



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

IGOR MATHEUS DANTAS DE SOUZA

**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL PARA O
PROJETO CASAS DO CABUGI**

ANGICOS
2024

IGOR MATHEUS DANTAS DE SOUZA

**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL PARA O
PROJETO CASAS DO CABUGI**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Klaus André de
Sousa Medeiros

ANGICOS

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

DS729 DANTAS DE SOUZA, IGOR MATHEUS.
p PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL
PARA O PROJETO CASAS DO CABUGI / IGOR MATHEUS
DANTAS DE SOUZA. - 2024.
75 f. : il.

Orientador: KLAUS ANDRE SOUSA MEDEIROS .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. Alvenaria Estrutural. 2. Residências
Populares. 3. Blocos Cerâmicos. I. SOUSA MEDEIROS
, KLAUS ANDRE , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

IGOR MATHEUS DANTAS DE SOUZA

**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL PARA O
PROJETO CASAS DO CABUGI**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 19/04/2024.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
KLAUS ANDRE DE SOUSA MEDEIROS
Data: 19/04/2024 19:06:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Klaus André de Sousa Medeiros (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente
LUIS HENRIQUE GONCALVES COSTA
Data: 22/04/2024 17:22:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luis Henrique Gonçalves Costa (UFERSA)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
WALLISON ANGELIM MEDEIROS
Data: 22/04/2024 16:41:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wallison Angelim Medeiros (IFPI)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde e sabedoria para discernir e enfrentar os obstáculos que aparecem no decorrer do curso, agradeço também por ter me concedido o prazer de chegar até aqui e conseguir realizar um dos meus sonhos.

Agradeço aos meus pais, Ivanaldo e Graça, por serem os pais incríveis que são e ser um dos principais fatores para me tornar a pessoa que sou hoje. Agradeço por todos os valores e ensinamentos que foram passados para que eu conseguisse enfrentar com êxito os desafios da vida.

Agradeço a minha namorada, Raquel, por ter me motivado desde sempre e me ajudado a superar uma grande batalha vivida. Agradeço por me edificar e me fazer ter vontade de ser uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço aos meus amigos, que acreditaram e me incentivaram para que eu pudesse realizar este grande ato.

A todos os meus familiares, pelo apoio e amor incondicional e por sempre acreditarem no meu potencial.

Agradeço também ao Professor Doutor Klaus André por todo o incentivo, contribuição com a escolha do tema e orientação com o desenvolvimento do projeto, e principalmente por toda a paciência.

E, por fim, agradeço aqueles que participaram direta e indiretamente de todo o desenvolvimento da pesquisa, em especial a Cerâmica do Gato e Empresa Junior Consolida Engenharia.

RESUMO

Este estudo baseia-se no projeto "Casas do Cabugi", o qual foi desenvolvido com o intuito de beneficiar famílias da região de Angicos-RN com um projeto arquitetônico compatível com programas habitacionais, podendo ser viabilizado tanto por financiamento próprio quanto por meio de programas de assistência financeira governamental. O presente trabalho teve como objetivo realizar a modulação e dimensionamento em alvenaria estrutural das residências populares do projeto apresentado, com blocos cerâmicos estruturais de largura de 9 e 11,5 cm, de maneira que houvesse uma padronização na construção. O estudo justifica-se através da necessidade de apresentar outras propostas construtivas, levando em consideração a região atendida. A metodologia utilizada tem caráter de estudo de caso, detalhando como ocorreram as modulações através do *software Revit*, e como se deu o dimensionamento. Os resultados obtidos foram centrados na apresentação das pranchas de fiadas e elevações e em como seu dimensionamento atende às normas seguidas e exigidas.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural; Residências Populares; Bloco cerâmico.

ABSTRACT

This study is based on the "Casas do Cabugi" project, which was developed with the aim of benefiting families in the Angicos-RN region with an architectural design compatible with housing programs, which could be implemented through either self-financing or government financial assistance programs. The present work aimed to carry out the modulation and dimensioning in structural masonry of the residences presented in the project, using structural ceramic blocks with widths of 9 and 11.5 cm, in order to standardize the construction process. The study is justified by the need to present alternative construction proposals, taking into account the region being served. The methodology used is a case study approach, detailing how the modulations were carried out using Revit software, and how the dimensioning was conducted. The results obtained focused on presenting the course of courses and elevations, and how their dimensioning meets the standards followed and required.

Keywords: Structural masonry; Popular residences; Ceramic block.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Requisitos mínimos conforme a aplicação (Tabela 1 da NBR 15270-1).....	20
Figura 2 - Dimensões nominais de blocos cerâmicos estruturais e vedação para alvenaria racionalizada 9 cm – EST. (Tabela 4 da NBR 15270-1).....	21
Figura 3 - Dimensões nominais de blocos cerâmicos estruturais e vedação para alvenaria racionalizada dos demais blocos – EST. (Tabela 4 da NBR 15270-1)	21
Figura 4 - Blocos cerâmicos vazados estruturais de 9 cm.....	22
Figura 5 - Blocos cerâmicos vazados estruturais de 11,5 cm.....	23
Figura 6 - Blocos cerâmicos vazados estruturais de 14 cm.....	24
Figura 7 - Tipos de amarração de paredes	25
Figura 8 - Recomendação dos materiais da alvenaria estrutural.....	27
Figura 9 - Projeto arquitetônico Casas do Cabugi.....	32
Figura 10 - Família de 9 cm criada no Revit.....	33
Figura 11 - Família de 11,5 cm criada no Revit.....	34
Figura 12 - Início da modulação	35
Figura 13 - Parede com espaçador	36
Figura 14 - Fiadas acima da laje	37
Figura 15 - Parede frontal	38
Figura 16 - Áreas de Influência	39
Figura 17 - Primeira fiada para a família de 9 cm.....	45
Figura 18 - Segunda fiada para a família de 9 cm.....	46
Figura 19 - Elevação da família de 9 cm da parede 2	47
Figura 20 - Primeira fiada para a família de 11,5 cm.....	48
Figura 21 - Segunda fiada para a família de 11,5 cm.....	49
Figura 22 - Elevação da família de 11,5 cm da parede 2	50
Figura 23 - Áreas de influência do projeto para a família de 9 cm.....	51
Figura 24 - Áreas de influência para a família de 11,5 cm	52
Figura 25 - Grupos de paredes	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Verificação a compressão simples 9 cm	55
Tabela 2 - Verificação a compressão simples 11,5 cm	55
Tabela 3 - Flexão simples da modulação de 9 cm	55
Tabela 4 - Flexão simples da modulação de 11,5 cm	56
Tabela 5 - Verificação ao cisalhamento de vergas na modulação de 9 cm	56
Tabela 6 - Verificação ao cisalhamento de vergas na modulação de 11,5 cm	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas

b – Largura da seção transversal

d – Altura útil da seção transversal

EST – Estrutural

f_{bk} – Resistência a compressão do bloco

f_d – Resistência a compressão de cálculo do prisma

f_{pk} – Resistência característica de compressão simples do prisma

f_s - Resistência do aço minorada

f_{vk} – Resistência característica ao cisalhamento em juntas horizontais de parede

