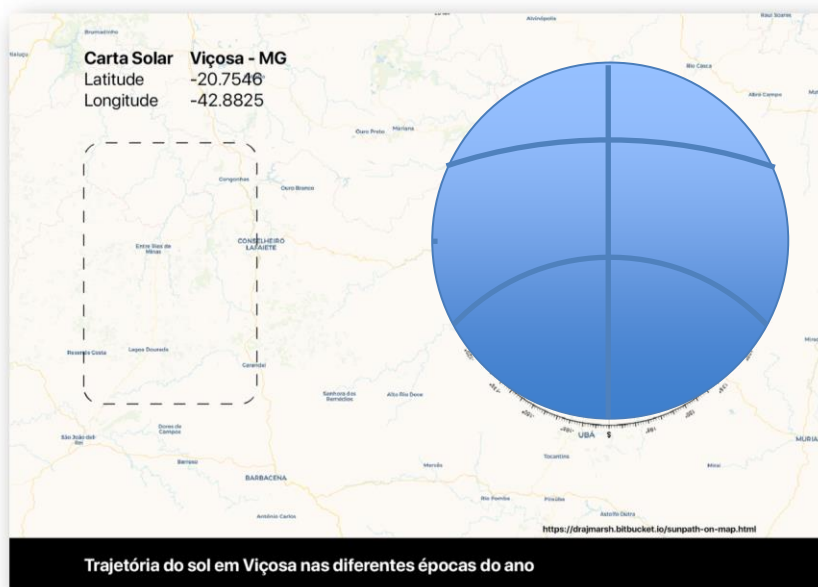
Figura 31 - A leitura do código direciona para a visualização de um modelo 3D em Realidade Aumentada



Fonte: Autores (2023).

Além das cartas codificadas, folhas em tamanho A4 foram usadas como receptor para essas cartas, numa lógica de tabuleiro. Partindo disso foram exploradas diferentes maneiras de integrar as cartas, os modelos tridimensionais para visualização em Realidade Aumentada e as folhas A4, de modo a promover uma relação entre o conteúdo e o formato proposto. Uma dessas folhas A4, representada pela Figura 32, contém uma base para estudo da trajetória do sol, onde uma maquete em escala pode ser posicionada ao lado do espaço reservado à carta, possibilitando um estudo solar interativo do projeto de arquitetura.

Figura 32 - Exemplo de folha A4 que expande o uso das cartas com visualização de uma trajetória solar sobre uma maquete em escala



Fonte: OpenStreetMap (2023).

Nessa folha A4 para estudo solar do projeto, podem ser utilizadas diferentes situações, como trajetórias do sol durante o inverno, verão ou equinócios. A Figura 33 demonstra uma possibilidade de cartas específicas para essas condições, não restringindo o conteúdo das cartas apenas às estratégias de projeto, mas também abordando conceitos relevantes à proposta.

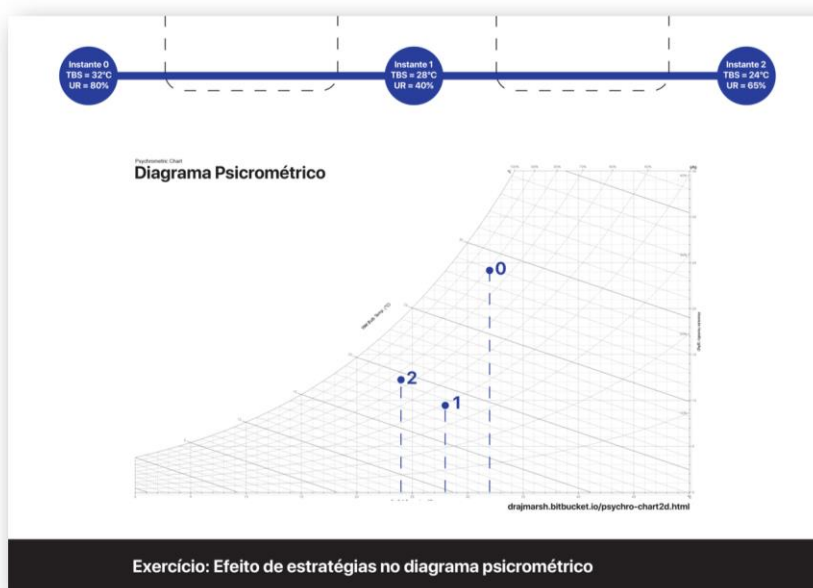
Figura 33 - Cartas podem trazer conceitos como trajetória solar



Fonte: Autores (2023).

