



**NATHÁLIA DE CARVALHO PEREIRA
MAGDA TACIANE BARBOSA DE OLIVEIRA VANDERLEI**

**UTILIZAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE ARGAMASSA
ARMADA, COM VISTAS À CONSTRUÇÃO DE
RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES**

LAVRAS-MG

2021

**NATHÁLIA DE CARVALHO PEREIRA
MAGDA TACIANE BARBOSA DE OLIVEIRA VANDERLEI**

**UTILIZAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE ARGAMASSA ARMADA, COM VISTAS À
CONSTRUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES**

Monografia em formato de artigo científico apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Luiz Eduardo Teixeira Ferreira
Orientador

LAVRAS-MG

2021

**NATHÁLIA DE CARVALHO PEREIRA
MAGDA TACIANE BARBOSA DE OLIVEIRA VANDERLEI**

**UTILIZAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS DE ARGAMASSA ARMADA, COM VISTAS À
CONSTRUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES**

**USE OF PRE-MOLDED MORTARS WITH A VIEW TO CONSTRUCTION OF
SINGLE-FAMILY RESIDENCES**


Monografia em formato de artigo científico apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 26 de novembro de 2021.

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Ferreira

Prof. Rafael Santos de Moraes

Eng. João Levi Bastos Fernandes


Prof. Dr. Luiz Eduardo Teixeira Ferreira
Orientador

LAVRAS-MG

2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, por nos dar o discernimento e sabedoria necessária para chegarmos até aqui. À Universidade Federal de Lavras, por todos os ensinamentos passados e todos os momentos que ficarão eternizados. Ao querido professor e orientador Luiz Eduardo Teixeira Ferreira, por todo conhecimento transmitido, pela paciência e por sempre querer o melhor para todos os alunos.

Agradeço aos meus pais Samuel e Jussara, por estarem me apoiando durante toda a graduação, sempre priorizando a minha felicidade. A minha avó, Cecília, por toda força e amor incondicional. Aos meus irmãos Vinícius e Cecília, pelo carinho e compreensão. A todos os meus amigos, pelas palavras de incentivos, por tornarem os dias mais leves e pelos momentos vividos. À minha dupla de TCC, Magda, pela persistência e parceria para a realização e conclusão do trabalho. A todos vocês o meu muito obrigada, com certeza fizeram toda a diferença.

Nathália de Carvalho Pereira

Expresso aqui meus agradecimentos em especial à minha mãe Marise, minha filha Cecília, que foram fonte inesgotável de motivação ao longo dessa trajetória, e juntamente com meu avô Valdemar e meu pai Israel, foram os maiores responsáveis por essa conquista; compreenderam minha ausência nesses últimos cinco anos, demonstraram que nunca estive sozinha e me fortaleceram com apoio e compreensão.

Agradeço também aos meus amigos, em especial ao melhor deles e mais presente em minha vida, Fernando. Meu muito obrigada aos meus antigos patrões, José Finamor, Celeste e Sillas, que ao longo desses anos de convivência sempre me apoiaram e ajudaram quando precisei, e por eles minha alta estima e consideração. Por fim agradeço às colegas que moraram nesse período comigo, pelos momentos recíprocos de amparo, extensivo também aos meus colegas de faculdade, em especial à Nathália, minha dupla neste TCC, com quem dividi minhas expectativas e sonhos.

Magda Taciane Barbosa de Oliveira

RESUMO

A argamassa armada é um material que se originou depois do concreto armado e seu uso se tornou de interesse no Brasil, com o objetivo de proporcionar a fabricação de componentes mais leves e esbeltos, de fácil transporte e instalação, tendo tido o arquiteto João da Gama Filgueiras Lima, conhecido internacionalmente como Lelé, como referência sobre o assunto, o qual buscou executar seus projetos de forma menos invasiva e com menores custos. Por outro lado, a técnica do origami, a qual tem origem na China, é responsável por transformar as formas bidimensionais em outras, tridimensionais, com propriedades de inércia surpreendentes. Neste trabalho, o desenvolvimento de um projeto residencial unifamiliar, compacto e econômico, é levado a efeito, utilizando a técnica de origami e a utilização de painéis de argamassa armada. Os painéis de argamassa armada produzidos em escala, por sua repetibilidade, geram economias significativas, redução de prazos de execução, além de possibilitarem o desenvolvimento de estilos arquitetônicos modernos, considerando-se, implicitamente, fatores habitacionais e socioeconômicos. Neste trabalho, uma edificação com área pequena área construída, é apresentada. O conjunto estrutural é numericamente analisado como um todo monolítico, utilizando-se a técnica dos elementos finitos e elementos estruturais de casca. Os resultados computacionalmente obtidos revelam que os componentes estruturais assim concebidos, apresentam baixos níveis de deslocamentos translacionais e de tensões mecânicas, fatos que viabilizam a execução segura de obras utilizando-se a conjunção das técnicas exploradas. Finalmente, a necessidade de realização de estudos complementares que considerem a atuação de esforços eólicos e a aerodinâmica da edificação com foco na interação fluido-estrutura, é sugerida.

Palavras-Chave: argamassa armada; simulação computacional; origami arquitetônico

ABSTRACT

Reinforced mortar is a material that was originated after reinforced concrete and its use has become of interest in Brazil, with the objective of providing the manufacture of lighter and slim components, which are easy to transport and install, having had the architect João da Gama Filgueiras Lima, internationally known as Lelé, as a reference on the subject, who sought to execute his projects in a less invasive way and with lower costs. On the other hand, the origami technique, which originated in China, is responsible for transforming two-dimensional shapes into three-dimensional ones, with surprising inertial properties. In this work, the development of a single-family, compact and economical residential project is carried out, using the origami technique and the use of reinforced mortar panels. Due to their repeatability, scale-produced reinforced mortar panels generate significant savings, reduced execution times, in addition to enabling the development of modern architectural styles, implicitly considering housing and socioeconomic factors. In this work, a building with a small built-up area is presented. The structural set is numerically analyzed as a monolithic whole, using the finite element technique and structural shell elements. The computationally obtained results reveal that the structural components thus conceived present low levels of translational displacements and mechanical stresses, facts that enable the safe execution of houses using the conjunction of the explored techniques. Finally, the need for further studies that consider the performance of wind effects and the aerodynamics of the building with a focus on fluid-structure interaction is suggested.

Keywords: reinforced mortar; computer simulation; architectural origami.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mistura de cimento, areia e água (componentes da argamassa) aplicada à armações de aço com fios de pequeno diâmetro	4
Figura 2 – Exemplo elementar de um origami construído a partir de uma folha de papel. Adaptado de Cavacami e Furuya (2010)	8
Figura 3 – Seções transversais sucessivamente modificadas	9
Figura 4 – Exemplos de edificações construídas com materiais convencionais combinados à técnica do origami. Fonte: Revista Construa, 2021	11
Figura 5 – Planta baixa com demais especificações (dimensões em metros).....	13
Figura 5A – Planta baixa alternativa (dimensões em metros).....	13
Figura 6 – Malhas de E. F : A) Elementos lineares (3 nós); B) Elementos quadráticos (6 nós)	15
Figura 7 – Modelo geométrico e malha de elementos finitos	17
Figura 8 – Modelo geométrico exibindo a abertura de portas e janelas	18
Figura 9 – Numeração dos painéis de argamassa armada considerados.....	18
Figura 10 – Malha de elementos finitos expondo a abertura de portas e janelas	19
Figura 11 – Deslocamentos na direção do eixo x (m)	20
Figura 12 – Deslocamentos na direção do eixo y (m)	21
Figura 13 – Tensões σ_{xx} nas faces externas dos painéis (kN/m ²)	21
Figura 14 – Tensões σ_{zz} nas faces externas dos painéis (kN/m ²)	22
Figura A1.1- Corte transversal AA (dimensões em metros).....	25
Figura A1.2- Corte longitudinal BB (dimensões em metros).....	26
Figura A2.1- Vistas alternativas da edificação, em perspectivas oblíquas, considerando-se a cobertura com beirais -Frente.....	27
Figura A2.2- Vistas alternativas da edificação, em perspectivas oblíquas, considerando-se a cobertura com beirais -Fundos.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades geométricas das seções transversais.....	9
Tabela 2 – Características dos painéis de argamassa armada – áreas superficiais.....	19
Tabela 3 – Resultados numéricos de tensões e deslocamentos obtidos nas análises.....	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Histórico da utilização da argamassa armada	1
1.2 Uso estrutural da argamassa armada: vantagens e desvantagens.....	3
1.3.1 Disposições construtivas, de projeto, e materiais dos componentes	5
1.3.2 Formas e Pré-Moldagem	6
1.3.3 Transporte de componentes e montagem da edificação	6
1.4 Concepção Arquitetônica	7
1.5 Proposta deste trabalho.....	10
2.2 Projeto arquitetônico de interiores	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1 Projeto Arquitetônico proposto	11
2.4 Modelagem computacional da geometria proposta.....	14
3. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	20
4. CONCLUSÕES	22
BIBLIOGRAFIA	23

1. INTRODUÇÃO

1.1 Histórico da utilização da argamassa armada

O surgimento do concreto armado ocorreu de maneira a associar a durabilidade da pedra com a resistência do aço e, ainda, a explorar a moldabilidade do componente a qualquer forma desejada. Na antiguidade, os romanos se destacaram no uso argamassas, criando espaços amplos e com formas circulares, mas usavam como matéria prima tijolos de argila, pedra e outros materiais naturais, projetando edificações inéditas para a época, a exemplo do Panteão, construído em 27 a.C., e do Coliseu, construído entre 69 e 79 d.C. (BASTOS, 2006).

Assim, a origem da argamassa armada é confundida com o surgimento do concreto armado, uma vez que Joseph Louis Lambot, na França em 1848, patenteou o “fercimento”. Essa iniciativa baseou-se na melhoria do material de construção, com o objetivo de substituir a madeira em construções navais e arquitetônicas, ou mesmo para aplicações em edificações domésticas, objetivando evitar a umidade (CHAMELETE, 1999).

Assim, Lambot construiu reservatórios de água e alguns pequenos bancos que chegaram a ser expostos na Feira Mundial de Paris (1855). No entanto, o material então descoberto acabou esquecido, tendo sido utilizado ocasionalmente para a construção de barcos (CHAMELETE, 1999).

BASTOS (2006), escreve: “A partir de 1861, outro francês, Mounier, que era um paisagista, horticultor e comerciante de plantas ornamentais, fabricou uma enorme quantidade de vasos de flores de argamassa de cimento com armadura de arame, e depois reservatórios (25, 180 e 200 m³) e uma ponte com vão de 16,5 m. Foi o início do que hoje se conhece como “Concreto Armado”, pois até cerca do ano de 1920 o concreto armado era chamado de cimento armado.”

A argamassa armada ressurgiu em 1943 no momento em que Pier Luigi Nervi, engenheiro italiano, começou a fazer experimentações com o “ferro-cimento” em embarcações, analisando as lajes com várias telas de arame de aço (fios com diâmetro entre 0,5 e 1,5mm, malha de 1cm e massa variando entre 0,6 a 1,5 kg/m²). Assim, Nervi elevou o potencial do material conferindo-lhe características de alongabilidade e de redução da fissuração, em decorrência da utilização de armadura metálica (CHAMALETE, 1999).

