



A COMPREENSÃO DO PROCESSO DE DESENHO E CONSTRUÇÃO DAS MUQARNAS NA ARQUITETURA ISLÂMICA

Palavras-Chave: Arquitetura islâmica; Elementos geométricos; Muqarnas.

Autores(as):

Vanessa de Oliveira Vianna Zaccarias, FECFAU – UNICAMP
Prof. Dr. Daniel de Carvalho Moreira (orientador), FECFAU – UNICAMP

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa de iniciação científica desenvolveu a investigação dos princípios geométricos da arquitetura islâmica, encontrados principalmente em nichos, mihaps e iwans, com especial atenção ao elemento compositivo tridimensional das muqarnas. As muqarnas são alguns dos elementos mais complexos da arquitetura islâmica, também utilizadas em edifícios não islâmicos, como catedrais e palácios do ocidente. Sua complexidade, construção e beleza atraiu o interesse de estudiosos do mundo inteiro (KAZEMPOURFARD, 2014). Dessa forma, esta pesquisa teve por objetivo caracterizar os processos de desenho e construção desses elementos, cujas técnicas de execução ainda não possuem total clareza para os pesquisadores de arquitetura, através da análise de um recorte de exemplos pré-estabelecidos da Arquitetura Seljúcida. Assim, buscou-se reduzir a lacuna de fontes bibliográficas nacionais e internacionais dedicadas a esse assunto, bem como contribuir para a compreensão do fazer arquitetura de uma das culturas mais ricas do mundo, a islâmica.

As muqarnas são um sistema de projeção tridimensional de nichos, usado em zonas de transição, como domos, portais e elementos decorativos (GAROFALO, 2010 e EFENDIOGLU, 2021). Elas são formadas por sequências geométricas complexas, chamadas de células e elementos intermediários, construídas a partir de camadas sobrepostas (EFENDIOGLU, 2021). O matemático Al-Kashi do século XV as definiu como um teto semelhante a escadas com facetas e telhados planos. Cada faceta se cruza com a sua vizinha em ângulos de 90°, de 45°, a sua soma, ou outra combinação. Duas facetas vizinhas podem ser pensadas como pertencentes a um plano paralelo ao horizonte, e acima delas é construída uma superfície, plana ou curva, não paralela a esse horizonte, que forma o seu telhado. Facetas somadas com seus telhados constituem uma célula, e células adjacentes apoiadas em uma mesma superfície constituem uma camada, como representado na figura 01 (DOLD- SAMPLONIUS, 1992 apud EFENDIOGLU, 2021).

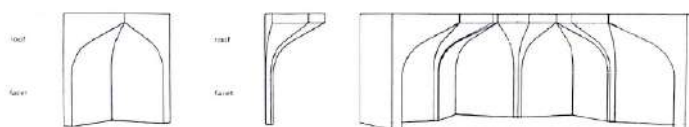


Fig. 01 - Uma célula, um elemento de transição e uma camada. Fonte: EFENDIOGLU, 2021.

As muqarnas são desenhadas a partir de formas 2D simples, que podem ser quadrados; semi-quadrados; losangos; semi-losangos; e formatos de amêndoas e jarros, ilustrados pela figura 02. Essas formas são posicionadas lado a lado em um mesmo plano bidimensional a partir do qual é construída a composição tridimensional



Fig. 02 - Formas bidimensionais simples que originam as muqarnas. Fonte: EFENDIOGLU, 2021

METODOLOGIA:

A pesquisa desenvolvida teve natureza teórica e prática e empregou como metodologia os seguintes pontos: [1] levantamento bibliográfico teórico com (a) a busca de descrições de processos construtivos geométricos básicos das muqarnas, (b) levantamento de exemplos documentados dessas construções e dos significados simbólicos associados a suas geometrias; [2] estudo da arquitetura e ornamentação das mesquitas selecionadas como exemplo, o Han do Sultão, em Kayseri, Turquia, e a Grande Mesquita de Isfahan, no Irã, com foco no emprego das muqarnas nas áreas específicas de seus programas, através de fotografias, plantas, cortes, elevações e ilustrações encontradas; [3] análise e seleção de estratégias de construção geométrica dentre as levantadas que se encaixam no recorte dos exemplos selecionados; [4] estudo desses processos de construção geométrica e execução a partir de experimentação prática, aplicada na compreensão dos exemplos, através das etapas de (a) desenho bidimensional com régua e compasso, (b) realização de

modelos tridimensionais em papel e (c) realização de modelagem 3D no software SketchUp; [5] apresentação dos resultados obtidos através da descrição dos princípios geométricos caracterizados, relacionados aos desenhos e modelos realizados, bem como aos seus significados simbólicos encontrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A. REVISÃO DA LITERATURA

Para principiar a pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico, de modo a formar um banco de textos para consulta, com referência nos temas: Arquitetura Islâmica; Império Seljúcida; História, origens, desenho e construção das muqarnas. A ferramenta utilizada para isso foi o software de gerenciamento de dados bibliográficos Zotero, através da organização dos textos em pastas e subpastas divididas por temas, bem como da sistematização dos metadados dos artigos dentro do software (informações a respeito do autor, data de publicação, periódico e etc).

Esse levantamento foi realizado principalmente nas bases de dados: Nexus Network Journal, Architecture and Mathematics; JSTOR; Portal de Revistas da USP e Biblioteca digital da USP, através das palavras chave: “arquitetura islâmica”; “muqarnas”; “construção das muqarnas”; “geometria das muqarnas”; “império seljúcida”; “islamic architecture”; “construction of muqarnas”; “muqarna geometry”; “seljuk empire”.

Foram mapeados 27 textos, dos quais 12 demonstraram maior aderência e/ou aprofundamento dos temas pesquisados e que, portanto, foram lidos, fichados e analisados de forma a compor a produção escrita do relatório parcial desta pesquisa, apresentado em março de 2023. Foram eles: AGIRBAS e YILDIZ (2021); CASTIGLIA e BEVILACQUA (2008); DEHKORDI, (2016); ELKHATEEB (2012); GHERARDINI e LEALI (2016); HARMSSEN ET AL. (2007); KAZEMPOURFARD (2014); KHARAZMI e SARHANGI (2016); KOLIJI (2016); ROCCO (2009); SENHAJI e BENSLIMANE (2019); TABBA (1985). Além desses, salienta-se também DINÇER e YAZAR (2021), que auxiliou na compreensão de um método de modelagem 3D para a etapa posterior de natureza prática.

B. ESTRATÉGIAS DE CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA SELECIONADAS

B.1. O MÉTODO DE HARMSSEN ET AL. (2007).

Como foi observado no decorrer da pesquisa, a principal característica de construção das muqarnas é a possibilidade de representar sua forma tridimensional como um contorno bidimensional. A pergunta que fica a partir disso é se esta projeção contém todas as informações necessárias para a criação da forma 3D, e a resposta para ela é não, a visão 2D carece de informações espaciais, como por exemplo a distinção das camadas horizontais. Nas projeções dos planos de muqarnas, as diferentes formas dos elementos são distinguíveis, mas não é possível entender qual elemento pertence a qual camada. Esta informação não está incluída nas projeções do plano e precisa ser decodificada (GHERARDINI, 2016).

Alguns autores produzem estudos que procuram incluir as informações tridimensionais no desenho, como é o caso de Harmsen et al. (2007) que fazem uma abordagem baseada na teoria dos grafos e tornam possível incluir as informações da estrutura das muqarnas 3D no contorno 2D. Isso é feito construindo um sub grafo direcionado a partir do projeto de muqarnas. Harmsen propõe representar cada lado curvo das células por uma seta apontando para o ápice do elemento associado (GHERARDINI, 2016).