f_{yk} – Resistência característica do aço CA – 50

h_e – Altura efetiva

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

M_d – Momento de cálculo

NBR – Norma Brasileira

q - Carga uniformemente distribuída

q_k – Carga permanente distribuída

R – Coeficiente redutor devido a esbeltez da parede

t_e – Espessura efetiva

VED – Vedação

λ – Índice de esbeltez

γ_f - Coeficiente de ponderação de ações

γ_m – Coeficiente de resistência

ρ – Taxa geométrica de armadura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	14
3.2 ALVENARIA ESTRUTURAL	15
3.2.1 Componentes da Alvenaria Estrutural	15
3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS BLOCOS CERÂMICOS	18
3.3.1 Modulação	20
3.3.2 Dimensionamento	26
3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ALVENARIA ESTRUTURAL	28
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 PROJETO CASAS DO CABUGI	31
4.2 SELEÇÃO E MODULAÇÃO DOS BLOCOS	33
4.3 DIMENSIONAMENTO	38
5 RESULTADOS	44
5.1 MODULAÇÃO E PAGINAÇÃO	44
5.2 CARREGAMENTO VERTICAL	50
5.3 COMPRESSÃO SIMPLES	53
5.4 FLEXÃO SIMPLES	56
5.5 CISALHAMENTO.....	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A – PAGINAÇÃO DA MODULAÇÃO COM A FAMÍLIA DE 9 CM	62
APÊNDICE B - PAGINAÇÃO DA MODULAÇÃO COM A FAMÍLIA DE 11,5 CM	69

1 INTRODUÇÃO

Este estudo tem como referência o projeto “Casas do Cabugi”, o qual tem como propósito a elaboração dos projetos de arquitetura, estrutura e instalações prediais de uma casa de padrão popular que atenda às especificações do Programa Minha Casa, Minha Vida.

O projeto “Casas do Cabugi” é um projeto social que visa ajudar famílias que ainda vivem, em residências precárias a terem oportunidade de morar em uma casa melhor estruturada. As pessoas que serão beneficiadas vivem em casas que foram feitas com antigos métodos de construção que resultam em pouquíssima segurança ou conforto para àqueles que ali habitam. Esse tipo de residência em questão é a chamada casa de taipa, que são casas construídas com madeira bruta, retirada de carnaubeiras, para compor a parte estrutural da residência e uma mistura de 30% de argila, 70% de areia e água para fazer a vedação das paredes.

O método de construção mais usado na região que irá ser atendida pelo projeto é o modelo no qual a estrutura da residência é em concreto armado, e a vedação com tijolos cerâmicos. Porém, também existe no mercado o sistema em alvenaria estrutural, método este que pode atender as necessidades apresentadas com economia e conforto para a população beneficiada.

Em contraste com a abordagem convencional de construção, na qual as paredes são predominantemente utilizadas como elementos de vedação, na alvenaria estrutural elas desempenham um papel crucial na resistência da estrutura. Neste método construtivo as paredes são autoportantes e responsáveis pela transmissão das cargas até a fundação. As paredes são compostas, em geral, por blocos de concreto ou cerâmicos, todos caracterizados por uma notável capacidade de resistência à compressão.

Observa-se uma crescente adoção da alvenaria estrutural no mercado da construção civil atual, impulsionada pela busca por métodos construtivos que ofereçam rapidez na execução, custos reduzidos e elevada qualidade. Este enfoque atende à demanda crescente por eficiência e eficácia na construção de edificações.

Assim como em qualquer atividade industrial, as diversas etapas desse processo são diretamente influenciadas pela qualidade e pelo tempo de execução. Portanto, o entendimento das principais vantagens e desvantagens desse sistema é crucial para a escolha do método construtivo que melhor atenda às necessidades da

população beneficiada. Ao abordar essa perspectiva, o estudo busca proporcionar pontos valiosos que possam orientar a tomada de decisões no âmbito da construção civil, visando eficiência, economia e satisfação das demandas específicas da indústria.

O trabalho justifica-se com objetivo de realizar uma nova proposta de construção para o projeto “Casas do Cabugi” em alvenaria estrutural. No presente estudo, o uso de blocos de alvenaria estrutural cerâmicos das famílias de 9 e 11,5 cm demonstra uma abordagem cuidadosa na seleção dos materiais, considerando a produção regional para minimizar custos. Essa escolha também reflete a preocupação em atender às demandas específicas do projeto, garantindo durabilidade, resistência e eficiência na construção das novas habitações.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo propõe a elaboração de um projeto para as residências do programa “Casas do Cabugi” adotando o sistema de alvenaria estrutural como método construtivo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um projeto estrutural específico, adaptado às necessidades e características da arquitetura adotada, utilizando o sistema de alvenaria estrutural como base para a construção das novas residências;
- Desenvolver e apresentar um projeto em alvenaria estrutural, abrangendo duas famílias distintas de blocos cerâmicos, com bloco padrão de dimensões de 9x19x29 cm e 11,5x19x24 cm, promovendo a padronização no processo de edificação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Na construção civil, observamos uma prevalência de técnicas e materiais tradicionais, cujo desenvolvimento ao longo do tempo não seguiu o ritmo de outros setores industriais. Os materiais, as formas e as técnicas utilizadas na construção civil atual diferem significativamente dos empregados em épocas anteriores. Além disso, a interpretação contemporânea da importância de uma construção é distinta daquela de épocas passadas, refletindo novos significados.

Conforme Sabbatini (1989), a industrialização da construção civil é um processo evolutivo que busca aumentar a produtividade e a qualidade desta, bem como aprimorar o desempenho da atividade construtiva por meio de ações organizacionais, implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle.

No âmbito dos sistemas industrializados, podem-se identificar dois tipos principais: o primeiro, composto por sistemas leves para vedações, destinados à compartimentação interna com pesos não superiores a 60 kgf/m²; e o segundo, sistemas voltados para estruturas e fechamentos com função estrutural ou de vedação.

Quando se trata da Alvenaria Estrutural, diversos estudos têm sido conduzidos para avaliar suas vantagens técnicas, econômicas e seu elevado grau de racionalização. Sabbatini (1989, *apud* Manzione, 2004) define esse sistema construtivo como um processo de elevada industrialização e organização, constituído por elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo. Manzione (2004) acrescenta que a alvenaria estrutural pode ser compreendida como um sistema construtivo completo, com alto grau de racionalidade, que suporta e organiza os outros subsistemas da edificação.

Essa abordagem reforça a ideia de que a Alvenaria Estrutural não é apenas um conjunto de paredes superpostas, mas sim um sistema construtivo coeso e eficiente. Sua integração organizada e a capacidade de suportar cargas estruturais evidenciam seu papel fundamental na modernização e otimização da construção civil.

3.2 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural representa um método de construção no qual as paredes portantes são compostas por unidades de alvenaria interligadas com argamassa, destinadas não apenas a suportar o peso próprio, mas também a resistir a outras cargas aplicadas. O dimensionamento dessa estrutura é realizado por meio de cálculos racionais, garantindo sua estabilidade e segurança estrutural. Além disso, é fundamental que o canteiro de obras seja organizado de forma a funcionar eficientemente como uma linha de montagem, seguindo os princípios da produção industrial para maximizar a eficiência e minimizar custos e prazos (Sonda, 2007).