A partir de uma atividade da disciplina ARQ 362 – Conforto Térmico, utilizada como referencial didático e discutida no Capítulo 2, foi adaptada uma folha A4 onde é descrito um desafio no qual deve-se identificar quais estratégias podem ser empregadas para explicar determinadas mudanças de temperatura de bulbo seco e umidade relativa em um ambiente. A Figura 34 apresenta a folha A4 com 3 situações e 2 lacunas para receber respostas na forma de cartas menores.

Figura 34 - Exemplo de desafio onde as cartas com estratégias de projeto se relacionam a uma mudança nas condições de um ambiente



Fonte: Autores (2023).

A Figura 35 representa as cartas que respondem corretamente o desafio acima, é “Ar condicionado” explicando a mudança entre os instantes 0 e 1, e “Resfriamento Evaporativo” explicando a mudança entre os instantes 1 e 2.

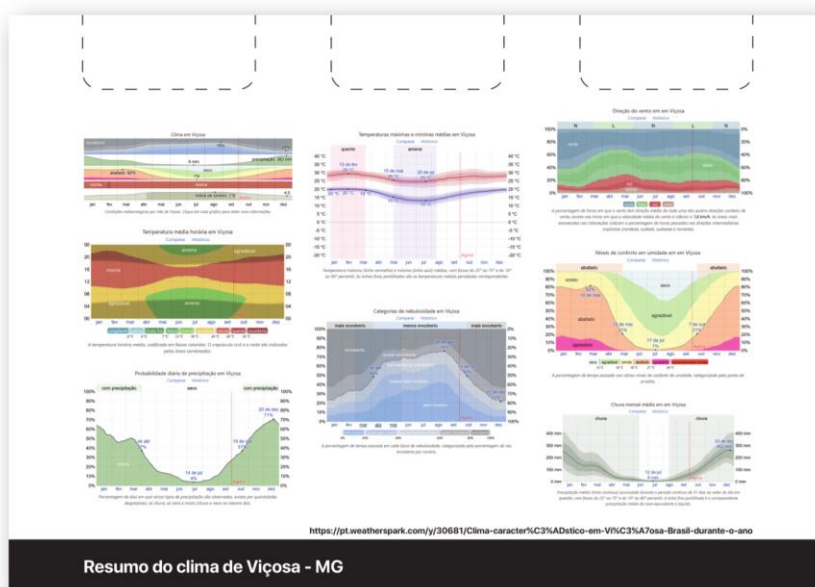
Figura 35 - Cartas que respondem ao exemplo de desafio da Figura 24



Fonte: Autores (2023).

Um exemplo de uso mais aprofundado e complexo para as folhas A4, seria apresentar um resumo do clima de uma determinada cidade, como mostra a Figura 36. Nesse caso pode-se tanto discutir e explorar quais estratégias são mais adequadas para cada lugar e clima, bem como comparar o clima e recomendações de projeto para duas localidades diferentes.