Descreve-se o método utilizado pelos autores: com o intuito de converter um plano de muqarnas em uma representação 3D é necessário saber a posição das camadas, a orientação e o tipo, célula ou elemento intermediário, para cada figura no plano. Para decidir sobre seu tipo, é importante saber quais arestas desenhadas no plano correspondem aos seus lados curvos. Ao descobrir quais lados são curvos, é possível decidir sobre o nó central, ou seja, o ápice do elemento, e, portanto, a orientação da figura. A direção da curva em relação ao seu nó central decifra o tipo de elemento (HARMSSEN ET AL., 2007).

Dessa maneira, para construir as muqarnas a partir de seu plano 2D, interpreta-se o plano como um grafo $P = P(N, E)$. Isso significa que os nós N e as arestas E é que se encontram no plano, e não os polígonos que representam os elementos. Em geral, uma aresta corresponde aos lados de dois elementos, que são adjacentes na projeção do plano, mas não necessariamente se encontram na mesma camada. Na parte esquerda da figura 3 estão desenhados uma célula e um elemento intermediário, com arcos apontando para a parte superior do lado curvo, os seus ápices ou nós centrais. No plano P , as arestas que são projeções de lados curvos aparecem como arcos e definem um sub grafo (fig. 3, parte direita). Se dois arcos se unem em seus extremos, esses arcos definem uma célula, se eles se unem em seus pontos iniciais, definem um elemento intermediário (HARMSSEN ET AL., 2007).

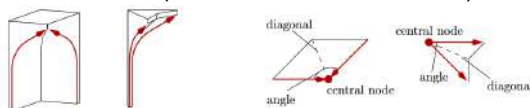


Fig. 3 - Setas que definem os lados curvos de um elemento. (HARMSSEN ET AL., 2007).

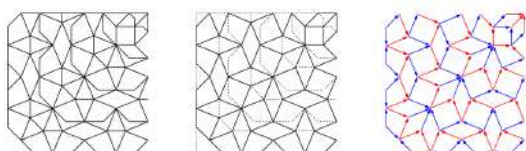


Fig. 4 - Geração de um grafo (direita) a partir do desenho bidimensional (esquerda) do Portal de Arslanhane Camii. Primeiro são removidas as arestas que não são curvas, e depois são identificados os nós, as direções das setas e as camadas vermelhas e azuis. (HARMSSEN ET AL., 2007).

B.2. O MÉTODO DE DINÇER E YAZAR (2021).

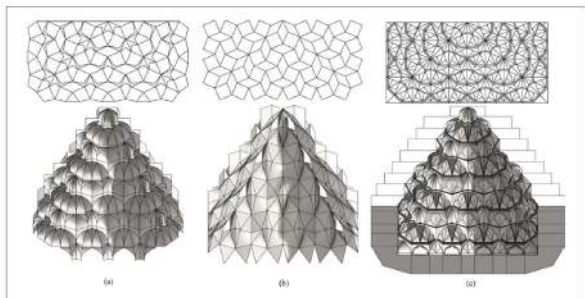
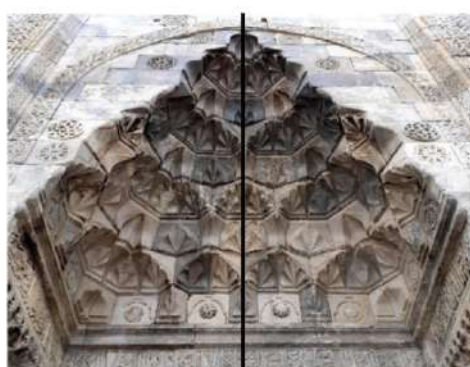


Fig. 5 - Uma comparação visual dos modelos do Han do Sultão. (DINÇER E YAZAR, 2021).

Dinçer e Yazar (2021) realizaram três métodos de modelagem para as muqarnas do Han do Sultão, o que resultou nos três modelos tridimensionais da figura 5. O que foi escolhido para auxílio da modelagem do presente projeto foi o primeiro, à esquerda, denominado pelos autores como “modelagem baseada em elementos”. Essa escolha dentre as três possibilidades reside na maior afinidade deste método com o de Harmsen et al (2007), ao propor a identificação e modelagem dos elementos individualmente, com o seu posterior arranjo em camadas e, por fim, com a criação do 3D finalizado.