Há divergências quanto à verdadeira origem do concreto armado, mas pode ser considerado quando Gustavo Adolpho Wayss fundou sua firma em 1875 depois de comprar as patentes de Monier para fazer uso do material no norte da Alemanha. Outro engenheiro alemão chamado E. Mörsch, , professor da Universidade de Stuttgart, desenvolveu em 1902

ensaios experimentais que deram origens aos procedimentos usados para cálculo do concreto armado, procedimento denominado método da “Trelíça Clássica” (BASTOS, 2006).

No início da década de 60, Martinelli e Schiel, ambos pertencentes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), realizaram estudos a fim de adaptar no Brasil o material usado por Nervi, relativamente aos processos de execução com baixos consumos de matéria prima (cimento e telas metálicas).

Ambos colocaram em prática seus estudos, construindo vigas-calhas e telhas onduladas em diversas coberturas de pavilhões da Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP. Aparentemente, essas iniciativas tenham inaugurado o uso da argamassa armada no Brasil (PANIAGO, 1998).

A respeito da utilização desse material, MENDONÇA (2007) escreve: “Nos países do Leste, principalmente na Rússia, e mesmo na Europa, havia uma demanda muito grande, no pós-guerra, por habitação, e os sistemas industrializados se impuseram rapidamente. Fiquei três meses viajando, com um grupo de cientistas, estudando a tecnologia desses países e vendo o que era possível trazer para o Brasil”.

Escreve, ainda: “Eu não sabia nada sobre isso. Em 1953, a guerra havia acabado e a Europa estava sendo reconstruída através da pré-fabricação. Mas a grande discussão da arquitetura era o moderno. Lutávamos contra o neoclássico e o ecletismo, que eram as formas de arquitetura que tinham que ser subjugadas por uma nova arquitetura, proposta por grandes mestres como Le Corbusier, Mies van der Rohe, Alvar Aalto e Frank Lloyd Wright”.

Com o passar dos anos, vários arquitetos brasileiros popularizaram o uso da argamassa armada. No entanto, o Arquiteto João Filgueiras Lima, o Lelé, tornou-se referência no assunto, uma vez que ganhou o Prêmio da Primeira Bienal de Arquitetura e Engenharia de Madrid por seu projeto da unidade do Sarah em Salvador na década de 90.

Ademais, o seu trabalho foi marcado pelo uso da argamassa armada em construções de saneamento básico, escolas e creches, entretanto, sempre enfrentando interrupções devidas a motivos políticos e governamentais (TRIGO, 2009).

Assim, com a utilização da argamassa armada para a fabricação de peças mais leves e esbeltas, Lelé pode executar seus projetos de obras públicas de maneira menos invasiva, diminuindo os custos a fim de evitar impedimentos orçamentários para a execução de obras, fato que não evitou que a iniciativa fosse alvo de boicotes por parte das empreiteiras que, à ocasião, prefeririam longos prazos e altos custos (BOTIN, 2008).

1.2 Uso estrutural da argamassa armada: vantagens e desvantagens

Estruturalmente, a argamassa armada deve possuir as características de resistência mecânica e rigidez para evitar deformações excessivas e suportar os esforços que nela atuam, sem deixar de conferir estabilidade físico-química e dimensional com vistas à maior durabilidade. Ademais, a argamassa armada deve ter alta compactidade e baixa permeabilidade, pois deve tornar-se uma barreira natural aos líquidos e gases que possam atingir seu interior (CARDOSO e QUIST, 2019).

Além disso, por serem idealizados com pouca espessura, são leves e “ideais” para utilização em construções de pequenas embarcações marítimas. Também, apresentam a vantagem de proporcionar maior conforto ambiental, uma vez que proporcionam isolamento térmico e elétrico (TENOSIL, 2021).

Outra possibilidade de preparo da argamassa armada consiste na adoção da sua forma autoadensável, a qual dispensa a utilização de mecanismos de adensamento, especialmente aqueles decorrentes de vibração mecânicas, os quais contribuem para a segregação dos materiais.

Com a adição de aditivos superplastificantes, aumenta-se a trabalhabilidade da mistura, mesmo com baixas relações água-cimento (A/C), resultando materiais finais de excelente qualidade. Isso possibilita, ainda, a moldagem de painéis na vertical (direção da espessura), ocupando menos espaço nos locais de cura e de armazenamento dos painéis.

Outras vantagens deste material são: menor tempo de execução, custos de construção aparentemente menores, maior controle de qualidade e fácil reprodutibilidade. Assim, Lelé procurou adequar a tecnologia internacional deste material ao Brasil, promovendo iniciativas estatais de industrialização da construção civil a serviço da população, fazendo da pré-fabricação o principal método de construção de edifícios públicos administrativos, educacionais, hospitalares, sanitários e de mobilidade urbana (CARDOSO & QUIST, 2019).

MENDONÇA (2007) escreve: ‘Minha proposta de usar e desenvolver a argamassa armada foi baseada na ideia de tornar a pré-fabricação em concreto, mais leve, e permitir que um grande contingente de mão de obra fosse usado no transporte das peças – dispensando guindaste e grua, essas coisas caras que substituem a mão de obra, mas sem abrir mão de um sistema industrializado, planejado e racionalizado’

Figura 1- Mistura de cimento, areia e água (componentes da argamassa) aplicada à armações de aço com fios de pequeno diâmetro.



Fonte: Mendonça, 2007.

Contudo, a argamassa armada também possui desvantagens frente à vasta característica favorável ao seu uso, pois há diversos agentes ambientais que podem causar a deterioração do concreto (e do componente). Como exemplo, citam-se a entrada do gás carbônico que promove a carbonatação das armaduras e sua despassivação, fato que privilegia a ação de agentes ácidos, a exemplo de cloretos e sulfatos, os quais promovem a oxidação das mesmas.

Em outras palavras, a carbonatação passa a se verificar no momento em que o concreto inicia a perda da sua alcalinidade de superfície devido à presença de umidade, fazendo com que o concreto não proteja mais o aço. A agressividade química atua quando o pH da argamassa que envolve o aço, torna-se inferior a 9, permitindo a ação de cloretos.

A deterioração acelerada do concreto, que se dá por ações externas que antecedem a oxidação das armaduras, podem ocorrer por porosidade excessiva do concreto, presença de fissuras, baixas taxas de recobrimento ou umidade ambiental excessiva (SPERANZA ENGENHARIA, 2020).

Acentua-se, portanto, a necessidade referente à utilização de argamassas armadas de alta compacidade e baixa porosidade, de maneira a impedir a atuação dos agentes externos citados, no interior do componente.

Consequentemente, também a relação água/cimento (A/C), deve ser, sempre, a mais baixa possível, de maneira a diminuir-se, simultaneamente, tanto o índice de vazios, como o aumento da resistência mecânica da mistura, o que subentende a utilização de aditivos superplastificantes na composição da argamassa.

No entanto, o que muitas vezes acaba por impedir o uso de aditivos é o seu alto custo. Há, igualmente, dificuldades tecnológicas de execução periódica de ensaios especiais, a exemplo do ensaio de espalhamento (cone invertido), de fluidez em calha em 'L', etc. Assim, mesmo com o crescimento do uso da argamassa armada no mercado, estes pontos são críticos e devem ser levados em consideração.

1.3 Industrialização de componentes de argamassa armada

Neste item, a industrialização dos componentes estruturais de argamassa armada, passam a ser discutidos, no que se refere às disposições construtivas, transporte dos painéis e montagem dos componentes.

1.3.1 Disposições construtivas, de projeto, e materiais dos componentes

A NBR-9062-2017 define condições sobre projeto de execução de estruturas de concreto pré-moldado. Durante esse processo, todo o sistema de produção é padronizado, com característica de repetição das peças e conseqüente diminuição os custos finais, buscando sempre a otimização de processos, os quais diminuem os erros de fabricação e o aumento da qualidade de montagem dos painéis.

Segundo a NBR-9062 (ABNT, 2017), o método para cálculo das estruturas pré-moldadas é igual ao método de cálculo das estruturas que são feitas no local das obras, utilizando os ELU (Estados-limites últimos), os ELS (Estados-limites de serviço) e ELD (Estado-limite de deformação excessiva), previstos na NBR 6118 (ABNT, 2014). Entretanto, os pré-moldados apresentam algumas particularidades: devem-se considerar tolerâncias nos valores de fabricação e montagem das peças. Ainda, quando da análise da estrutura, é relevante a consideração da retração do material e das deformações da peça em diferentes idades do concreto.

A dimensão característica do material granular é da ordem de 2,4 mm. Isso se deve ao fato de que o recobrimento da armadura é pequeno, em virtude da pequena espessura do componente.

A argamassa armada em estudo, devido a todas as características apresentadas, possui resistência à compressão superior a $f_{ck} \geq 30$ MPa, o que indica resistência intermediária ou superior. Um dos componentes que influencia diretamente a produção dos painéis de argamassa armada, é o cimento. Nesse caso, preferência é dada àqueles que propiciam altas resistências iniciais (ARI).

A água é outro componente significativo para a qualidade do concreto, sendo que a quantidade presente está diretamente ligada a resistência final do concreto. Para as argamassas

armadas, a relação água/cimento, situa-se entre 0,4 e 0,42, objetivando o aumento da resistência e a diminuição da porosidade da mistura (com vistas a prevenção da oxidação das armaduras).

1.3.2 Formas e Pré-Moldagem

Elementos pré-moldados requerem precisão na sua fabricação, do início ao final do processo. Um aspecto de relevância é a precisão mecânica das formas metálicas utilizadas para na fabricação das peças pré-moldadas, sendo que estanqueidade das mesmas é essencial.

Os materiais devem ser medidos em peso e a umidade da areia deve ser considerada na relação água-cimento. Para uma determinada obra, os componentes devem ter a mesma origem e serem, tanto quanto possível, do mesmo lote de fabricação.

A etapa posterior, é a que trata da moldagem e do adensamento da argamassa armada. Os procedimentos devem objetivar a obtenção de argamassas densas e compactas, sem que ocorra a desagregação da mistura. Há várias maneiras de realizar o processo descrito, sendo uma delas a utilização de mesas vibratórias.

Quando possível ou financeiramente permitido, a argamassa auto adensável é sempre preferível.

Já a cura dos painéis de argamassa armada é procedida por imersão total dos componentes ou, preferivelmente, à vapor. No último caso, são atingidas grandes resistências em apenas 24 horas, da ordem de 80% do valor de f_{ck} .

1.3.3 Transporte de componentes e montagem da edificação

O transporte das peças pré-moldadas de argamassa armada, exige cuidados especiais nas atividades de transporte, objetivando que as mesmas não se danifiquem, principalmente por fissuração dinâmica. Portanto, os elementos devem ser transportados de acordo com o tamanho e especificações de cada um. Em conformidade com a NBR 9062-2017, no que se referente ao transporte de elementos pré-moldados, se as peças precisarem ser transportadas umas sobre as outras, as mesmas devem ser intercaladas com objetos de apoio, a exemplo de caibros, cavaletes ou quaisquer outros objetos, desde de que os mesmos estejam revestido com material macio.