De acordo com Kalil (2009), a alvenaria estrutural é um sistema construtivo monolítico que se baseia no uso de peças industrializadas unidas por argamassa. Essas peças podem variar em dimensões e peso, contanto que sejam manipuláveis durante a construção.

É importante ressaltar que, segundo Junior (2013), as paredes de alvenaria desempenham o papel de suporte para as cargas, desde a sua base até a fundação, eliminando a necessidade de pilares ou vigas convencionais no sistema. Este método oferece uma abordagem simplificada e eficiente para a construção, promovendo maior rapidez e economia no processo construtivo.

3.2.1 Componentes da Alvenaria Estrutural

Na realização da construção de um edifício com alvenaria estrutural, os principais elementos empregados compreendem blocos, argamassa, graute e armadura, sendo esta última categorizada como construtiva ou de cálculo. O termo “elementos” é atribuído quando pelo menos dois componentes se unem, formando partes suficientemente elaboradas da estrutura, tais como paredes, pilares, cintas, vergas, entre outros (Pinheiro, 2018). Esse autor, também traz que para esses componentes cumpram os requisitos necessários, é imperativo que os componentes básicos, originados dos principais elementos, atendam a critérios mínimos de desempenho e sigam as especificações normativas.

Conforme observado por Tauil e Nese (2010), no que tange à presença ou ausência de armadura, a alvenaria pode ser classificada como:

- Alvenaria não armada: Esta modalidade utiliza paredes de alvenaria como estrutura de suporte sem a inclusão de armaduras. O uso eventual de aço se

limita a elementos como vergas, contravergas de portas e janelas, visando prevenir manifestações patológicas futuras, como trincas e fissuras resultantes da acomodação da estrutura, movimentação devido a efeitos térmicos, vento e concentração de tensões.

- Alvenaria armada: Neste caso, a alvenaria recebe reforço por necessidade estrutural. Armaduras passivas, como fios, barras e telas de aço, são inseridas nos vazios dos blocos e posteriormente preenchidas com graute, abrangendo também o preenchimento de todas as juntas verticais.
- Alvenaria parcialmente armada: Este é um processo híbrido, no qual alguns elementos resistentes são concebidos com armaduras, enquanto outros permanecem desprovidos delas.

3.2.1.1 Blocos

Os blocos desempenham uma função central na alvenaria estrutural, exercendo significativa influência na resistência à compressão e estabelecendo as diretrizes para a aplicação da técnica de coordenação modular nos projetos (Pinheiro, 2018). Dentre os principais tipos de blocos utilizados nesse contexto, destacam-se os cerâmicos, de concreto e sílico-calcários, cada um contribuindo com características específicas essenciais para a integridade da estrutura.

As características primordiais desses blocos, como resistência à compressão, estabilidade dimensional, capacidade de vedação e absorção adequada, são fatores decisivos para o sucesso da alvenaria estrutural. Ao incorporar esses componentes com atenção às suas particularidades, os profissionais podem otimizar o desempenho e a durabilidade da estrutura construída, garantindo a segurança e a eficácia do projeto. Essa abordagem meticulosa na seleção e aplicação dos blocos é essencial para assegurar a efetividade da alvenaria estrutural em diversas situações construtivas.

3.2.1.2 Argamassa

A argamassa, componente essencial na ligação entre os blocos na alvenaria estrutural, desempenha um papel crucial ao evitar pontos de concentração de tensões. A argamassa é composta por cimento, agregado miúdo, água e cal, podendo ainda incluir aditivos para aprimorar propriedades específicas (Pazini, Rodrigues, 2014). É relevante observar que, na construção de edifícios com alvenaria estrutural,

argamassas industrializadas têm sido empregadas com sucesso (Pazini, Rodrigues, 2014).

Pazini e Rodrigues (2014) destacam que a argamassa desempenha funções cruciais, como unir as unidades, garantir a vedação e proporcionar a aderência com as armaduras nas juntas. Suas propriedades incluem a retenção de água, uma resistência à compressão adequada e trabalhabilidade conveniente para facilitar a aplicação.

3.2.1.3 Graute

O graute, conforme definido por Pinheiro (2018), é caracterizado como um microconcreto, com agregados de pequena dimensão e alta fluidez. Este componente desempenha um papel crucial na alvenaria estrutural, especialmente em elementos que trabalham à flexão, como vergas, contravergas, vigas e cintas. A função primordial do graute é uniformizar os carregamentos provenientes das reações das lajes, transmitindo-os para as paredes e, ao mesmo tempo, aumentar a resistência à compressão das paredes. Além disso, sua função se estende à proteção completa das armaduras presentes nas paredes, formando um conjunto integrado entre bloco, armadura e graute.

Pinheiro (2018) destaca que o graute é empregado para preencher os vazios dos blocos, visando aumentar a resistência à compressão da alvenaria sem afetar a resistência do bloco. Isso é particularmente útil em reforços estruturais nas zonas de concentração de tensões e em situações em que é necessário reforçar as estruturas. Os materiais utilizados na composição do graute são os mesmos do concreto convencional, diferenciando-se principalmente no tamanho do agregado graúdo e na relação água/cimento.

Dentro do processo de modulação é necessário a criação de grautes, sejam eles construtivos ou calculados. O uso dos construtivos, terão que obedecer a norma, devem ser grauteados os pontos de amarrações que funcionarão como pilares, as vergas, as contravergas e as cintas de amarração. Os grautes calculados dependem das solicitações de cargas provenientes no projeto, caso se faça necessário, são adicionados mais pontos grautes para resistir as solicitações de compressão ou tração (juntamente as barras de aço).

3.2.1.4 Armadura

No âmbito da alvenaria estrutural, as armaduras desempenham um papel vital e, invariavelmente, estão envoltas por graute para combater esforços de tração (ABNT NBR 16868-1/2020). Além de sua presença crucial em estruturas de concreto armado, as armaduras desempenham um papel significativo em elementos como vergas e contravergas, onde a necessidade de armadura longitudinal é constante.

Conforme definido pela ABNT NBR 16868-1/2020, elementos de alvenaria armada são caracterizados pelo uso de armaduras passivas, essenciais para resistir aos esforços solicitantes. Na alvenaria estrutural, as armaduras têm a função de reforçar juntas e aprimorar a amarração entre as paredes, utilizando os mesmos princípios aplicados na construção de alvenaria convencional (Soares, 2011).

Consoante a visão de Ramalho e Corrêa (2003), as armaduras empregadas para resistir às solicitações na alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas em estruturas de concreto armado. É fundamental que essas armaduras estejam sempre envolvidas por graute, garantindo uma integração eficaz com os demais componentes da estrutura.

3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS BLOCOS CERÂMICOS

Os blocos cerâmicos destinados à alvenaria estrutural devem atender a rigorosos requisitos geométricos, físicos e mecânicos conforme estabelecido pela ABNT NBR 15270-1/2017. Esses blocos apresentam furos prismáticos dispostos perpendicularmente à face que os contém, sendo assentados com os furos orientados na vertical.