C. ESTUDOS DE CASO

C.1. PÓRTICO DO HAN DO SULTÃO, TURQUIA.



OBSERVAÇÕES

Dentro do 3D, existem tipos diferentes de camadas. Aqui tem duas, o tipo A e o tipo B, alternadas entre si e que se diferenciam pelos tipos de elementos e sua ordem de colocação.

As camadas foram diferenciadas por cor, e somente células foram coloridas. Elementos intermediários foram deixados em branco para facilitar a visualização.

— Linha do eixo

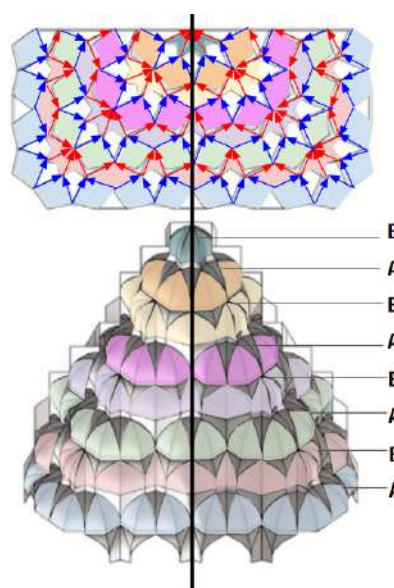


Fig. 6 - Identificação de elementos e camadas do pórtico do Han do Sultão com base no método de Harmsen et al. (2007). Base: DINÇER E YAZAR (2021). Modificações dos Autores.

C.2. IWAN DA MESQUITA DE ISFAHAN, IRÃ.

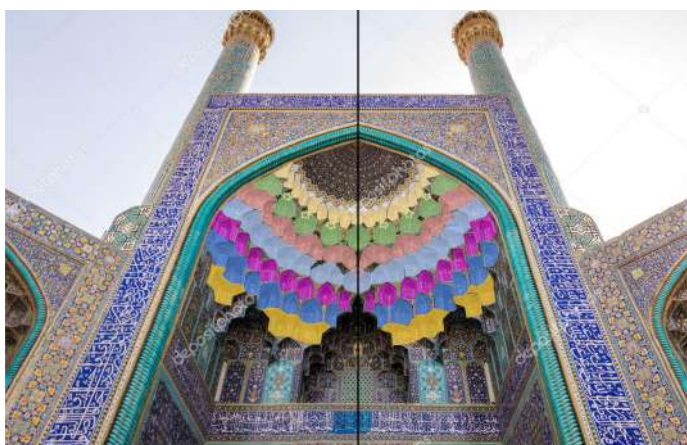
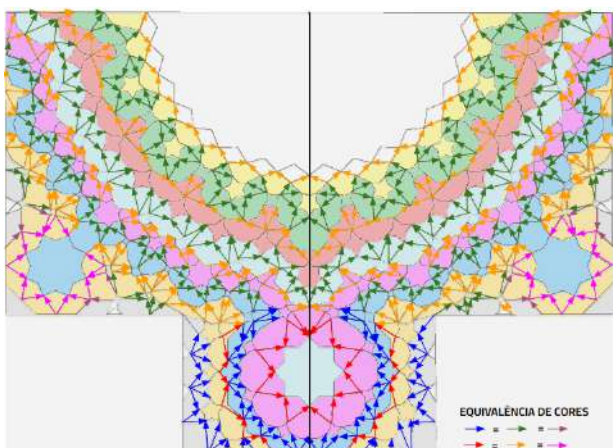


Fig. 7 e 8 - Identificação de elementos e camadas do iwan da Grande Mesquita de Isfahan com base no método de Harmsen et al. (2007). Base: GHERARDINI E LEALI (2016). Modificações dos Autores.