O processo de montagem das peças pré-fabricadas deve acontecer com exatidão, via de regra, com apoio de topografia de precisão. A NBR 9062-2017 é também a norma regulamentadora de montagem de peças pré-moldadas, o que inclui aquelas de argamassa armada.

De acordo essa norma, na chegada a obra os elementos devem ser manuseados por máquinas, equipamentos e acessórios em pontos específicos definidos pelo projeto. Com isso, evita-se que os elementos sejam danificados em virtude da inversão ou ocorrência de esforços não previstos. Além disso, cabe salientar a importância dos escoramentos, dos encaixes e das ligações, quer provisórias, quer definitivas, que fazem as junções dos componentes pré-fabricados.

1.4 Conceção Arquitetônica

Neste trabalho, optou-se pela utilização da argamassa armada, em conjunto com a técnica origami, que por sua vez pode ser caracterizado como a mistura da arte e técnica da dobradura de papel, pois etimologicamente vem de “ori”=dobrar e “kami”= papel e, tradicionalmente não se admite o uso de tesoura, porém pode ser feito de outros materiais que não sejam o papel. Possui como característica principal representação tridimensional a partir de uma folha ou pedaço de papel que, em sua maioria, possui forma quadrada (DE BOLSAS, 2016).

Esta arte milenar teve início na China, ainda que o Japão seja considerado o berço do origami, pois coincide com a origem do papel, que ocorreu na china no ano de 105 d. C. por T’sai Lao, que era administrador do imperador.

No entanto a sua origem não é totalmente elucidada, sabendo-se apenas que está relacionada às cerimônias religiosas sendo usada como objetos de decoração pelas classes nobres, pois o papel não era um artigo barato e muito difundido, estando seu uso restrito àqueles que podiam tê-lo, fazendo com que o origami tivesse alto valor e técnicas rígidas ensinadas apenas por especialistas (UENO, 2003).

Já a sua expansão ocorreu quando os povos árabes levaram para a Europa pela Espanha no século XII com as invasões dos mouros em seus territórios, pois utilizavam o origami para ajudar no estudo da matemática e assim esta arte se disseminou para o restante do mundo com as cruzadas e colonizações (DE BOLSAS, 2016).

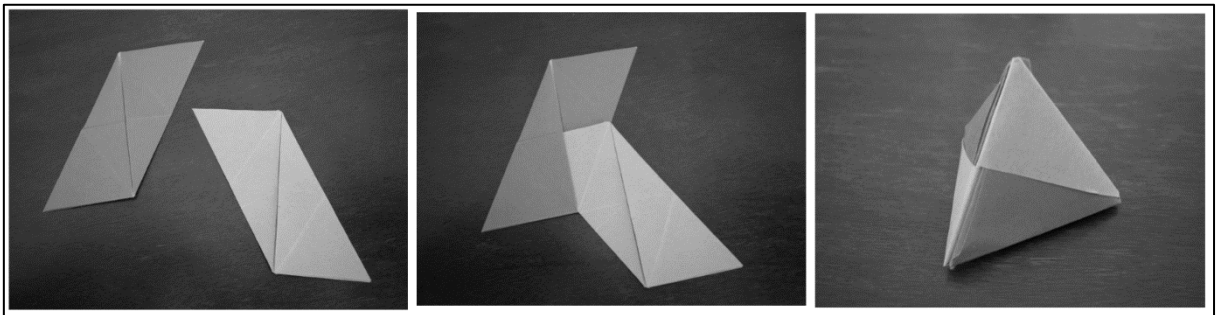
Com a criação de escolas de origami ocidentais ao longo do tempo, os pensadores e pesquisadores desta arte começaram a utilizá-lo nas áreas de matemática, recursos computacionais, engenharia, física e arquitetura; sendo um grande suporte para a indústria e evolução tecnológica.

Assim surgiu então uma vertente chamada de origami arquitetônico, que por sua vez faz a transformação de imagens bidimensionais em tridimensionais, associando dobraduras e cortes originando figuras que saltam do papel, como uma edificação (UENO, 2003).

Já o origami arquitetônico teve sua origem entre 1603 e 1868 (período Edo14) com o surgimento das lanternas de papel que tinham a finalidade de iluminar as casas de chá, sendo os balões/lanternas de festas juninas no Brasil derivados desta arte e, com a evolução do movimento neoconcreto brasileiro, começou-se a utilizar outros materiais sob o princípio do origami arquitetônico, transformando as formas bidimensionais em tridimensionais.

Com isso, foram introduzidos nas obras e construções civis por meio de nomes como Almícar de Castro, Lygia Clark, Hélio Oiticica e Masahiro Chatani (UENO, 2003). Um exemplo de uma dobradura elementar é mostrado na Fig. 2.

Figura 2– Exemplo elementar de um origami construído a partir de uma folha de papel. Adaptado de Cavacami e Furuya (2010).



Fonte: Adaptado de Cavacami e Furuya (2010).

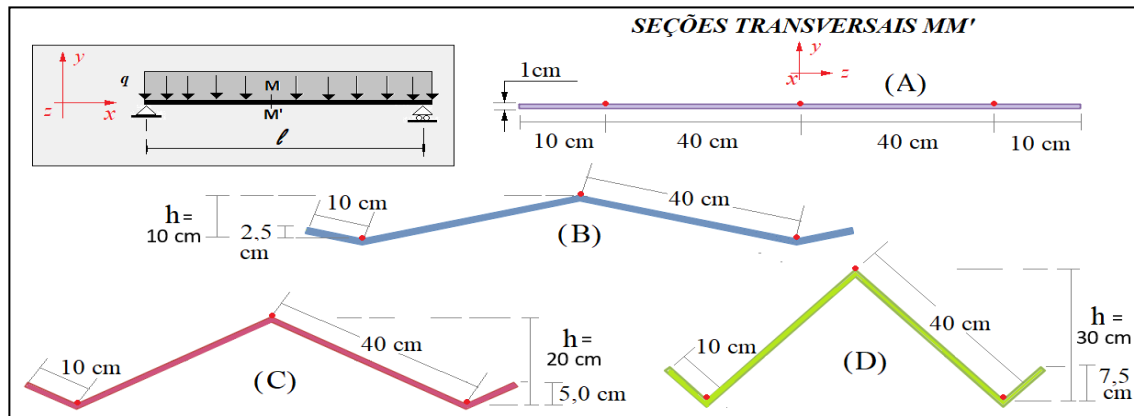
Importa ressaltar que, na construção civil e estrutural, as dobraduras do origami, via de regra conduzem à aumentos consideráveis dos momentos de inércia dos componentes (painéis), o que possibilita a adoção de elementos expressivamente esbeltos, resistentes e econômicos. Ainda, esses elementos dobrados podem vencer vão significativos.

Sob o enfoque estrutural, os conceitos de otimização da forma podem ser demonstrados de maneira rápida e efetiva.

Para tanto, suponha-se uma placa bi apoiada, construída com um material cujo módulo de Young vale E , com largura de 100 cm, altura de 1,0 cm e comprimento l , submetida a um carregamento uniformemente distribuído de valor q .

Suponha-se, ainda, que a forma retangular (A) da seção transversal seja sucessivamente alterada (B, C e D), da maneira ilustrada na Fig. 3.

Figura 3 - Seções transversais sucessivamente modificadas



Fonte: Autores, 2021

Para o componente estrutural com a configuração descrita, a tensão normal máxima (de tração) na seção transversal, σ_{xx} , e o deslocamento vertical no centro do vão, δ , são dados, respectivamente, por (TIMOSHENKO, 1972):

$$\sigma_{xx} = \frac{-M}{I_z} (\pm y_c) = \frac{-M}{I_z} (-y_c) = \frac{-M}{-W_z} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{5ql^4}{384EI_z} \quad (2)$$

nas quais M é o momento fletor no centro do vão, y_c é a distância desde a superfície neutra e o bordo inferior, I_z é o momento de inércia relativo ao eixo z (transversal) e $W_z (=I_z / y_c)$ é o módulo de resistência relativo ao mesmo eixo. As propriedades geométricas das quatro seções transversais indicadas na Fig. 3, são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 –Propriedades geométricas das seções transversais.

h cm	Área cm^2	\bar{y} cm	I_z cm^4	$ W_{z\ inf} $ cm^3	$I_z / I_{z_h=0}$	$W_{z\ inf} / W_{z\ inf_h=0}$
0,0	100,000	0,5000	8,3333	10,0761	1,00	1,00
10,0	100,2731	4,761	912,0524	19,7308	109,45	1,96
20,0	100,6001	9,0570	3627,7348	46,5679	435,33	4,62
30,0	101,1402	13,4479	8168,9834	131,8941	980,00	13,09

Fonte: Autores, 2021

Da observação dos resultados exibidos na Tab. 1 depreende-se que a mudança progressiva da forma, com um aumento marginal da área (da ordem de 1,14% na situação final), conduz a tensões 13,09 vezes menores que aquelas obtidas a partir da seção inicial (A). Por outro lado, o deslocamento vertical no centro do vão será, de maneira análoga, 980 vezes menor, fato que permite a adoção de vãos livres sucessivamente crescentes, sem aumento do peso próprio.

1.5 Proposta deste trabalho

No presente trabalho, um projeto residencial unifamiliar é desenvolvido, tendo por base a utilização de painéis pré-moldados. Se produzidos em escala, economias substanciais com as paredes de fechamento da edificação (alvenarias e revestimentos), madeiramentos e telhados, aparentemente podem ser alcançadas.

A economia referida se associa, também, à redução de prazos de construção. Ainda, a adoção de partidos arquitetônicos arrojados pode ser atingida.

2.2 Projeto arquitetônico de interiores

A circulação de ar dentro da edificação é de extrema importância, entretanto, historicamente esse não era um aspecto considerado com relevância. Porém, com o advento dos grandes processos de urbanização, a qualidade do ar de interiores (QAI) tornou-se uma questão de saúde pública.

Esta discussão nasceu em conjunto com os questionamentos referentes à eficiência dos aparelhos de refrigeração e aquecimento, a fim de minimizar o consumo de energia por meio da conjugação dos conceitos de circulação de ar, de vedação térmica mais eficiente e isolamento acústico, surgindo, então, o conceito de “prédios selados” (BRICKUS e AQUINO NETO, 1999).

Atualmente, busca-se para os projetos, materiais que proporcionam forração e acabamento que não emitam substâncias químicas e que facilitem o processo de construção, visto que a sociedade visa construções cada vez mais baratas, rápidas e funcionais.

Contudo, não é um processo simples, pois o projeto deve levar em consideração não só a parte socioeconômica, mas também fatores climáticos, geográficos e habitacionais (BRICKUS e AQUINO NETO, 1999). Assim, levando em consideração a circulação de ar, as janelas podem ser inclusas posteriormente no projeto arquitetônico, uma vez que suas posições dependem diretamente da direção do vento para que seja feita uma correta ventilação da casa, bem como a sua iluminação e localização (zona urbana ou rural) (DE GÓES, 2011).

Outro ponto a ser considerado no projeto que também está relacionado ao bem-estar da moradia é o revestimento acústico, pois, dentro da realidade dos grandes centros, a qualidade acústica deve ser considerada, interferindo diretamente na estética proporcionada pela geometria, dimensões, funcionalidade e escolha de materiais.