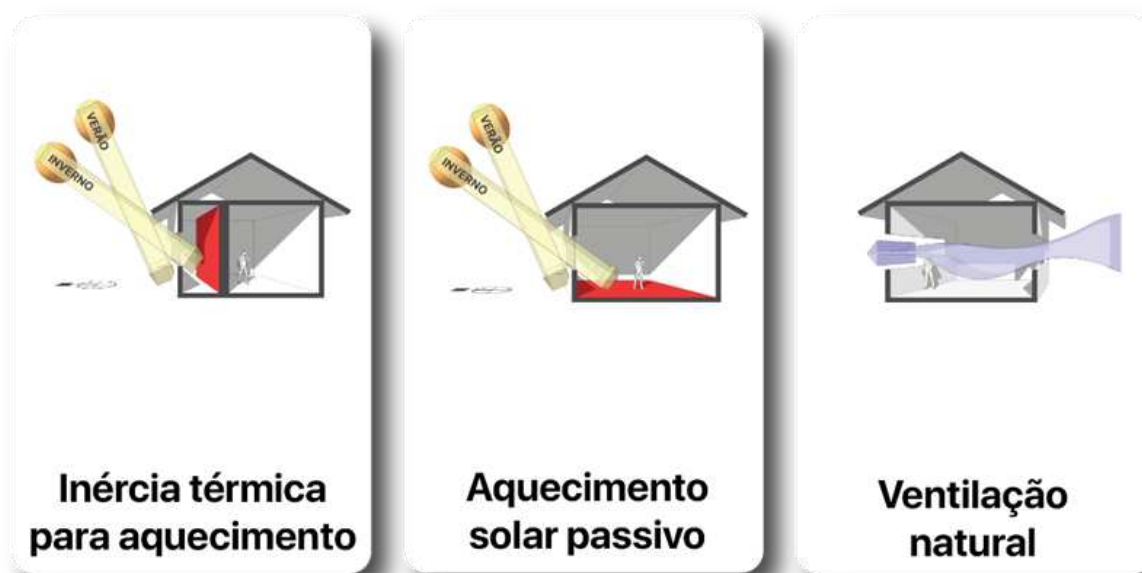
Figura 36 - Nesse exemplo é apresentado um resumo do clima de Viçosa, para que se possa escolher as estratégias a partir das informações apresentadas



Fonte: Weather Spark ([s. d.]).

Seguindo a lógica de recomendações do ProjetEEE para Viçosa (PROJETEEE, [s. d.]) as principais estratégias recomendadas são *Inércia térmica para aquecimento*, *Aquecimento solar passivo* e *Ventilação natural*, representadas pela Figura 28.

Figura 37 - Estratégias recomendadas para o clima de Viçosa



Fonte: Autores (2023).

#### 4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas limitações do trabalho devem ser destacadas. A primeira delas é a impossibilidade de carregar e visualizar mais de um modelo tridimensional ao mesmo tempo, o que possibilitaria a combinação de conceitos e um ganho geral no que diz respeito a pensar estratégias de projeto como um conjunto - na visão do projeto como um todo. A manipulação dos modelos até o presente momento está limitada ao posicionamento e rotação, embora a estrutura utilizada possibilite o uso de animações, o controle dessas animações possibilitaria dispensar o uso de três cartas diferentes para representar a trajetória solar, ilustrado pela Figura 8. Os objetivos e problemas dessa pesquisa podem ser estendidos para a Realidade Virtual, uma tecnologia que facilita ainda mais a percepção do projeto por indivíduos não familiarizados com representação arquitetônica convencional, possibilitando melhor

feedback do trabalho dos arquitetos (AGIRACHMAN; SHINOZAKI, 2021) através de uma relação mais imersiva com o espaço em diferentes escalas.

Partindo do pressuposto que o desenvolvimento de uma ferramenta imersiva de aprendizado baseada em Realidade Aumentada dá suporte à autonomia e compreensão, por estudantes de arquitetura, de conceitos de eficiência energética e estratégias bioclimáticas de projeto, espera-se que este trabalho tenha contribuições de diferentes níveis.

Em um primeiro nível, acredita-se que a ferramenta tem o potencial de auxiliar diretamente a formação inicial de arquitetos, impactando de forma positiva na consolidação de conceitos de sustentabilidade e coerência na tomada de decisões de projeto. Em segundo plano, a descrição do processo de implementação de AR a partir de um código simples em HTML, um website e um dispositivo móvel ou computador com câmera, cria subsídios e fomenta a utilização dessa tecnologia por docentes nas diferentes áreas do campo da arquitetura, até mesmo incentivar à programação junto às matrizes curriculares dos cursos de Arquitetura e Urbanismo.