D. PROPOSTA DE DIMENSÃO E MODELAGEM 3D PARA O HAN DO SULTÃO

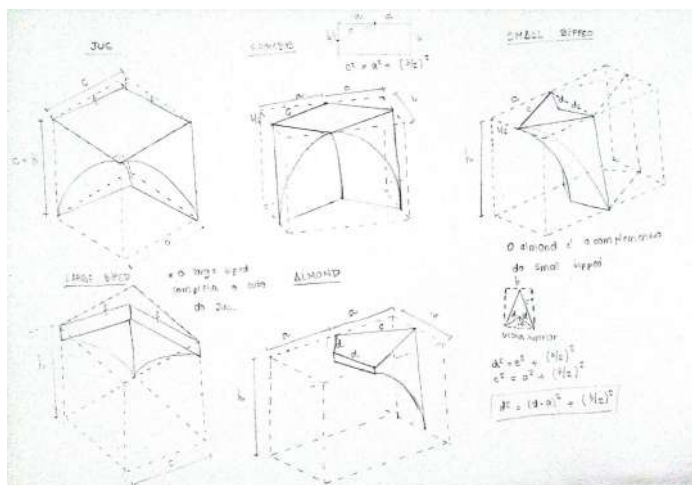


Fig. 9 - Croquis das muqarnas que compõem o pórtico. Fonte: Dos Autores, baseado em Dinçer e Yazar (2021).

Aqui se apresentam as propostas de dimensão das peças para a realização da modelagem do pórtico do Han do Sultão. Com base em Dinçer e Yazar (2021), foram identificadas três células (*jug*, *rhombus* e *small biped*) e dois elementos intermediários (*large biped* e *almond*), que foram desenhados, a partir dos modelos dos autores, para sua melhor compreensão e análise (figura 09).

A peça *jug* e *large biped* estão inscritas em um cubo de lado de medida c , e se complementam. Já a peça *rhombus*, *small biped* e *almond* estão em um paralelepípedo de base $2a \times b$ que, por Pitágoras, dá origem aos seus lados maiores também de medida c . As peças *small biped* e *almond* também se complementam. Todas as alturas são de medida c .

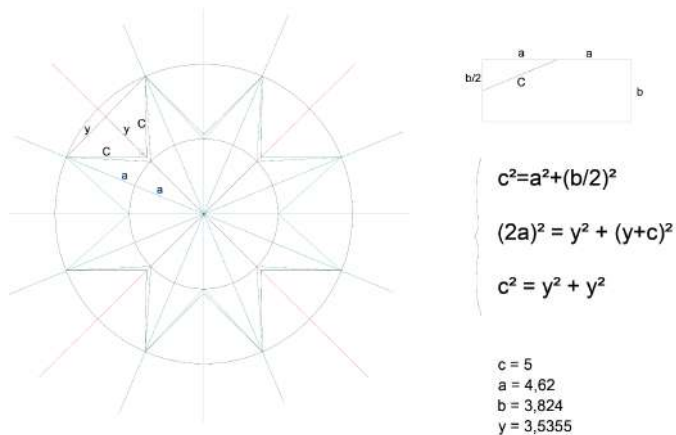


Fig. 10 - Relação entre as peças e cálculo das dimensões para o encaixe correto. Fonte: Dos Autores.

Em seguida, foi proposta a relação de encaixe das peças por pitágoras, como mostra a figura 10, onde o triângulo de lados c representa o ângulo reto da peça *jug*, e o losango verde, inscrito no círculo de raio $= 2a$, representa a peça *rhombus* e os encaixes *small biped* e *almond*. De posse desse desenho, em conjunto com o retângulo de base $2a \times b$ já indicado anteriormente, foram descobertas as equações que demonstram as relações entre as dimensões e suas respectivas medidas, para que os encaixes entre as peças funcionem

Com essas medidas, foi possível realizar a modelagem das peças no software *Sketchup* com a posterior montagem do 3D total do pórtico.