A exemplo da circulação de ar, a qual não era prioridade nos projetos arquitetônicos, o isolamento térmico também era esquecido pelos arquitetos antes da década de 70. A incidência de raios solares foi o principal fator a ser estudado e incorporado aos projetos, uma

vez que proporciona melhor qualidade térmica e ajuda a reduzir o consumo energético por meio da geração de energia fotovoltaica (PIASSINI, 2015).

Essa energia, habitualmente é obtida por meio da instalação de painéis solares dispostos sobre a cobertura e orientados para o norte, assim como em paredes de maior insolação, fato que permite, simultaneamente, o isolamento térmico do interior.

Na Fig. 4, são ilustradas edificações construídas ao redor do mundo. Essas edificações utilizaram diferentes materiais, a exemplo da madeira e do aço, materiais os quais, via de regra, apresentaram altos custos ou ineficiências específicas (alta condução térmica, deterioração por fungos e pragas, etc.). Dentro das limitações deste trabalho, as questões de conforto anteriormente discutidas, foram observadas.

Figura 4 – Exemplos de edificações construídas com materiais convencionais combinadas à técnica do origami. Fonte: Revista Construa, 2021.



Fonte: Braz et al., 2004

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Projeto Arquitetônico proposto

Neste trabalho, considerou-se a possibilidade de industrialização dos painéis, a montagem rápida dos mesmos e a repetitividade da edificação.

Como característica fundamental, optou-se por uma área edificada pequena e econômica, a qual, por sua ordem de grandeza, naturalmente define o público alvo: vilas estudantis, condomínios de férias, residências para solteiros ou, no limite, unifamiliares.

Relativamente aos materiais utilizados, neste trabalho a utilização da madeira para a parede externa ou cobertura, não foi admitida.

Isso se deve ao fato de que esse material não dissipa calor da maneira adequada, além de apresentar custos aparentemente mais elevados e uma demanda maior de tempo para a realização da construção.

O uso de madeira foi previsto apenas para forrar diretamente os tetos (coberturas) da sala e da cozinha, onde não há a previsão de lajes; os painéis de forros receberão impermeabilização externa, por meio da aplicação de mantas líquidas impermeabilizantes; entre a cobertura e os forros da sala e da cozinha é prevista a aplicação de uma camada de lã de vidro ou de lã de rocha, com 5 cm de espessura.

Os espaços restantes serão forrados com lajes pré-moldadas e pés direitos da ordem de 2,70 m.

Quanto ao isolamento acústico externo, a questão fica parcialmente resolvida (apenas), se considerados os recuos laterais e frontais da edificação, relativamente às divisas do terreno. Entretanto, essa questão deve ser melhor estudada e trabalhada, atividades que fogem ao escopo do presente trabalho.

Para as paredes perimetrais e o teto, a utilização de painéis de argamassa armada com espessura de 4,0 cm foi proposta, sendo que, para as aberturas maiores (frente e fundos), idealizou-se o fechamento central com tijolos à vista.

As paredes internas foram concebidas em tijolos cerâmicos, também aparentes, dado que a utilização de painéis de argamassa armada no interior da construção acarretaria em uma série de complicações, especialmente aquelas afetas ao isolamento acústico desejável.

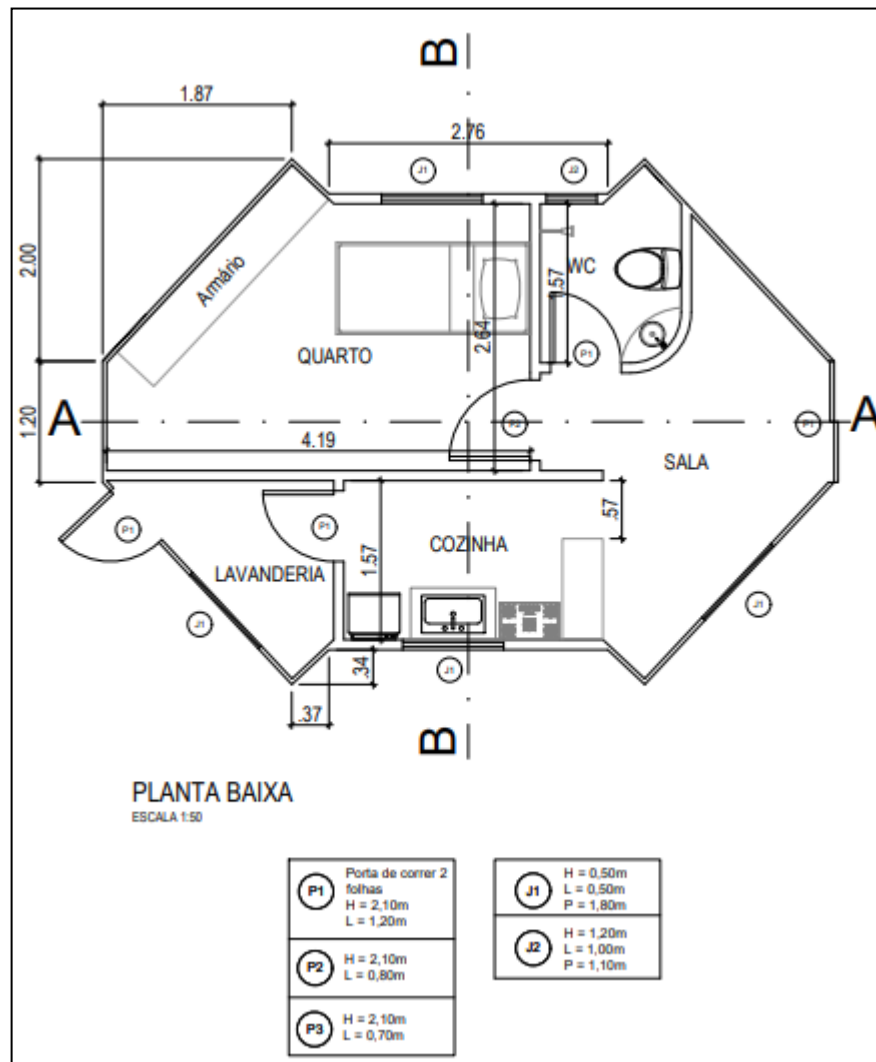
Para as áreas hidráulicas (o banheiro e cozinha), optou-se por fazer uso de azulejos até a altura de 1,50m. A pintura externa deverá ser impermeabilizante, em epóxi, e em cores claras, a fim de evitar a absorção de calor.

Duas plantas baixas foram desenvolvidas para a edificação em estudo e são apresentadas nas Fig. 5 e 5A.

No entanto, a planta apresentada na Fig. 5 parece ser a melhor em meio às duas, uma vez que garante ambientes mais espaçosos, considerando-se a área global da edificação, a qual, propositadamente, é muito pequena (27,42 m²).

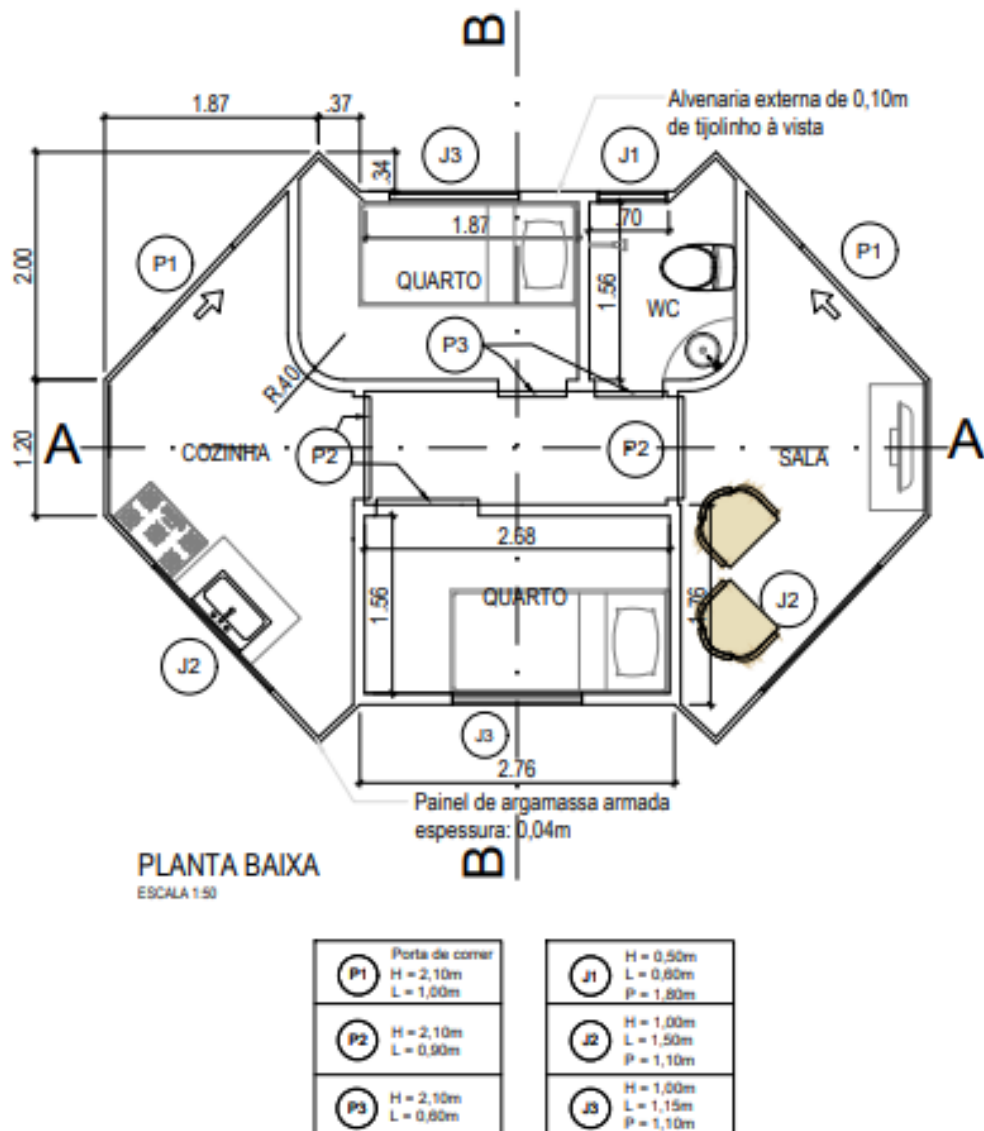
As seções (transversal e longitudinal) são apresentadas no Apêndice 1, ao passo que uma fachada alternativa (com beirais no telhado) é apresentada no Apêndice 2.

Figura 5- Planta baixa com demais especificações (dimensões em metros).



Fonte: Autores, 2021.

Figura 5A- Planta baixa alternativa (dimensões em metros).



Fonte: Autores, 2021.