A normalização aplicada aos blocos cerâmicos inclui as regulamentações da ABNT, com destaque para a NBR 15270-1/2017 (Componentes cerâmicos - blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos) e a NBR 15270-2/2017 (Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios). A NBR 15270-1/2017 abrange requisitos dimensionais, físicos e mecânicos, aplicáveis nas fases de compra, transporte e recebimento dos blocos cerâmicos de vedação. Esses blocos podem ser empregados em alvenaria de vedação, revestidos ou não, por argamassa ou similar.

A qualidade dos blocos cerâmicos é assegurada por critérios que incluem a conformidade geométrica, a ausência de saliências, reentrâncias anormais, defeitos

sistemáticos, rachaduras, fissuras e inclusões calcárias. Além disso, são submetidos a ensaios de compressão, sendo necessário que, ao serem percutidos por uma peça metálica, emitam um som sonoro. A identificação do fabricante é imprescindível, e as faces de contato dos blocos com os pratos de compressão são regularizadas com argamassa, seguida de imersão em água para saturação. A resistência mecânica resultante deve ser superior a 15 kgf/cm² (Penteado; Marinho, 2011).

Os blocos cerâmicos são classificados e comercializados de acordo com sua aplicação, seguindo os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15270-1/2017. A classificação “VED” (vedação) indica uso exclusivo para vedação, podendo ser especificada como VED15 ou VED30. A classificação “EST” (estrutural) sugere uso tanto estrutural quanto para vedação racionalizada, com variações como EST40, EST60, EST80, EST100, entre outras.

Segundo Mohamad (2018), os blocos estruturais devem possuir a forma de um prisma reto padronizado, com dimensões de fabricação definidas pela ABNT NBR 15270-1/2017. Tolerâncias dimensionais, relacionadas à média das dimensões efetivas e dimensões mínimas dos septos das unidades, são estabelecidas para garantir a qualidade e a uniformidade desses elementos essenciais na construção.

As propriedades físicas e mecânicas dos blocos cerâmicos são de extrema importância no contexto da construção. O índice de absorção de água, por exemplo, desempenha um papel crucial, devendo situar-se entre 8% e 22%. Um valor inferior a 8% pode resultar em argamassa com aderência fraca ao bloco, enquanto uma absorção acima de 22% pode levar à falta de água para a hidratação do cimento ou à retração da argamassa. Esses parâmetros são essenciais para garantir a eficácia do sistema construtivo (Mohamad, 2018).

A resistência característica à compressão destaca-se como a propriedade fundamental dos blocos cerâmicos estruturais. É imperativo que esses blocos atinjam os requisitos mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 15270-1/2017, com uma resistência inicial considerada a partir de 3,0 MPa, referida à área bruta (Mohamad, 2018). Esse critério é crucial para assegurar a integridade e a segurança da alvenaria estrutural.

3.3.1 Modulação

A NBR 15270-2 (Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos) apresenta as dimensões nominais recomendadas para o uso dos blocos em construções. Segundo a norma, dentre eles, os blocos cerâmicos trazem algumas definições, os blocos cerâmicos estruturais de paredes vazadas, que são componentes da alvenaria estrutural e podem ser empregados na alvenaria estrutural não armada, armada e protendida.

A escolha do tipo de bloco a ser utilizado deve levar em consideração não só a modulação, mas também a disponibilidade no mercado, o custo e as características de trabalhabilidade no canteiro de obras. (Siqueira et al.; 2012).

De acordo com a ABNT NBR 15270-1/2017, famílias são o conjunto de componentes necessários para a construção das alvenarias e suas amarrações, que tem como característica comum a mesma largura. Segundo a norma, dependendo do tipo de construção, deve-se levar em consideração qual a espessura pode ser utilizada, como especificado na Figura 1.

Figura 1 -Requisitos mínimos conforme a aplicação (Tabela 1 da NBR 15270-1).

Classe	Aplicação				
	Tipo de construção				
	Vedação		Estrutural		
	Geral	Racionalizada	Um único pavimento	Até dois pavimentos	Acima de dois pavimentos
VED	X	X			
EST	X	X	X	X	
Largura mínima do bloco e tijolo	Todas as larguras são aplicáveis. Blocos e tijolos com largura de 70 mm, admitidos, excepcionalmente, somente em funções secundárias (como em shafts ou pequenos enchimentos) e respaldados por projeto com identificação do responsável técnico.		90 mm	115 mm	140 mm

Fonte: ABNT NBR 15270-1 (2017)

As dimensões nominais dos blocos as famílias 9, 11,5, 14 e 19 cm encontram-se indicadas nas Figuras 2 e 3, e a referida norma informa que “o bloco ou tijolo cerâmico deve possuir a forma de um prisma reto.”

Figura 2 - Dimensões nominais de blocos cerâmicos estruturais e vedação para alvenaria racionalizada 9 cm – EST. (Tabela 4 da NBR 15270-1)

Dimensões modulares $L \times H \times C$ Módulo dimensional $M = 10 \text{ cm}$	Dimensões nominais cm					
	Largura L	Altura H	Comprimento C			
			Bloco principal	1/2 Bloco	Bloco L amarração	Bloco T amarração
$M \times (5/4) \text{ } M \times (5/2) \text{ } M$	9,0	11,5	24	11,5	–	34,0
$M \times (2) \text{ } M \times (5/2) \text{ } M$		19	24	11,5	–	34,0
$M \times (2) \text{ } M \times (3) \text{ } M$			29	14	24,0	39,0
$M \times (2) \text{ } M \times (4) \text{ } M$			39	19	29,0	49,0
			59	29	–	–

Fonte: ABNT NBR 15270-1 (2017)

Figura 3 - Dimensões nominais de blocos cerâmicos estruturais e vedação para alvenaria racionalizada dos demais blocos – EST. (Tabela 4 da NBR 15270-1)

Dimensões modulares $L \times H \times C$ Módulo dimensional $M = 10 \text{ cm}$	Dimensões nominais cm					
	Largura L	Altura H	Comprimento C			
			Bloco principal	1/2 Bloco	Bloco L amarração	Bloco T amarração
$(5/4) M \times (5/4) M \times (5/2) M$	11,5	11,5	24	11,5	—	36,5
$(5/4) M \times (2) M \times (5/2) M$		19	24	11,5	—	36,5
$(5/4) M \times (2) M \times (3) M$			29	14	26,5	41,5
$(5/4) M \times (2) M \times (4) M$			39	19	31,5	51,5
			59	29	—	—
$(3/2) M \times (2) M \times (3) M$	14	19	29	14	—	44
$(3/2) M \times (2) M \times (4) M$			39	19	34	54
			59	29	—	—
$(2) M \times (2) M \times (3) M$	19	19	29	14	34	49
$(2) M \times (2) M \times (4) M$			39	19	—	59
			59	29	—	—