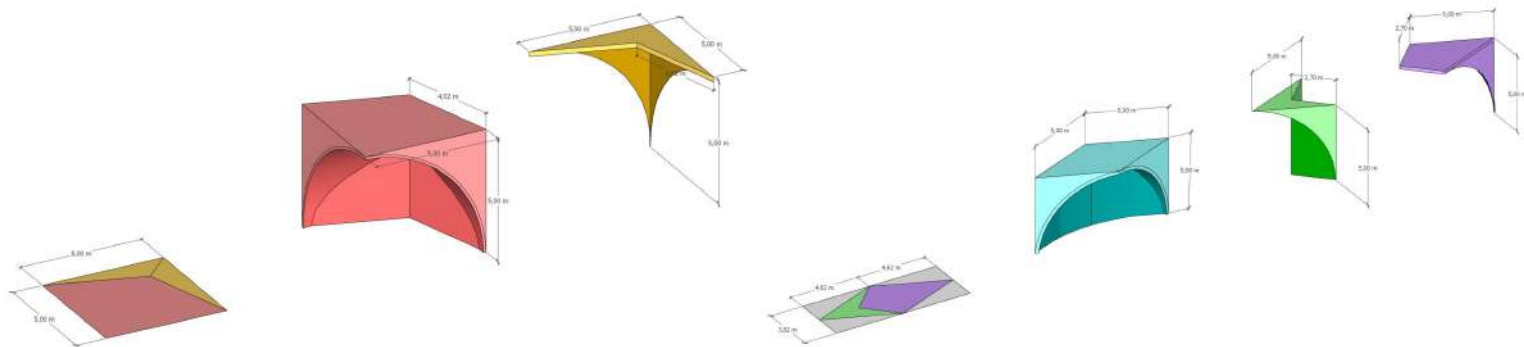


Fig. 11 - Modelagem das peças no software Sketchup. Fonte: Dos Autores.

E. RESULTADO FINAL

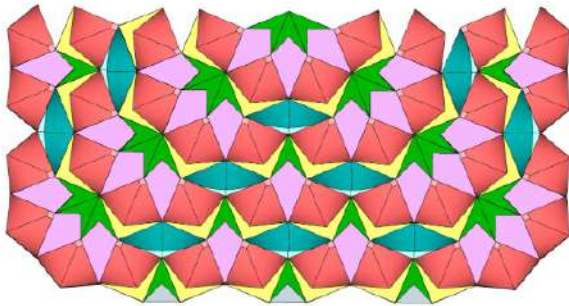


Fig. 12 - Desenho 2D, com a cúpula vista de baixo para cima. Fonte: Dos Autores.

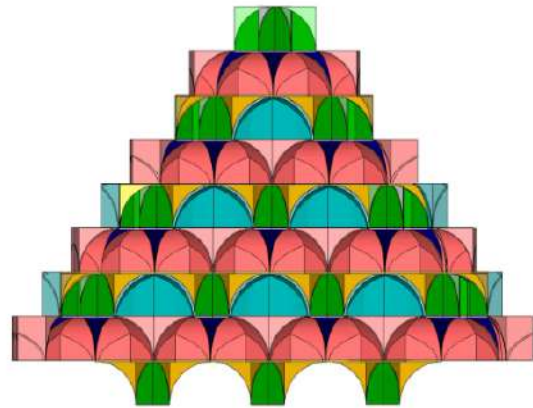


Fig. 13 - Vista frontal da construção 3D. Fonte: Dos Autores.

Jug Large Biped Rhombus Small Biped Almond

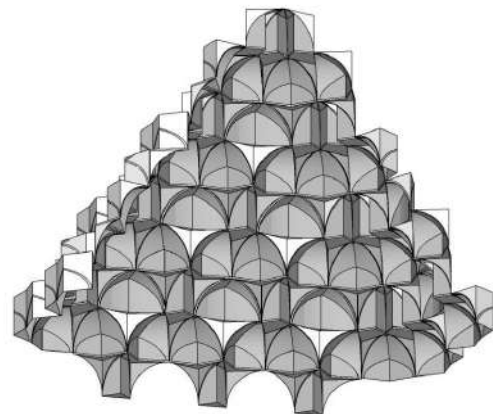
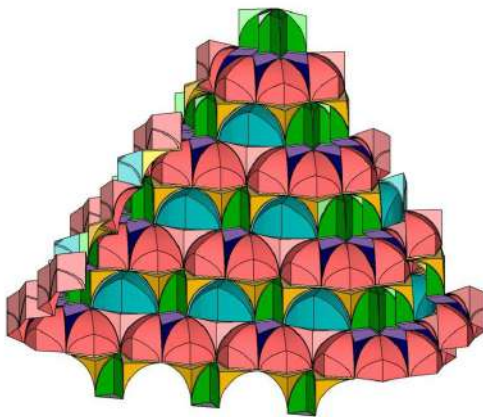