2.4 Modelagem computacional da geometria proposta

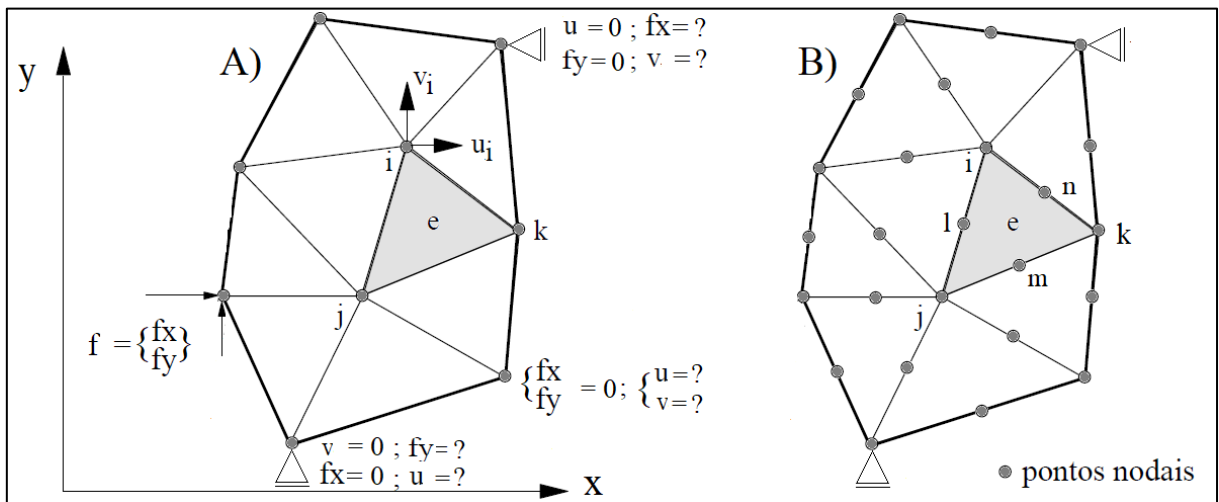
Com o objetivo de avaliar o comportamento estrutural da edificação proposta, relativamente aos níveis de tensão e de deslocamentos e considerando a complexidade da sua forma global, decidiu-se pela realização de uma análise numérica computacional do conjunto estrutural, por meio do método dos elementos finitos.

Em termos simplificados, o método dos elementos finitos consiste em subdividir o objeto (domínio da solução) em pequenas regiões, ou elementos finitos (E. F.), interconectados entre si em um número finito de pontos, denominados nós. O conjunto de elementos é denominado 'malha' e o processo de subdivisão do meio é chamado 'discretização'.

Dessa maneira, as variáveis primárias de interesse (ou variáveis de campo) a exemplo das forças e dos deslocamentos, são aproximadas nas posições nodais, comum entre elementos, de tal maneira que essas grandezas podem ser calculadas por interpolação em qualquer região interna ao elemento e, conseqüentemente, em qualquer posição do sólido.

Duas malhas de E. F. (lineares e quadráticos), utilizados para a discretização de um sólido arbitrário, são ilustradas na Fig. 6.

Figura 6– Malhas de E. F.: A) Elementos lineares (3 nós); B) Elementos quadráticos (6 nós).



Fonte: Autores, 2021

Nos problemas mecânicos estruturais, a determinação das variáveis de interesse é procedida por meio da solução numérica de um sistema de equações diferenciais ordinárias, o qual tem por base a equação geral do movimento, da maneira que segue:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{f\}_t \quad (1)$$

Na qual $[M]$ é a matriz de massa, $\{\ddot{u}\}$ é o vetor das acelerações, $[C]$ é a matriz de amortecimento, $[K]$ é a matriz de rigidez, $\{u\}$ é o vetor dos deslocamentos e $\{f\}_t$ é o vetor de forças (em função do tempo).

No caso das análises quase estáticas, as variáveis dinâmicas (acelerações e as velocidades) são nulas e o tempo passa a ser desconsiderado. Com isso resulta que:

$$[K]\{u\} = \{f\} \quad (2)$$

Para o presente problema, esse sistema pode ser resolvido após a consideração das condições de contorno conhecidas. Essas condições de contorno são as forças prescritas (condição de contorno de Neumann) e os deslocamentos prescritos (condições de contorno de Dirichlet), de maneira a obterem-se as variáveis nodais desconhecidas (forças ou

deslocamentos). Em um problema bem posto, metade dessas variáveis são conhecidas e a outra metade deve ser determinada.

A matriz de rigidez do elemento, $[K]^e$ é obtida por meio da solução numérica da Eq. 3:

$$K^e = \int_{V^e} B^T \cdot D \cdot B \cdot dV^e \quad (3)$$

Ou:

$$[K_{ij}]^e = [B_i^T] \cdot [D] \cdot [B_j] \cdot V^e \quad (4)$$

nas quais $[B]$ é a matriz das derivadas das funções de forma, $[D]$ é a matriz das constantes elásticas e V^e , o volume do elemento.

Por outro lado, a matriz de rigidez global é obtida a partir da montagem das matrizes de rigidez dos elementos, considerando-se a interconexão entre os elementos, as quais ocorrem por meio de nós comuns a dois ou mais elementos.

A partir dos deslocamentos nodais determinados por meio da solução do sistema dado pela Eq. 2, torna-se possível determinar as deformações estruturais e, a partir dessas deformações e de uma relação constitutiva (e. g., a Lei de Hooke), torna-se possível a determinação das tensões.

Como referido, essas grandezas são nodais, ou seja, referentes aos nós, podendo ser interpoladas nos domínios dos elementos, para a obtenção de seus valores aproximados em quaisquer pontos do sólido.

No presente estudo, o modelo idealizado foi analisado empregando o software ANSYS (2003).

A discretização do modelo foi procedida utilizando elementos finitos de casca (quadráticos e isoparamétricos), quadrilaterais e triangulares. Esses elementos apresentam seis graus de liberdade por nó, sendo três translações e três rotações (ZIENKIEWICS E TAYLOR, 2000).

Como condições de contorno essenciais ao problema (Dirichlet), foram adotadas translações nulas na base (engaste total). Entretanto, em virtude da elevada esbeltez dos painéis, as rotações não foram impedidas, simulando a possibilidade de fissuração nas regiões de apoio.

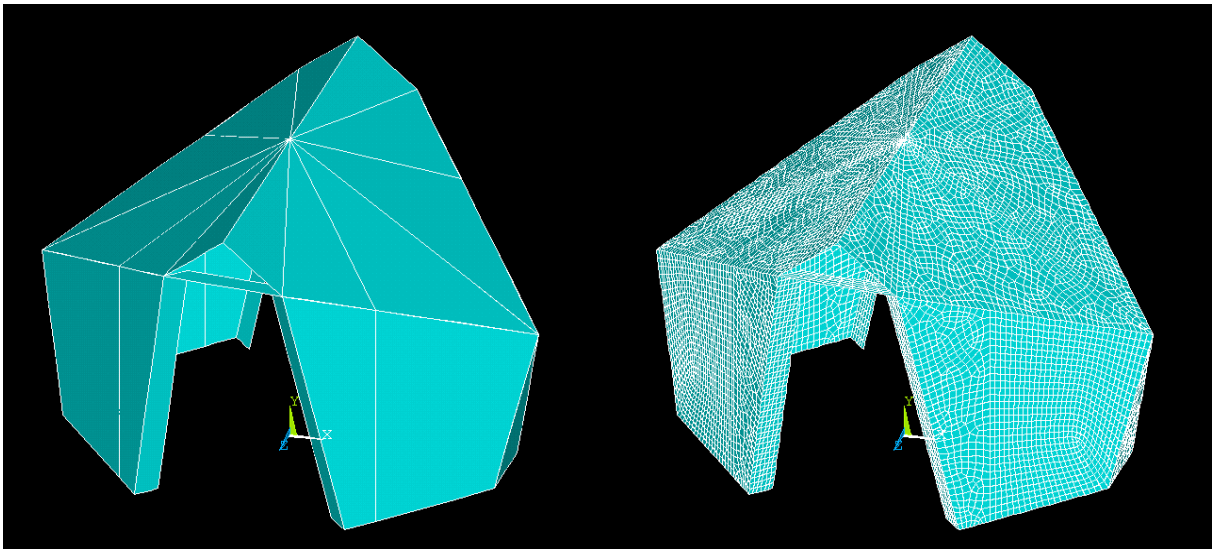
As análises foram procedidas em duas etapas. A primeira delas, preliminar, teve por objetivo avaliar o comportamento global da estrutura de argamassa armada. Para tanto, o conjunto estrutural foi considerado ser uma casca monolítica, carregada com o seu peso

próprio. Como características do modelo inicial, citam-se trinta painéis (áreas) totalizando $110,67 \text{ m}^2$ de superfície e $4,427 \text{ m}^3$ de argamassa armada.

O modelo foi matematicamente discretizado utilizando 9030 elementos finitos e 27433 nós estruturais. A espessura de 4,0 cm foi assumida para os elementos.

A Fig. 7 mostra o modelo global utilizado, assim como a malha de elementos finitos considerada.

Figura 7– Modelo geométrico e malha de elementos finitos.



Fonte: Autores, 2021.

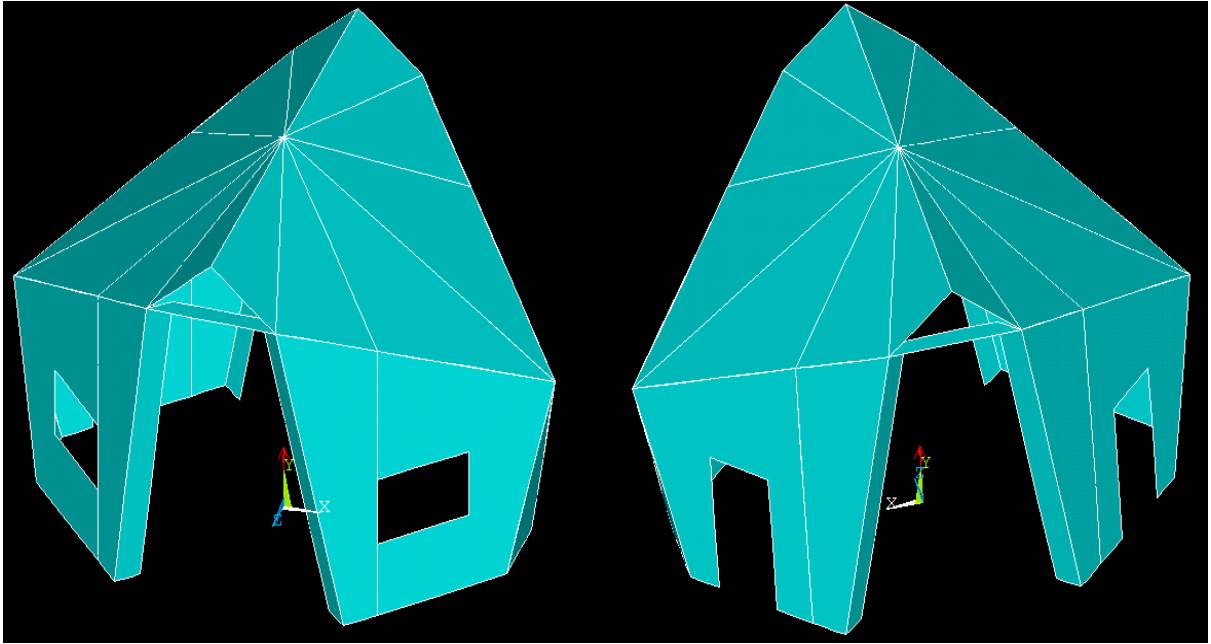
Tendo em vista o aspecto estritamente preliminar das análises, a natureza elástica linear foi assumida para o material, sem a consideração de processos não lineares de danificação (plastificação, fissuração, etc.).