Por fim, espera-se otimizar o tempo de sala de aula no ensino de projeto Bioclimático, trazendo a tecnologia não para ocupar esse tempo, mas para intensificar as trocas entre professores e estudantes, o que pode ser feito a partir de uma ferramenta simples, mas complementar aos meios tradicionais da linguagem do arquiteto, tais como o desenho e as maquetes físicas. Na perspectiva de um futuro que integre a transdisciplinaridade e conectividade na prática e ensino de Arquitetura.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220 Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

AGIRACHMAN, Fauzan Alfi; SHINOZAKI, Michihiko. Design Evaluation in Architecture Education with an Affordance-Based Approach Utilizing Non-Virtual Reality and Virtual Reality Media. **Technology Architecture and Design**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 188–206, 2021.

AR-JS-ORG. **AR.js Documentation**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://ar-js-org.github.io/AR.js-Docs/>. Acesso em: 24 jan. 2023.

AR-JS-ORG. **AR.js Marker Training**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://ar-js-org.github.io/AR.js/three.js/examples/marker-training/examples/generator.html>. Acesso em: 20 jan. 2023.

AR-JS-ORG. **Marker Based - AR.js Documentation**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://ar-js-org.github.io/AR.js-Docs/marker-based/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

CARPIGNOLI, Nicolò. **10 tips to enhance your AR.js app**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://medium.com/chialab-open-source/10-tips-to-enhance-your-ar-js-app-8b44c6faffca>. Acesso em: 23 jan. 2023.

DENSO WAVE. **QR Code Standardization**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.qrcode.com/en/about/standards.html>. Acesso em: 24 jan. 2023.

ETIENNE, Jerome. **AR.js - Augmented Reality for the Web**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://github.com/jeromeetienne/AR.js/tree/0694b4149054a92e0785271bab875612c0a7990d>. Acesso em: 25 jan. 2022.

JAKUBIEC, J. Alstan *et al.* Dynamic Building Environment Dashboard: Spatial Simulation Data Visualization in Sustainable Design. **Technology Architecture and Design**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 27–40, 2017.

MARSH, Andrew. **Sun-Path on Map**. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www.andrewmarsh.com/software/sunpath-on-map-web/>. Acesso em: 27 maio 2023.

MME. **Sobre o Projeteee**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/sobre-o-projeteee/>. Acesso em: 25 set. 2020.

MOLONEY, Jules *et al.* Pre-Occupancy Evaluation Tools (P-OET) for early feasibility design stages using virtual and augmented reality technology. **ASA 2018: Engaging architectural science: meeting the challenges of higher density: Proceedings of the 52th International Conference of the Architectural Science Association 2018**, [s. l.], p. 717–725, 2018.

PROJETEEE. **METODOLOGIA DE ANÁLISE BIOCLIMÁTICA**. [S. l.], [s. d.].

Disponível em: [http://www.mme.gov.br/projeteeee/wp-content/uploads/2017/02/Metodologia-de-analise-bioclimatica\\_projeteeee\\_atualizado.pdf](http://www.mme.gov.br/projeteeee/wp-content/uploads/2017/02/Metodologia-de-analise-bioclimatica_projeteeee_atualizado.pdf). Acesso em: 20 jul. 2021.

RASHED-ALI, Hazem *et al.* Use of augmented - reality in teaching energy efficiency : prototype development and testing. **ARCC/EAAE 2014 | Beyond Architecture: New Intersections & Connections**, [s. l.], n. March 2016, p. 398–407, 2014. Disponível em: <http://arcc-journal.org/index.php/repository/article/view/293>.

WEATHER SPARK. **O clima de qualquer lugar da Terra durante o ano inteiro**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/about>. Acesso em: 22 set. 2021.