Legenda

Bloco L é o bloco para amarração em paredes em L

Bloco T é o bloco para amarração em paredes em T

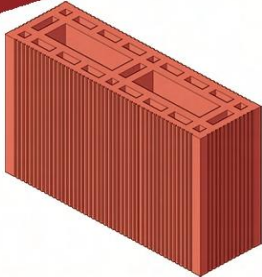
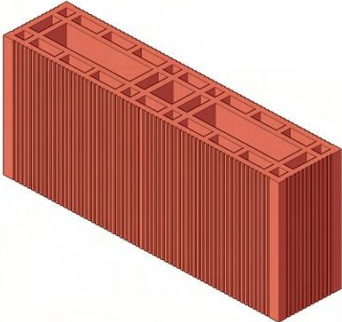
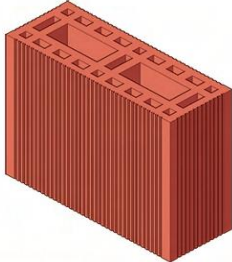
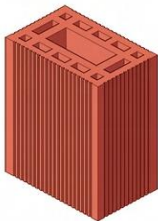
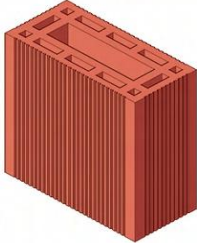
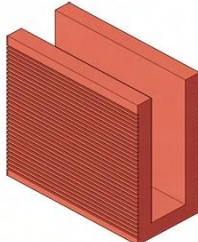
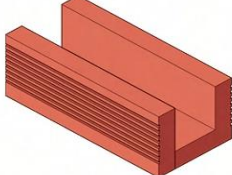
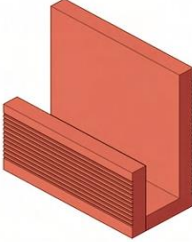
NOTA 1 Os blocos com largura de 7,0 cm e altura de 19 cm são admitidos, excepcionalmente, somente em funções secundárias (como em *shafts* ou pequenos enchimentos) e respaldados por projeto com identificação do responsável técnico.

NOTA 2 Dimensões nominais ou de fabricação diferentes das anteriores podem ser criadas, respeitando a dimensão modular igual a um dos valores indicados somados a 1 cm.

Fonte: ABNT NBR 15270-1 (2017)

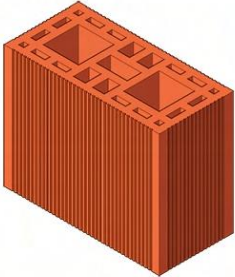
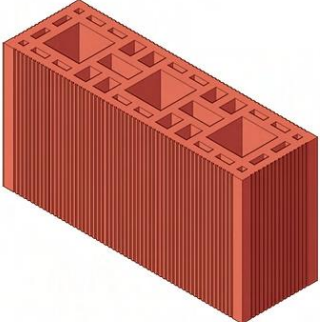
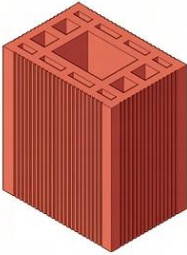
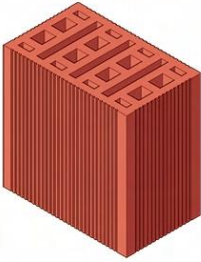
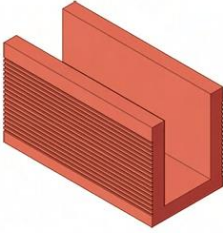
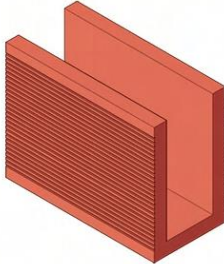
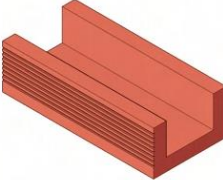
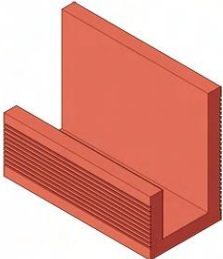
A Figuras 4, 5 e 6 mostram imagens de blocos cerâmicos e dimensões comuns em fábricas brasileiras.

Figura 4 - Blocos cerâmicos vazados estruturais de 9 cm.

					
					
					
(1.1) - BLOCO ESTRUTURAL - PRINCIPAL 9X19X29			(1.2) B.E. - AMARRAÇÃO T 9X19X39		
PESO/PEÇA		4,6 KG	RENDIMENTO		16,66 UND/M ²
PESO/PEÇA		5,5 KG	RENDIMENTO		12,5 UND/M ²
PESO/PEÇA		3,7 KG	RENDIMENTO		20 UND/M ²
					
(1.4) B.E. - MEIO BLOCO 9X19X14			(1.5) B.E. - BONECA 9X19X19		
PESO/PEÇA		2,5 KG	RENDIMENTO		33,33 UND/M ²
PESO/PEÇA		3,1 KG	RENDIMENTO		25 UND/M ²
PESO/PEÇA		3,3 KG	RENDIMENTO		26 UND/M ²
					
(1.7) BLOCO CANALETA U 9X19X19			(1.9) BLOCO CANALETA BAIXA 9X7X19		
PESO/PEÇA		3,6 KG	RENDIMENTO		5 UND/M
PESO/PEÇA		3,6 KG	RENDIMENTO		5 UND/M
PESO/PEÇA		3,7 KG	RENDIMENTO		5 UND/M
					
(1.10) BLOCO CANALETA J 9X(7/19)X19					

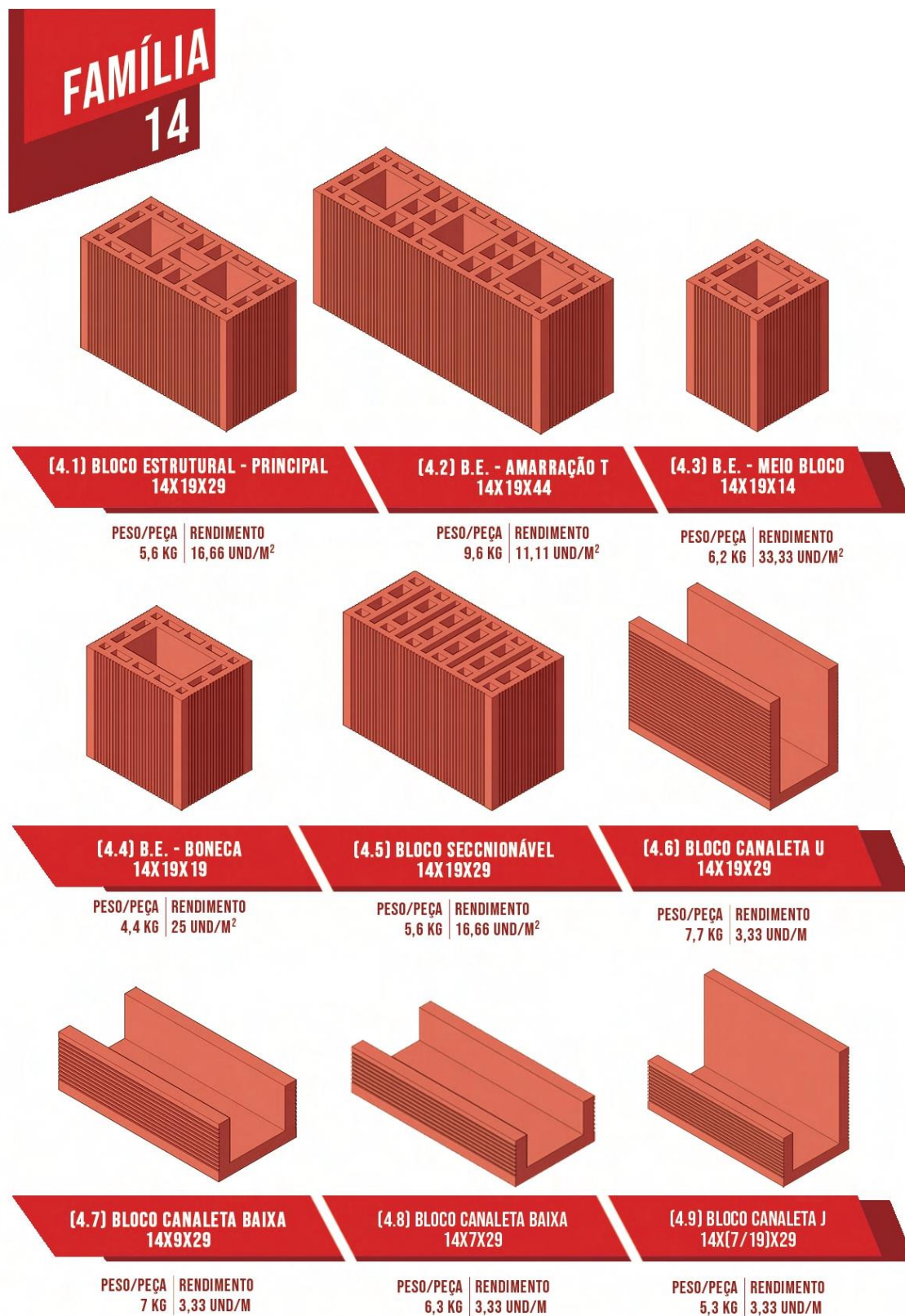
Fonte: Cerâmica do Gato (2023)