Para tanto, foram adotados para o material os parâmetros que seguem: módulo de Young com valor de $3,0 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, relação de Poisson igual a 0,20 e peso específico da ordem de 25 kN/m^3 , valores usuais para o concreto armado). O centroide da edificação, na direção vertical, está posicionado à altura $y_c = 2,99 \text{ m}$, o que garante boas condições de ventilação.

A segunda análise, a qual considerou as aberturas de portas e janelas, teve por objetivo identificar as regiões de maior solicitação estrutural e eventuais pontos de concentração de tensão, decorrentes das aberturas referidas.

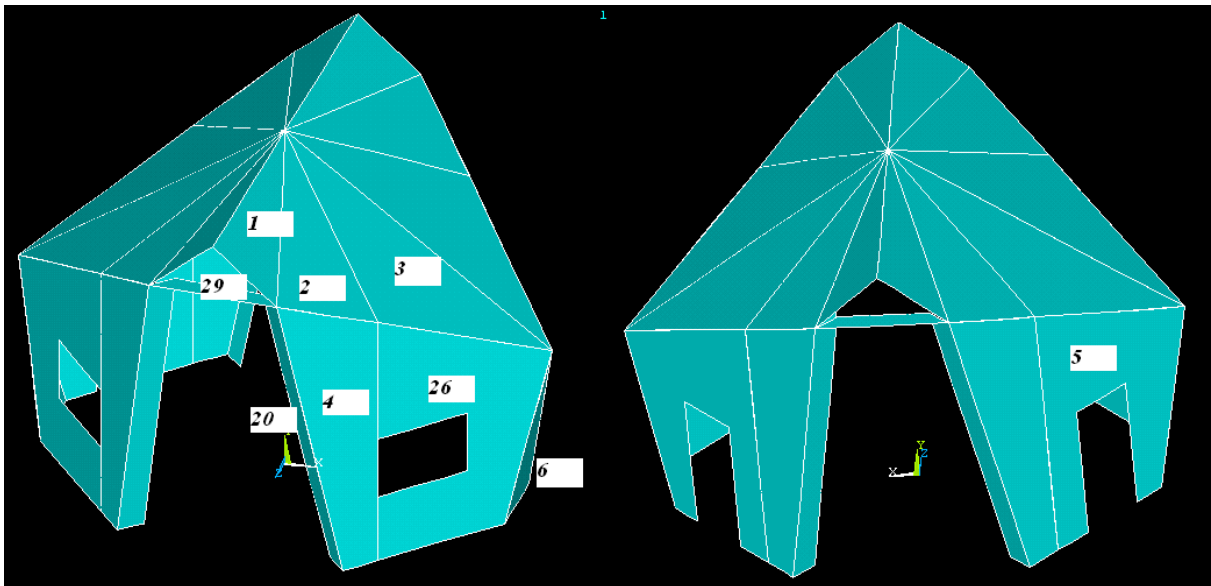
O modelo geométrico com as aberturas de portas e janelas é ilustrado na Fig. 8. Também nesse caso, o conjunto estrutural foi considerado monoliticamente, carregado com o seu peso próprio e por uma sobrecarga adicional de 200 daN/m^2 , aplicada nas áreas da cobertura.

Figura 8– Modelo geométrico exibindo a abertura de portas e janelas.



Fonte: Autores, 2021.

Figura 9– Numeração dos painéis de argamassa armada considerados.



Fonte: Autores, 2021.

As características desses painéis, relativamente às áreas superficiais, são apresentadas na Tab. 2.

Tabela 2 – Características dos painéis de argamassa armada – áreas superficiais.

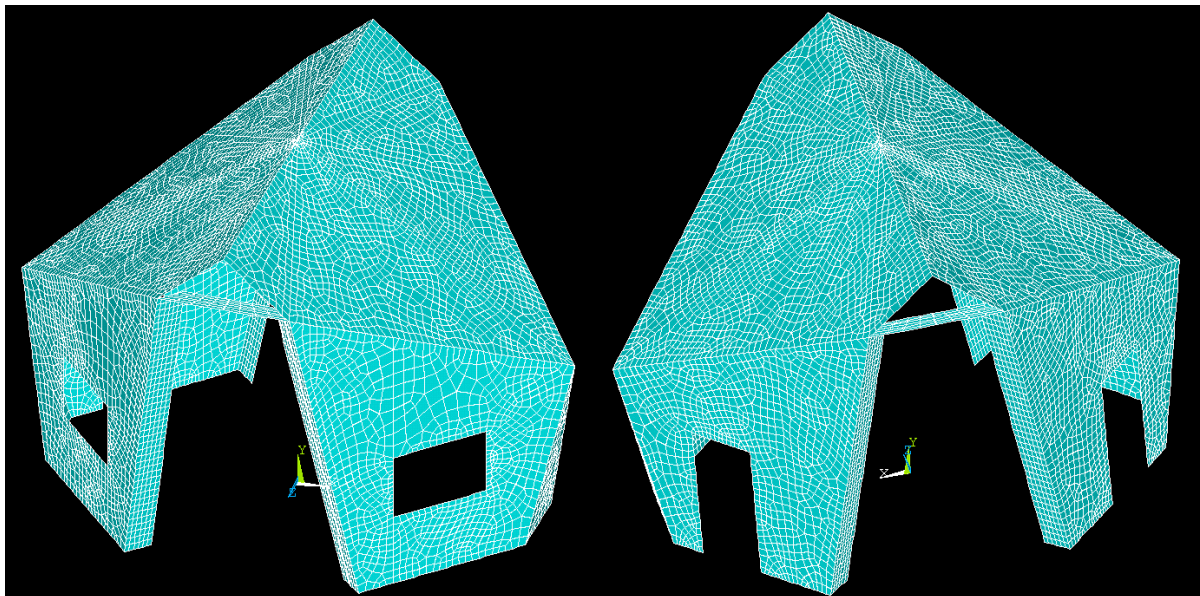
PAINEL	ÁREA (m ²)	REPETIÇÕES	ÁREA PARC. (m ²)
1	2.183	4	8.732
2	3.126	4	12.504
3	5.425	4	21.700
4	4.840	4	19.360
6	1.643	2	3.286
20	2.106	4	8.424
26	7.429	2	14.858
29	0.476	2	0.952
5	6.829	2	13.658
Σ=		28	103.474

Fonte: Autores, 2021.

Com isso, o volume final de argamassa armada foi calculado em 4,139 m³ resultando um peso total, admitindo-se o peso específico para o concreto armado igual a 25,00 kN/m³, da ordem de 103,475kN (\approx 10,347 tf).

Nessa etapa, o modelo foi discretizado utilizando 8036 elementos e 24671 nós estruturais. A Fig. 10 ilustra a malha de elementos finitos utilizada na segunda etapa das análises, cabendo ressaltar que a possibilidade de exploração da simetria verificada em relação ao plano YZ, foi desconsiderada, por ser o modelo de elementos finitos, muito pequeno.

Figura 10– Malha de elementos finitos expondo a abertura de portas e janelas.



Fonte: Autores, 2021.

Na próxima sessão será discutido os resultados alcançados nesse estudo.

3. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por seu caráter preliminar, as análises numéricas procedidas não são suficientes às conclusões necessárias ao desenvolvimento dos projetos executivos, indicando a necessidade do desenvolvimento de estudos complementares que considerem a atuação de esforços eólicos (aerodinâmica da edificação), com foco na interação fluido-estrutura.

Entretanto, levando-se em consideração unicamente a natureza estática das solicitações admitidas neste trabalho, os componentes estruturais mostraram baixos níveis de deslocamentos translacionais e de tensões mecânicas, fato que acena para a possibilidade de desenvolvimento de um projeto estrutural econômico. Os resultados mais significativos são apresentados na Tab. 3.

Tabela 3 – Resultados numéricos de tensões e deslocamentos obtidos nas análises.

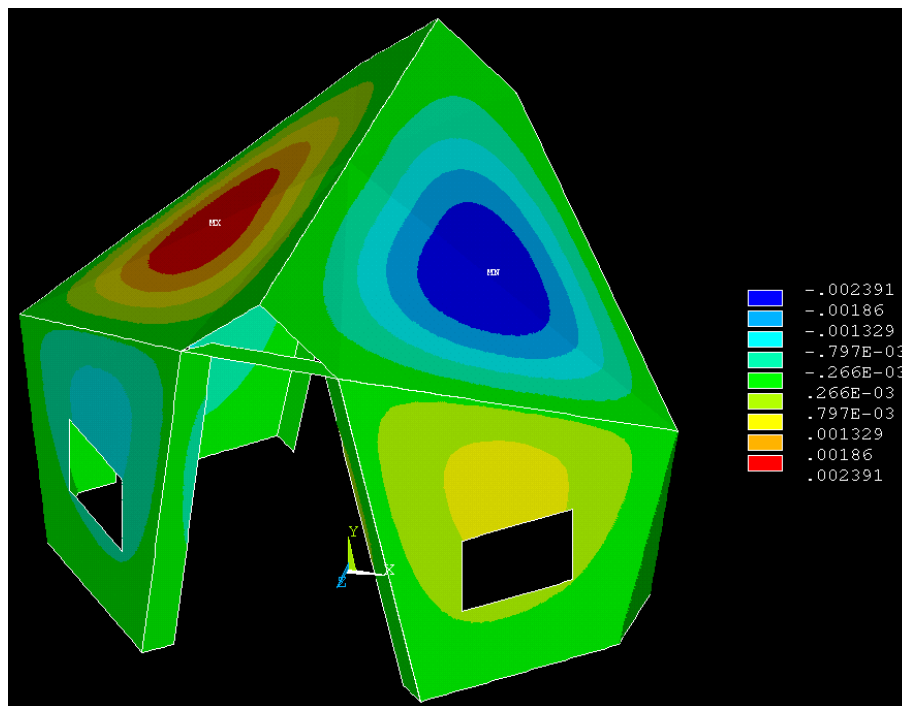
δ_x^* (mm)	δ_y^* (mm)	δ_z^* (mm)	σ_{xx} (kN/m ²)	σ_{yy} (kN/m ²)	σ_{zz} (kN/m ²)	τ_{xy} (kN/m ²)	τ_{yz} (kN/m ²)	τ_{zx} (kN/m ²)	σ_1 (kN/m ²)	σ_3 (kN/m ²)	σ_{eq} (kN/m ²)
-2.39	-3.57	0.95	3970.10	3069.40	2485.10	3146.40	1161.90	1221.80	6326.20	2484.30	5637.20
			-7429.90	-5411.10	-4932.50	-6867.30	-4405.50	-4555.00	-465.72	-5585.00	7.00

* Maiores valores modulares

Fonte: Autores, 2021

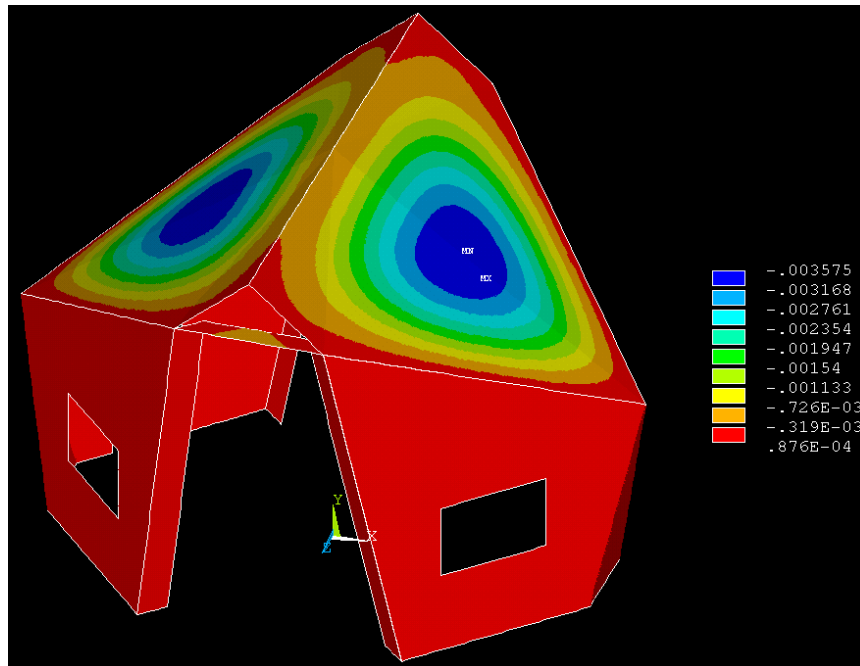
As posições onde ocorrem as tensões que compõe o tensor de tensão, assim como os deslocamentos, estão indicados nas figuras numeradas de 11 até 14.