## **CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO GERAL**

Ter realizado este trabalho foi importante para consolidar os elementos estudados desde a graduação em arquitetura pelo pesquisador, chamando a atenção para as dificuldades de aprendizado na área de projeto bioclimático pelos discentes abrindo campo para pesquisas futuras que relacionem os temas de estudo à produção de recursos didáticos, sobretudo considerando a potencialidade das ferramentas digitais.

Essa dissertação apresenta como síntese reflexiva a partir dos levantamentos realizados ao lado da experiência proporcionada pelo estágio de docência, uma ferramenta de ensino de projeto bioclimático através de uma interface de Realidade Aumentada, e também descreve o processo utilizado para a criação de uma página da *web* que viabiliza a proposta, a fim de facilitar a adoção por arquitetos dessa tecnologia de maneira simplificada e independente de aplicativos. Além do contato mais próximo com o planejamento, ementário e desenvolvimento da disciplina de Conforto Térmico no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa, sensibilizando o olhar para o fazer docente.

No Capítulo 2, foi realizada uma revisão de literatura nas temáticas de Realidade Aumentada (AR), sua aplicação em arquitetura, Projeto bioclimático e um levantamento de aplicativos e websites que já existem e são adotados no ensino.

No Capítulo 3, foram estudados exemplos de 3 ferramentas existentes de diferentes abordagens no ensino de arquitetura.

No Capítulo 4, está descrito o roteiro de construção da ferramenta, declarando as bibliotecas HTML utilizadas como base, adaptações e decisões tomadas para facilitar o uso de diferentes modelos tridimensionais pela mesma interface

### **5.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA**

A principal contribuição da pesquisa é oferecer, por meio do capítulo 4, um manual de implementação de um visualizador de modelos tridimensionais em Realidade Aumentada via página da *web*, partindo de bibliotecas HTML prontas e demonstrando as adaptações e modificações necessárias. Isso permite que professores ou estudantes de arquitetura interessados nessa interface possam utilizar como um

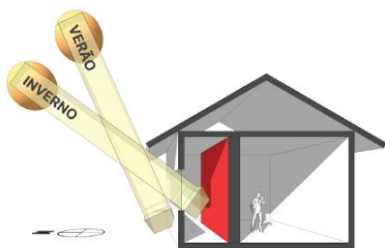
roteiro para adotar essa tecnologia em seus próprios fluxos de trabalho, que muitas vezes já envolve a construção de modelos tridimensionais.

## **5.2 LIMITAÇÕES**

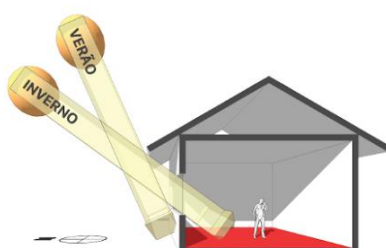
A Realidade Aumentada foi utilizada no trabalho pela não dependência de equipamentos especializados, contando apenas com dispositivos móveis amplamente utilizados e cada vez mais capazes, entretanto esse formato traz consigo algumas limitações que podem ser superadas pela Realidade Virtual ou Realidade Mista, que como explorado no Capítulo 2 permitem uma imersão maior com o ambiente virtual, proporcionando uma interatividade com o espaço virtual, não apenas com os objetos virtuais ancorados no espaço físico.

## **5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

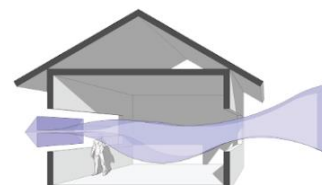
A proposta de ferramenta foi desenvolvida com foco no ensino a nível de graduação em Arquitetura e Urbanismo, mas pode ter seu escopo expandido para prática profissional, já que em situações de colaboração multidisciplinar entre as partes interessadas do projeto a comunicação do arquiteto pode definir a direção geral das decisões. Além disso, o tema do desenvolvimento de ferramentas digitais para o ensino em Arquitetura é um campo amplo a ser explorado.