Figura 5 - Blocos cerâmicos vazados estruturais de 11,5 cm.

FAMÍLIA 11,5		
		
(3.1) BLOCO ESTRUTURAL - PRINCIPAL 11,5X19X24	(3.2) B.E. - AMARRAÇÃO T 11,5X19X36,5	(3.3) B.E. - MEIO BLOCO 11,5X19X11,5
PESO/PEÇA RENDIMENTO 4,6 KG 20 UND/M ²	PESO/PEÇA RENDIMENTO 6,75 KG 13,33 UND/M ²	PESO/PEÇA RENDIMENTO 4,15 KG 40 UND/M ²
		
(3.4) B.E. - BONECA 11,5X19X16,5	(3.5) B.E. - SECCIONÁVEL 11,5X19X19	(3.6) BLOCO CANALETA BAIXA 11,5X14X24
PESO/PEÇA RENDIMENTO 3,3 KG 16,66 UND/M ²	PESO/PEÇA RENDIMENTO 4,9 KG 20 UND/M ²	PESO/PEÇA RENDIMENTO 3,5 KG 4 UND/M
		
(3.7) BLOCO CANALETA U 11,5X19X24	(3.8) BLOCO CANALETA BAIXA 11,5X7X24	(3.9) BLOCO CANALETA J 11,5X(7/19)X24
PESO/PEÇA RENDIMENTO 3,7 KG 4 UND/M	PESO/PEÇA RENDIMENTO 3,5 KG 4 UND/M	PESO/PEÇA RENDIMENTO 3,5 KG 4 UND/M

Fonte: Cerâmica do Gato (2023)

Figura 6 - Blocos cerâmicos vazados estruturais de 14 cm.



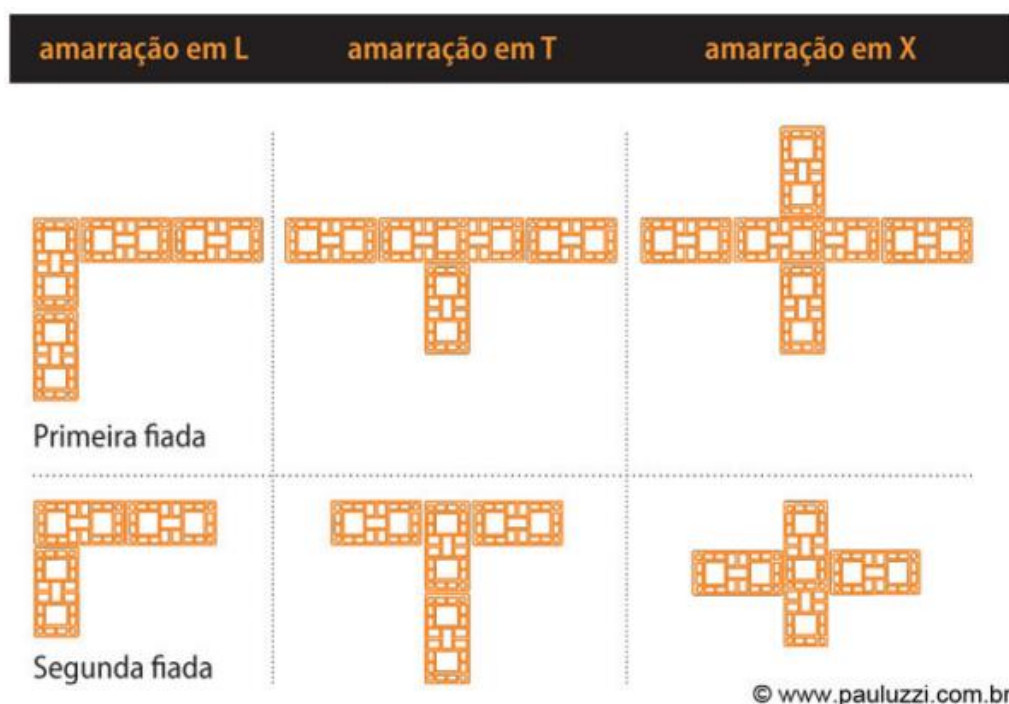
Fonte: Cerâmica do Gato (2023)

3.3.1.1 Amarrações

No projeto de execução da alvenaria é indispensável que se entenda o tipo de amarração das paredes. Na amarração direta, os blocos se entrelaçam na parede, metade deles entrando meio a meio na parede ao lado. Já na amarração indireta, usa-se barras, telas ou peças pra deixar a parede mais firme. É ideal que os blocos tenham um tamanho que seja um múltiplo da espessura, assim evita o uso de sistemas especial e facilita a amarração.

Na modulação existem três tipos de amarrações, sendo elas a amarração “L”, “T” e “X” ou em cruz (Figura 7). Esses tipos podem variar de acordo com os encontros de paredes. É importante obedecer a essas amarrações, para que não causem juntas prumo e que o sistema de carga seja dividido uniformemente para todos os blocos, evitando fissuras, tricas ou rachaduras.