Figura 11– Deslocamentos na direção do eixo x (m).



Fonte: Autores, 2021.

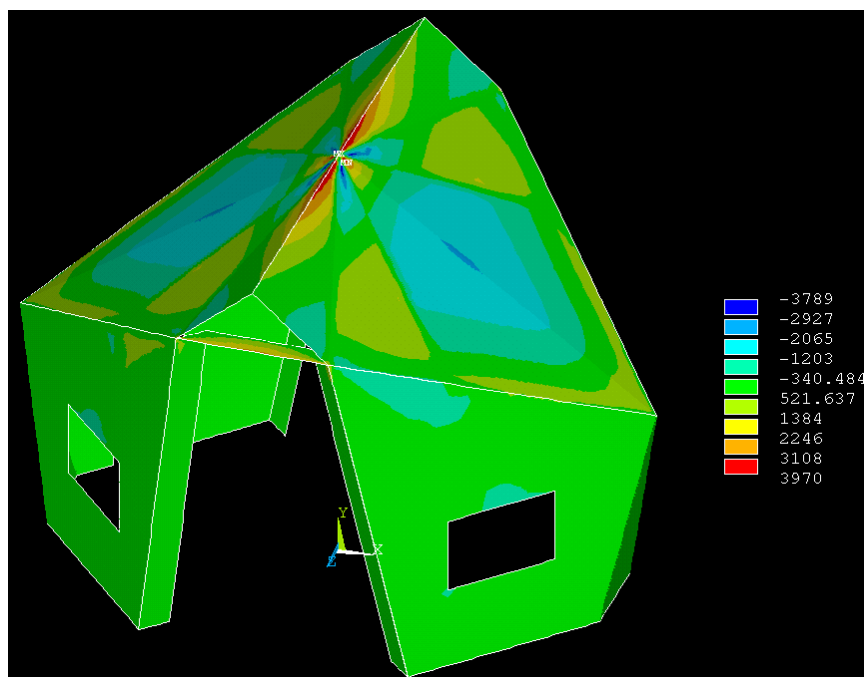
Figura 12– Deslocamentos na direção do eixo y (m).



Fonte: Autores, 2021.

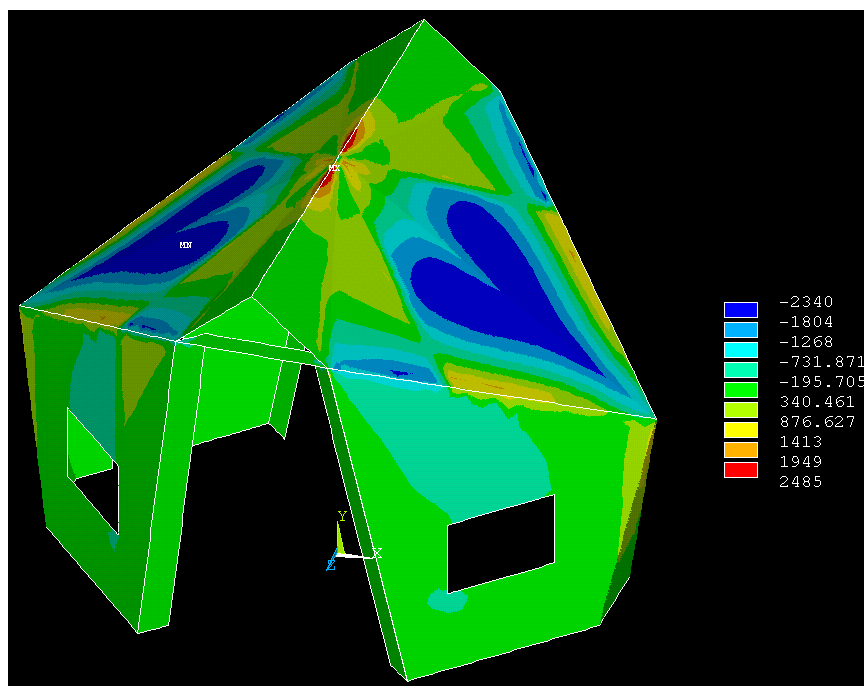
As tensões mecânicas de maior relevância são indicadas nas Figuras 13 e 14. As tensões σ_{yy} não foram ilustradas uma vez que apresentam valores muito baixos, comparativamente ao valor da resistência da argamassa, $f_{ck}=30$ MPa.

Figura 13– Tensões σ_{xx} nas faces externas dos painéis (kN/m^2).



Fonte: Autores, 2021.

Figura 14– Tensões σ_{zz} nas faces externas dos painéis (kN/m²).



Fonte: Autores, 2021

4. CONCLUSÕES

Haja vista a expansão pretendida das construções civis por meio de projetos governamentais, a argamassa armada possibilita ampla utilização e apresenta-se como uma alternativa na construção de edificações pré-fabricadas, a fim de acompanhar a expansão dos grandes centros urbanos e fazer face ao magnífico e crescente déficit habitacional existente no país.

A viabilidade econômica para uso dessas edificações em grande escala, mostra-se aparentemente possível.

Sob o enfoque estrutural e considerando a natureza estática das solicitações admitidas neste trabalho, determinou-se por meio da técnica dos elementos finitos que os componentes estruturais mostraram baixos níveis de deslocamentos translacionais e de tensões mecânicas.

Assim, o comportamento do conjunto estrutural mostrou-se extremamente satisfatório, em que pese a necessidade de estudos complementares que considerem a atuação de esforços eólicos (aerodinâmica da edificação), com foco na interação fluido-estrutura.

As análises numéricas procedidas, não são suficientes às conclusões necessárias ao desenvolvimento dos projetos executivos, indicando a necessidade do desenvolvimento de estudos complementares que considerem a atuação de esforços eólicos (aerodinâmica da edificação), com foco na interação fluido-estrutura.

BIBLIOGRAFIA

- ABNT NBR-6118. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014. 238 pg.
- ABNT NBR-9062. **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017. 86 pg.
- ANSYS MULTIPHISICS. Revisão 8. Canonsburg (USA): SwansonAnalysis Systems Inc., 2003. Conjunto de programas.
- BASTOS, P. S. S. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. Notas de Aula: 6033 – Sistemas Estruturais I. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Bauru, SP, 2006.
- BRAZ, Renato; GAMA, Pedro; LANHAM Ana – **Arquitetura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro**. Lisboa, 2004. 66p.
- BRICKUS, L. S. R.; AQUINO NETO, F. R. **A qualidade do ar de interiores e a química revestimento térmico e acústico**. Revisão. Quím. Nova, 22 (1), 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000100013>(Acesso em 19/09/2021)
- BOTIN, L. **Lelé, um construtor de ideias geniais em baixo custo, rapidez e conforto ambiental**. Cienc. Cult., São Paulo, v. 60, n. 1, p. 10-11, 2008.
- CARDOSO, C.; QUIST, W. J. **PREFABRICAÇÃO EM ARQUITETURA: Experiências de edifícios como produtos industriais no Brasil e na Holanda - João Filgueiras Lima (Lelé) e Indústrias Schokbeton**. 13º Seminário DoCoMoMo Brasil, Salvador - BA, 7 a 10 de outubro 2019.
- CAVACAMI, E.; FURUYA, Y. K. S. **Explorando Geometria com Origami**. [S. l.: s. n.], 2010.
- CHAMELETE, A G. **Armaduras para argamassa armada**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2.ed. 1999. 24p. (ET-93).
- DE BOLSAS, MOLDES E. COSTURA. **A contribuição do origami no desenvolvimento de. 12º Colóquio de Moda – 9ª Edição Internacional 1º Congresso Brasileiro de Iniciação Científica em Design e Moda 2016**.
- DE GÓES, R. **Manual prático de arquitetura hospitalar**. Editora Blücher, 2011.
- LOPES, R. K. **Relações e influências da aplicação da acústica no processo de projeto de arquitetura contemporânea**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 2010.
- MENDONÇA, A. C. **João Filgueiras Lima (Lelé): Entrevista**. *Entre-Entre.com*, Salvador, p. 1-26, 18 jan. 2007.

O QUE é argamassa armada e quais suas vantagens para a construção civil? 22 maio 2021. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-e-argamassa-armada-e-quais-suas-vantagens-para-a-construcao-civil/>. Acesso em: 4 out. 2021.

PANIAGO, D. G. **Análise estrutural de reservatórios enterrados de argamassa armada com telas de aço soldadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo (Escola de Engenharia de São Carlos), São Paulo, 1998.

PIASSINI, D. J. **Conceitos da arquitetura bioclimática ligados ao conforto térmico e eficiência energética dos edifícios**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Pós Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) - Universidade Federal de Santa Maria, Panambi - RS, 2015.

SPERANZA ENGENHARIA (BR). Speranza Engenharia. **CORROSÃO DO CONCRETO E DAS ARMADURAS**. In: SPERANZA ENGENHARIA (BR). Speranza Engenharia (ed.). **O que é argamassa armada e quais suas vantagens para a construção civil?** [S. l.], 2020. Disponível em: <http://speranzaengenharia.ning.com/page/corrosao-do-concreto-e-das-armaduras>. Acesso em: 22 ago. 2021.

TECNOSIL (BR). Marketing Tecnosil. O que é argamassa armada e quais suas vantagens para a construção civil? In: TECNOSIL (BR). Marketing Tecnosil (ed.). **O que é argamassa armada e quais suas vantagens para a construção civil?** [S. l.], 22 mar. 2021. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-e-argamassa-armada-e-quais-suas-vantagens-para-a-construcao-civil/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

TIMOSHENKO, S. P. Resistência dos materiais, Vol. 1. Rio de Janeiro (RJ): Ao Livro Técnico S. A., 1972.