**APÊNDICE A – Cartas com estratégias recomendadas para Viçosa - MG**

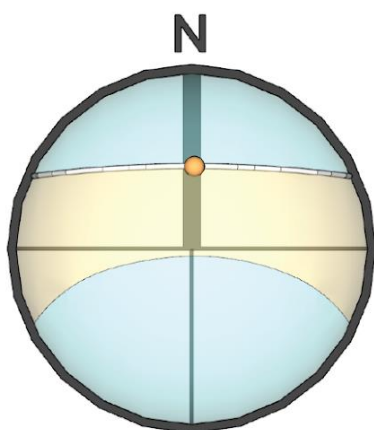
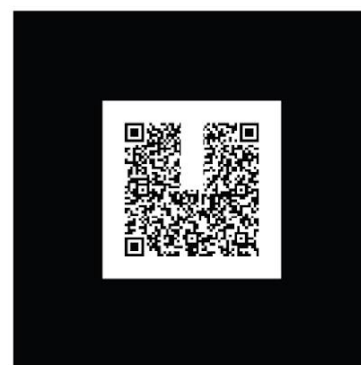
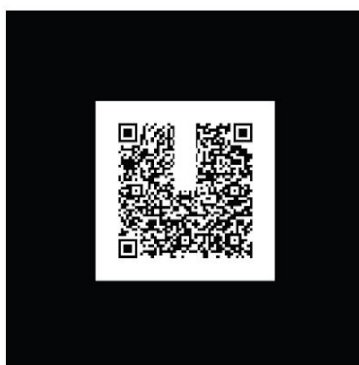
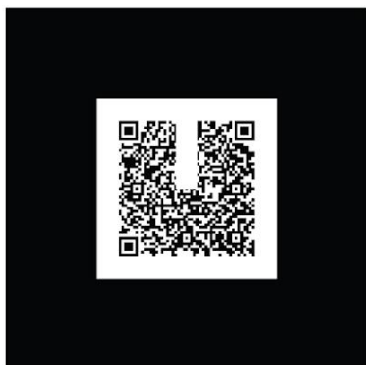
**Inércia térmica  
para aquecimento**