Fig. 14 e 15 - Modelos 3D, com as peças coloridas (à esquerda), e a composição final homogênea (à direita). Fonte: Dos Autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGIRBAS, A.; YILDIZ, G. Origin of Irregular Star Polygons in Ground Projection Plans of Muqarnas. *Nexus Network Journal*, v. 23, n. 2, p. 507–548, jun. 2021.
- CASTIGLIA, R. B. F.; BEVLACQUA, M. G. The Turkish Baths in Elbasan: Architecture, Geometry and Wellbeing. *Nexus Network Journal*, v. 10, n. 2, p. 307–322, 1 out. 2008.
- CHING, F.D.K.; JARZOMBEC, M.; PRAKASH, V. *História Global da Arquitetura*. 1. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes; Senac, 2016.
- DEHKORDI, S. K. Iranian Seljuk Architecture with an Emphasis on Decorative Brickwork of the Qazvin Kharaqan Towers. *Journal of History Culture and Art Research*, v. 5, n. 4, p. 384–394, 2016.
- DINÇER, Sevde Gülizar; YAZAR, Tuğrul. A comparative analysis of the digital re-constructions of muqarnas systems: The case study of Sultanhani muqarnas in Central Anatolia. *International Journal of Architectural Computing*, v.12, n.3, Fev. 2021, p.360-385. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1478077121992487>. Acesso em: 11 de Abr. de 2022.
- ELKHATEEB, A. A. Domes in the Islamic Architecture of Cairo City: A Mathematical Approach. *Nexus Network Journal*, v. 14, n. 1, p. 151–176, 1 abr. 2012.
- GHERARDINI, F.; LEALI, F. A Framework for 3D Pattern Analysis and Reconstruction of Persian Architectural Elements. *Nexus Network Journal*, v. 18, n. 1, p. 133–167, 1 abr. 2016.
- HARMSSEN, S.; JUNGBLUT, D.; KROMKER, S. Seljuk Muqarnas along the Silk Road. *Universitat Heidelberg*, set. 2007.
- KAZEMPOURFARD, H. The evolution of muqarnas in Irsn from the Pre-Seljuk to Ilkhanid period. *Faculty of Built Environment Universiti Teknologi Malaysia*, 2014.
- KHARAZMI, M.; SARHANGI, R. An Analytical Study of the Methods of Design and Geometric Constructions in Architectural Ornaments of the Friday Mosque of Forumad. *Nexus Network Journal*, v. 18, n. 1, p. 275–310, abr. 2016.
- KOLIJ, H. Gazing Geometries: Modes of Design Thinking in Pre-Modern Central Asia and Persian Architecture. *Nexus Network Journal*, v. 18, n. 1, p. 105–132, 1 abr. 2016.
- ROCCO, L. F. *A mesquita de Ibn Tülün como representação da herança arquitetônica árabe: estudo da Mesquita de Ibn Tülün como monumento-síntese das características árabes e das transferências de elementos arquitetônicos entre os povos não árabes*. Mestrado em Língua, Literatura e Cultura Árabe—São Paulo: Universidade de São Paulo, 26 fev. 2009.
- SENHAJI, M.; BENSLIMANE, R. Automatic 3D muqarnas architectural patterns reconstruction using plane representation. *Journal of Cultural Heritage, Modern and Contemporary Art*. v. 35, p. 25–40, 1 jan. 2019.
- TABBAA, Y. The Muqarnas Dome: Its Origin and Meaning. *Muqarnas*, v. 3, p. 61–74, 1985.