TRIGO, C. C. **Pré-fabricados em argamassa armada: material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Arquitetura) - FAUUSP, São Paulo, 2009.162p.

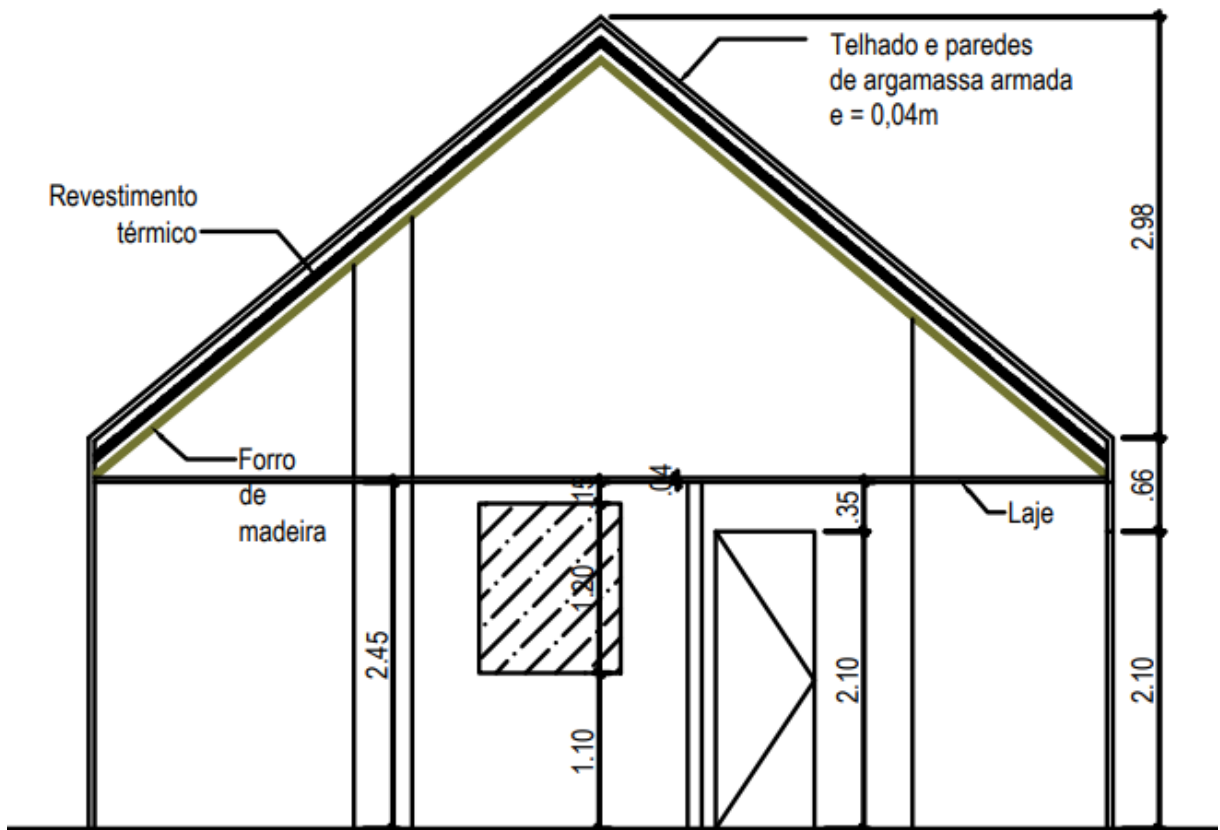
UENO, T. R. **Do origami tradicional ao origami arquitetônico: uma trajetória histórica e técnica do artesanato oriental em papel e suas aplicações no design contemporâneo**. Dissertação (Mestrado em Artes e Comunicação) - Universidade Estadual Paulista (Faculdade de Arquitetura), Bauru -SP, 2003. 103 f.

ZIENKIEWICS, O.C.; TAYLOR, R. L. The finite element method. Volume 2: solid mechanics. 5a Edição. Woburn (USA): Butterworth-Heinemann, 2000. 459 pg. ISBN 0750650559.

APÊNDICE 1

Neste apêndice são apresentadas as seções, longitudinal e transversal, da edificação.

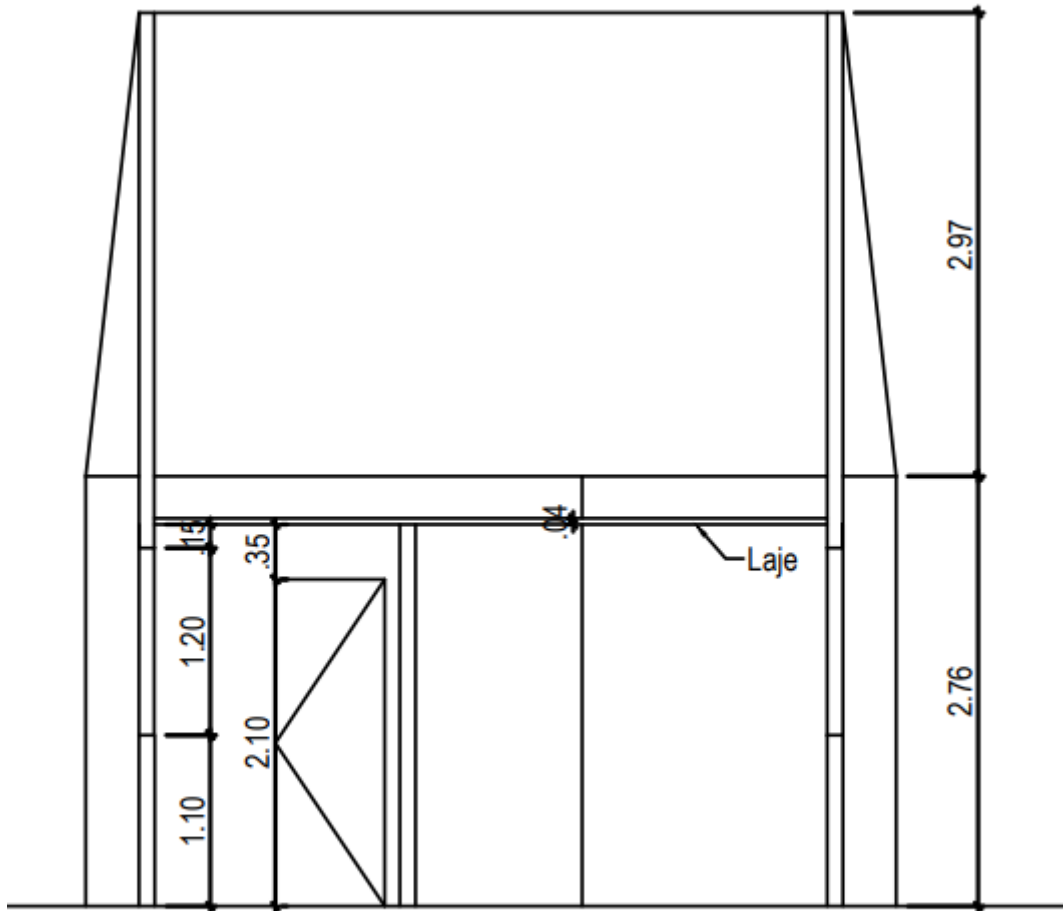
Figura A1.1 - Corte transversal AA (dimensões em metros).



CORTE AA
ESCALA 1:50

Fonte: Autores, 2021.

Figura A1.2 - Corte longitudinal BB (dimensões em metros).



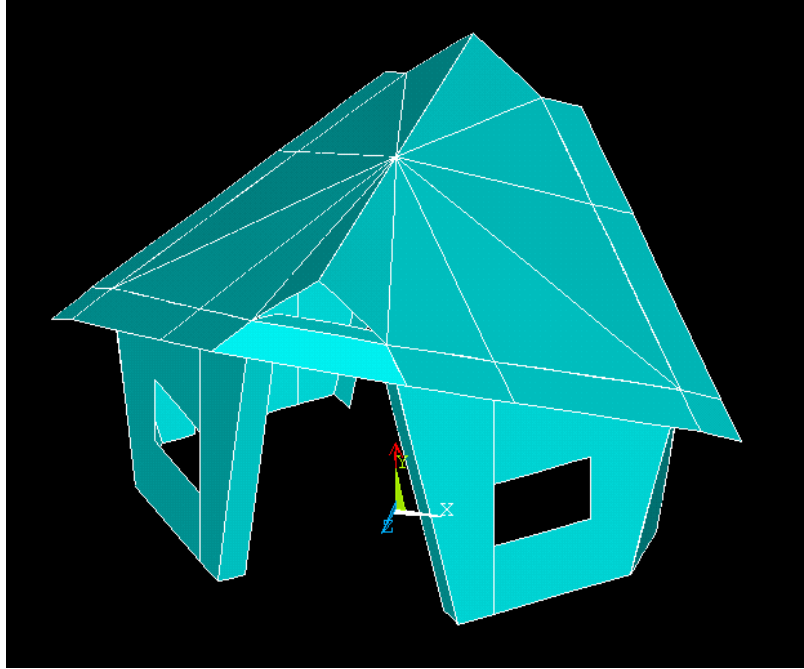
CORTE BB
ESCALA 1:50

Fonte: Autores, 2021

APÊNDICE 2

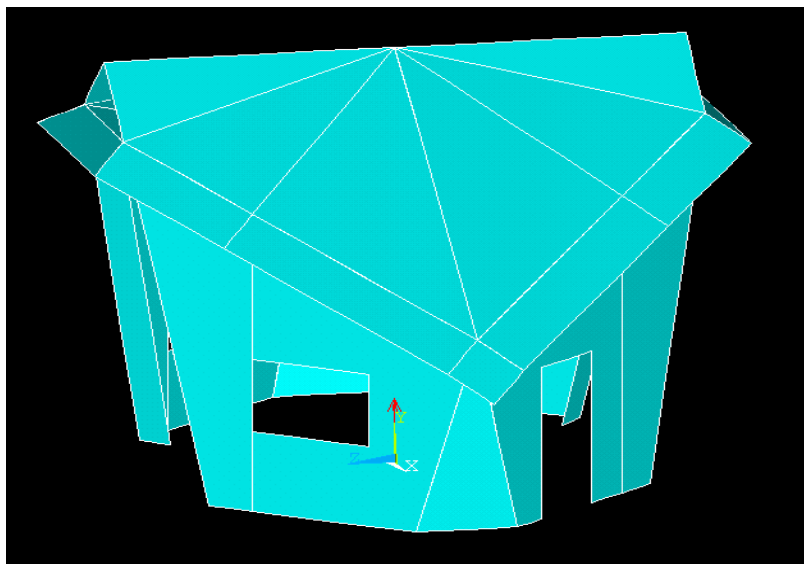
Neste apêndice apresenta-se o desenho de uma cobertura alternativa, com beirais.

Figura A2.1- Vistas alternativas da edificação, em perspectivas oblíquas, considerando-se a cobertura com beirais -Frente.



Fonte: Autores, 2021

Figura A2.2 - Vista alternativa da edificação, em perspectiva oblíqua considerando-se a cobertura com beirais – Fundos.



Fonte: Autores, 2021