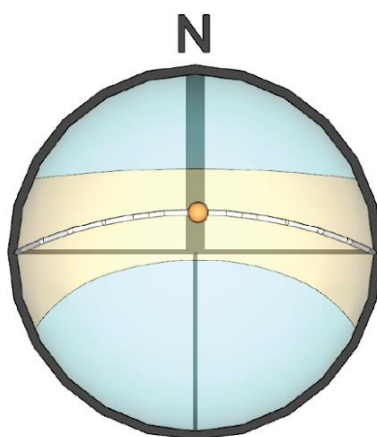
**Aquecimento  
solar passivo**



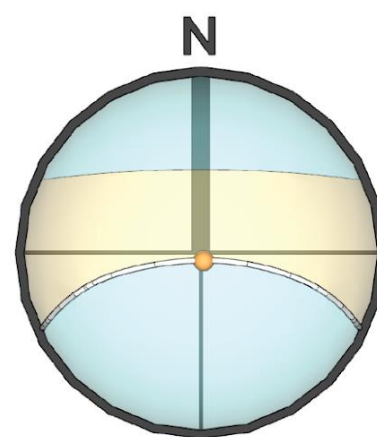
**Ventilação  
natural**

**APÊNDICE B – Cartas com a trajetória solar para a latitude de Viçosa – MG**

**Trajetoária do sol  
Inverno Viçosa**



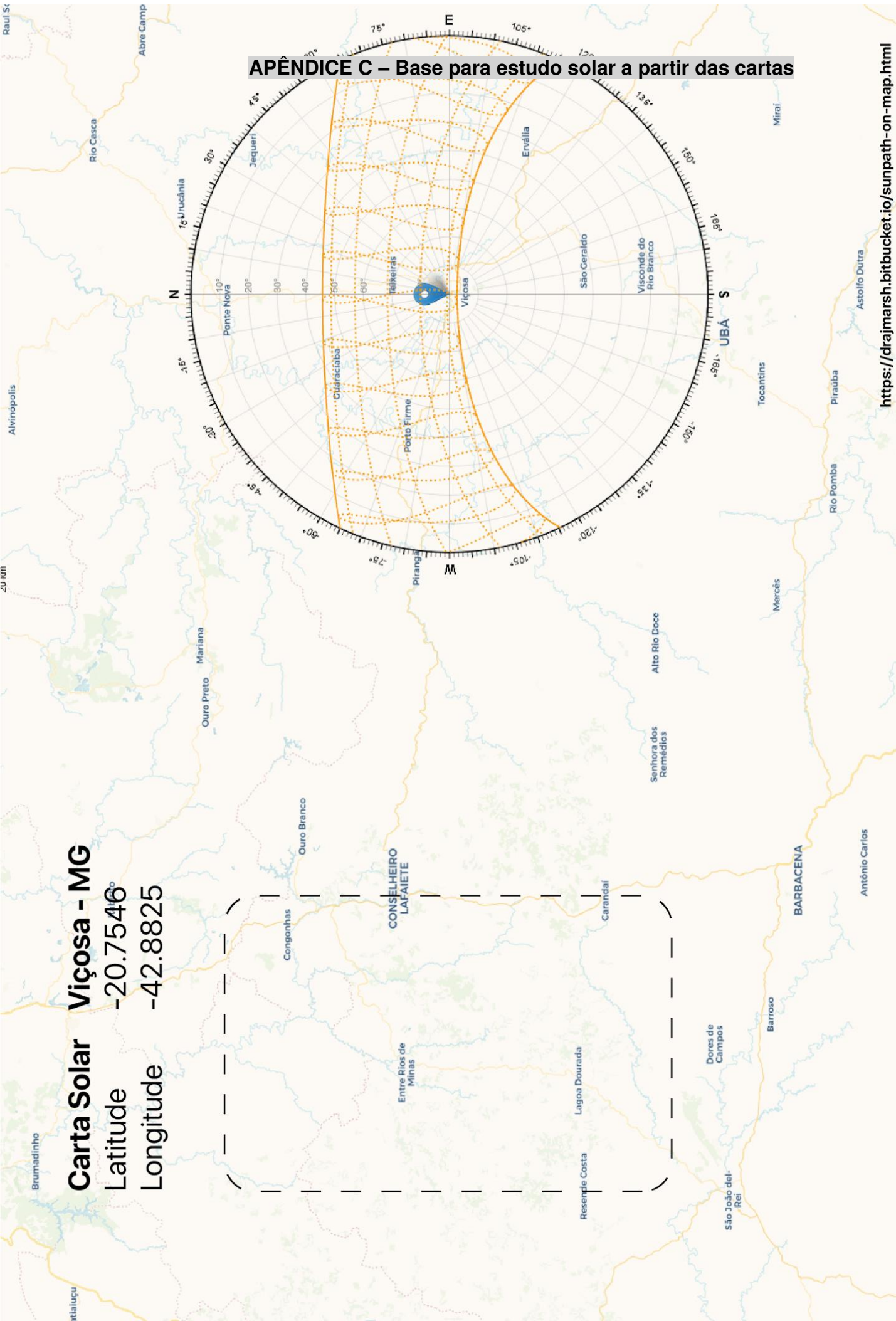
**Trajetoária do sol  
Equinócios Viçosa**