Figura 7 - Tipos de amarração de paredes



Fonte: Pauluzzi (2020)

Na amarração “L” a parede que sai na extremidade do canto precisa ser alternada na primeira e segunda fiada, ou seja, se na primeira fiada é a parede horizontal que sai da extremidade, na segunda fiada é a parede vertical quem deve

sair. Já na amarração “T”, é necessário que na primeira fiada o bloco de amarração “T” fique com o furo do meio posicionado onde sairá a parede vertical, e na segunda fiada o bloco que está na vertical suba para encaixar na parede horizontal. E na amarração “X” ou cruz, também é utilizado o bloco de amarração “T”, onde na primeira fiada ele ficará na horizontal e na segunda fiada na vertical, ou vice-versa.

3.3.2 Dimensionamento

3.3.2.1 Esbeltez

Conforme a NBR 16868-1:2020, o índice de esbeltez é calculado ao dividir a altura efetiva da parede ou pilar pela espessura correspondente. A norma estabelece limites específicos para esse índice, fixando valores máximos de 24 para elementos não armados e 30 para elementos armados. A relação é clara: à medida que o índice de esbeltez aumenta, a resistência à compressão diminui, conforme determinado pelo coeficiente redutor de esbeltez.

3.3.2.2 Compressão simples

Para blocos de alvenaria com 190 mm de altura e 10 mm de junta de argamassa, a norma NBR 16868-1:2020 permite que a resistência à compressão da parede (f_k) seja determinada como 70% da resistência característica de prisma (f_{pk}). No caso de tijolos, essa resistência pode ser estimada como 60%. A NBR 16868-3:2020 estabelece o método de ensaio para prismas, no qual cada corpo de prova é um prisma oco ou cheio. No contexto da construção, dois blocos são sobrepostos com uma junta de assentamento. Para tijolos, o método requer quatro tijolos sobrepostos com três juntas de assentamento, sendo eles íntegros e sem defeitos.

A Figura 8 apresenta valores de referência de acordo com a NBR 16868-1:2020 para especificações dos materiais (argamassa e graute) e também quanto a resistência dos prismas ocos e grauteados em blocos cerâmicos e de concreto.

Figura 8 - Recomendação dos materiais da alvenaria estrutural

Tipo de bloco		f_{bk}	f_a	f_{gk}	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk}^*/f_{pk}	f_{pk}	f_{pk}^*	Espessura mínima de parede do bloco mm
		MPa					MPa		
Bloco vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14 × 39 cm)		3,0	4,0	15,0	0,80	2,00	2,4	4,8	25
		4,0	4,0	15,0	0,80	2,00	3,2	6,4	25
		6,0	6,0	15,0	0,75	1,75	4,5	7,9	25
		8,0	6,0	20,0	0,75	1,75	6,0	10,5	25
		10,0	8,0	20,0	0,70	1,75	7,0	12,3	25
		12,0	8,0	25,0	0,70	1,60	8,4	13,4	25
		14,0	12,0	25,0	0,70	1,60	9,8	15,7	25
		16,0	12,0	30,0	0,65	1,60	10,4	16,6	25
		18,0	14,0	30,0	0,65	1,60	11,7	18,7	25
		20,0	14,0	35,0	0,60	1,60	12,0	19,2	25
		22,0	18,0	35,0	0,55	1,60	12,1	19,4	25
		24,0	18,0	40,0	0,55	1,60	13,2	21,1	25
Bloco cerâmico de parede vazada, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 × 29 cm)		4,0	4,0	15,0	0,50	1,60	2,0	3,2	8
		6,0	6,0	15,0	0,50	1,60	3,0	4,8	8
		8,0	6,0	20,0	0,50	1,60	4,0	6,4	8
		10,0	8,0	25,0	0,45	1,60	4,5	7,2	8
		12,0	8,0	25,0	0,45	1,60	5,4	8,6	8
Bloco cerâmico de parede maciça, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 × 29 cm)		10,0	8,0	20,0	0,60	1,60	6,0	9,6	22
		14,0	12,0	25,0	0,60	1,60	8,4	13,4	25
		18,0	15,0	30,0	0,60	1,60	10,8	17,3	30

f_{pk}^* = resistência de prisma cheio.

f_{pk}^* = resistência de prisma cheio.

Fonte: NBR 16868-1 (2020)

3.3.2.3 Flexão Simples

Segundo Reboredo (2013) a NBR 15961-1:2011 trouxe uma mudança muito grande no dimensionamento a flexão em relação à norma antiga, visto que a verificação de segurança outrora baseada em tensões admissíveis agora é definida através de estados limites. A flexão simples geralmente acontece em vigas, vergas, muros (em função do vento), muros de arrimo e paredes de reservatórios pouco comprimidas.

3.3.2.4 Cisalhamento

Segundo Reboredo (2013) para a verificação do cisalhamento na interface de paredes amarradas de forma direta, deve-se considerar um valor de f_{vk} igual a 0,35 MPa. Já para elementos de alvenaria sujeitos a flexão e/ou quando houver armaduras perpendiculares ao plano de cisalhamento e devidamente envolvidas por graute.

3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Assim como em qualquer modelo construtivo, a alvenaria estrutural apresenta suas vantagens e desvantagens, sendo crucial avaliar sua aplicação de acordo com as necessidades específicas. Entre as vantagens destacadas por Tauil (2010), destaca-se a otimização no canteiro de obras em termos de organização, a redução do consumo de materiais como madeira, concreto e aço, e o aumento na velocidade de construção em comparação com modelos convencionais de pilares, lajes e vigas. Adicionalmente, observa-se a diminuição na quantidade de operários necessários para carpintaria e armaduras, resultando em economia nos gastos com revestimentos e redução de desperdícios devido ao controle de execução proporcionado pela alvenaria (Da Costa, 2011).

No entanto, as desvantagens da alvenaria estrutural estão relacionadas às limitações de forma e medidas dos blocos estruturais, o que impacta diretamente na concepção arquitetônica desejada (Ramalho; Corrêa, 2003). De acordo com Da Costa (2011), o projeto arquitetônico é diretamente afetado pelo sistema, uma vez que vãos, dimensões e arranjos arquitetônicos são influenciados pela modulação dos blocos. A impossibilidade de realizar furos nessas paredes sem um controle cuidadoso também condiciona os projetos de instalações elétricas e hidráulicas. Além disso, a alvenaria estrutural exige mão de obra treinada para o uso de instrumentos específicos para sua execução.

Um ponto crítico a ser considerado é a impossibilidade de alterar a localização das paredes, o que implica em uma restrição significativa à liberdade de projeto e potencial privação futura. Em casos de demolição necessária de uma parede, é essencial a solicitação de uma análise por um profissional de engenharia, pois há o risco de desmoronamento, o que poderia comprometer a integridade estrutural como um todo (Taiul, 2010)

Conforme evidenciado por Kalil (2007), as vantagens da alvenaria estrutural, em especial com uso do bloco cerâmico, são multifacetadas, abrangendo aspectos cruciais na construção:

- Economia no uso de madeiras para formas: A utilização de blocos estruturais resulta em economia significativa no emprego de madeiras para a confecção de formas, otimizando recursos tradicionalmente utilizados nesse processo;

- Redução no consumo de concreto e ferragens: O bloco cerâmico destaca-se pela eficácia na minimização do consumo de concreto e ferragens, promovendo uma abordagem mais sustentável e eficiente;
- Diminuição na demanda de mão de obra em carpintaria e ferragem: A utilização de blocos estruturais implica em uma redução expressiva na necessidade de mão de obra especializada em carpintaria e na aplicação de ferragens, contribuindo para a eficiência operacional;
- Menor peso em comparação ao bloco de concreto: A leveza característica do bloco cerâmico facilita significativamente o manuseio e transporte, proporcionando maior agilidade durante o processo construtivo;
- Maior trabalhabilidade: A adaptabilidade e facilidade de manuseio do bloco cerâmico conferem uma maior trabalhabilidade, simplificando as etapas construtivas;
- Facilidade no treinamento de mão de obra qualificada: A simplicidade de uso do bloco estrutural torna o treinamento de mão de obra qualificada mais acessível, resultando em uma aplicação mais precisa e eficiente.
- Projetos mais fáceis de detalhar: A versatilidade inerente a alvenaria estrutural facilita o processo de detalhamento em projetos, proporcionando flexibilidade e clareza na concepção e execução das estruturas.