**Trajetoária do sol  
Verão Viçosa**

**Carta Solar**  
**Viçosa - MG**  
Latitude  $-20.7546^{\circ}$   
Longitude  $-42.8825$

**APÊNDICE C – Base para estudo solar a partir das cartas**



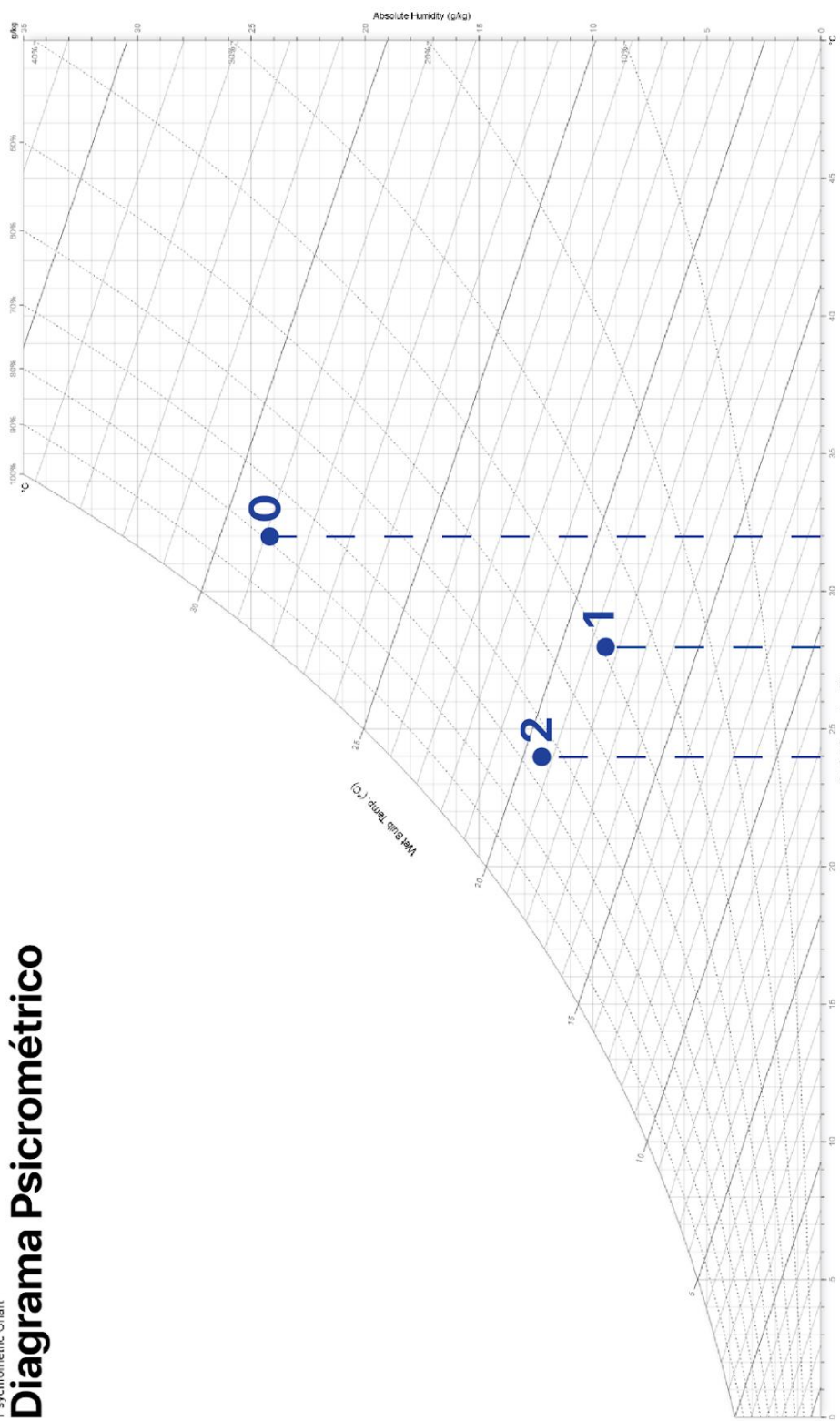
<https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath-on-map.html>

**Trajetória do sol em Viçosa nas diferentes épocas do ano**

APÊNDICE D – Exercício adaptado da disciplina de Conforto Térmico



Psychrometric Chart  
**Diagrama Psicrométrico**



[drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html](http://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html)

**Exercício: Efeito de estratégias no diagrama psicrométrico**