Além dessas vantagens, também são destacadas outras características positivas do bloco cerâmico, como maior rapidez e facilidade de construção, ótima resistência ao fogo, excelentes propriedades de isolamento termo acústico e flexibilidade arquitetônica devido às pequenas dimensões do bloco.

Por outro lado, as desvantagens do sistema, conforme apontadas por Kalil (2007), incluem:

- Impossibilidade de remoção das paredes portantes sem substituição por outro elemento equivalente;
- Limitações na realização de modificações na disposição arquitetônica original;
- Restrições no projeto arquitetônico;
- Vãos livres limitados;
- Necessidade de juntas de controle e dilatação a cada 15 metros;

Estas desvantagens ressaltam a importância de considerar cuidadosamente as implicações do uso da alvenaria estrutural, especialmente no que diz respeito à flexibilidade arquitetônica.

4 METODOLOGIA

O presente estudo adota uma abordagem de estudo de caso centrada no projeto “Casas do Cabugi” e em sua região de implementação. A concepção do projeto teve origem na busca por indústrias locais especializadas na produção de blocos destinados à alvenaria estrutural.

4.1 PROJETO CASAS DO CABUGI

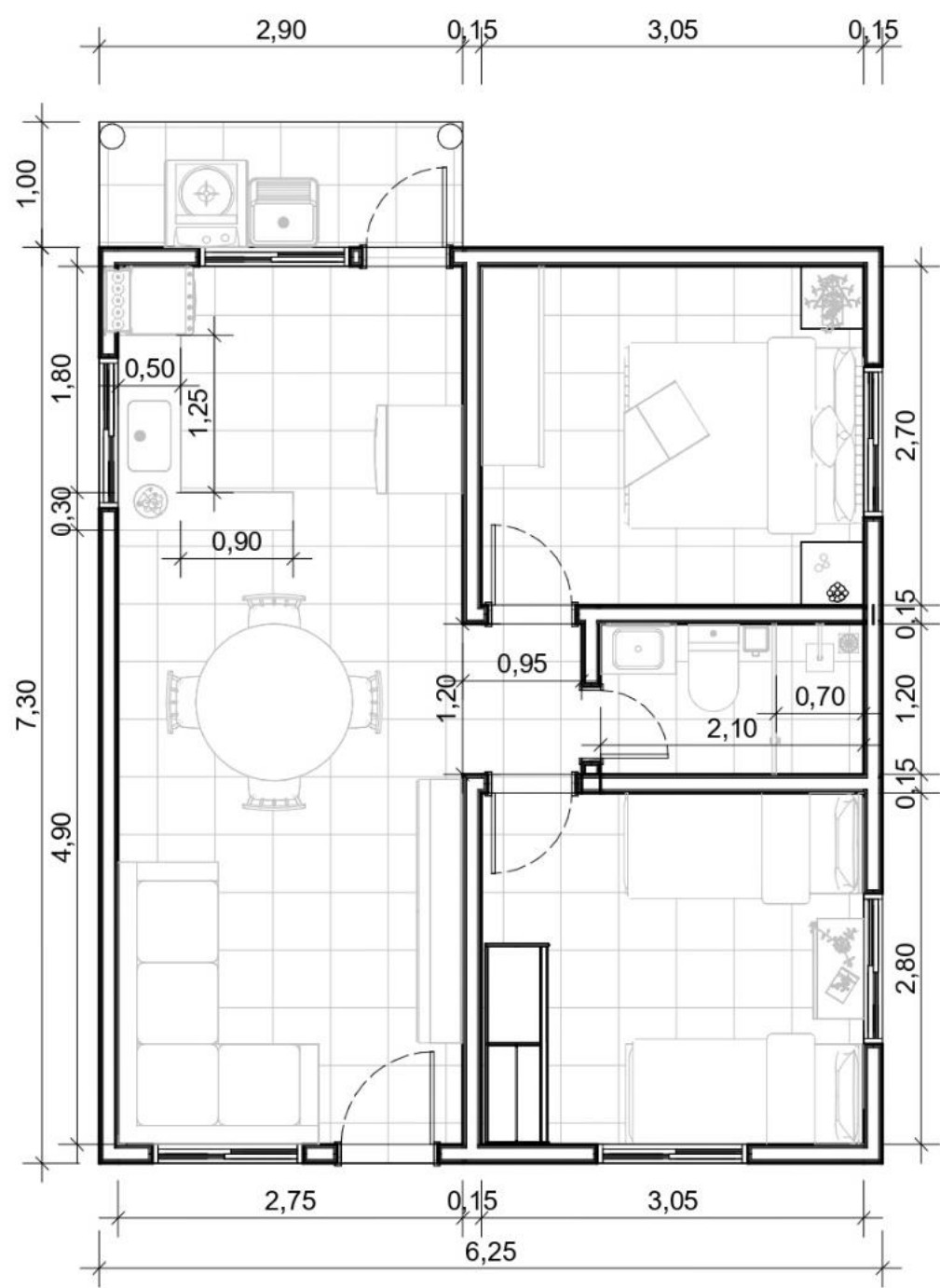
O projeto “Casas do Cabugi” foi desenvolvido por alunos do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA), que fazem parte da Empresa Junior Consolida Engenharia.

O referido projeto busca entregar uma proposta que possa se enquadrar em programas de habitação, sendo construída com financiamento próprio ou por meio de programas de financiamento público. O objetivo é desenvolver uma casa que não apenas atenda às necessidades habitacionais, mas que também incorpore práticas sustentáveis, contribuindo para a eficiência energética, redução de impactos ambientais e promoção de um ambiente mais saudável para os moradores.

A área que o projeto busca atender está localizada na cidade de Angicos/RN, que está situada na região central do estado. Sua economia é baseada em atividades agrícolas, pecuárias e comerciais, e, de acordo com o último Censo Demográfico, realizado pelo IBGE em 2022, o município possui 11.632 habitantes.

O projeto original elaborado caracteriza-se pela utilização de tijolos cerâmicos, baseados na construção convencional. O projeto é uma residência de 42,50 m², com dois quartos, um banheiro, uma sala, uma cozinha e uma área de serviço, conforme observa-se na Figura 9.

Figura 9 - Projeto arquitetônico Casas do Cabugi.



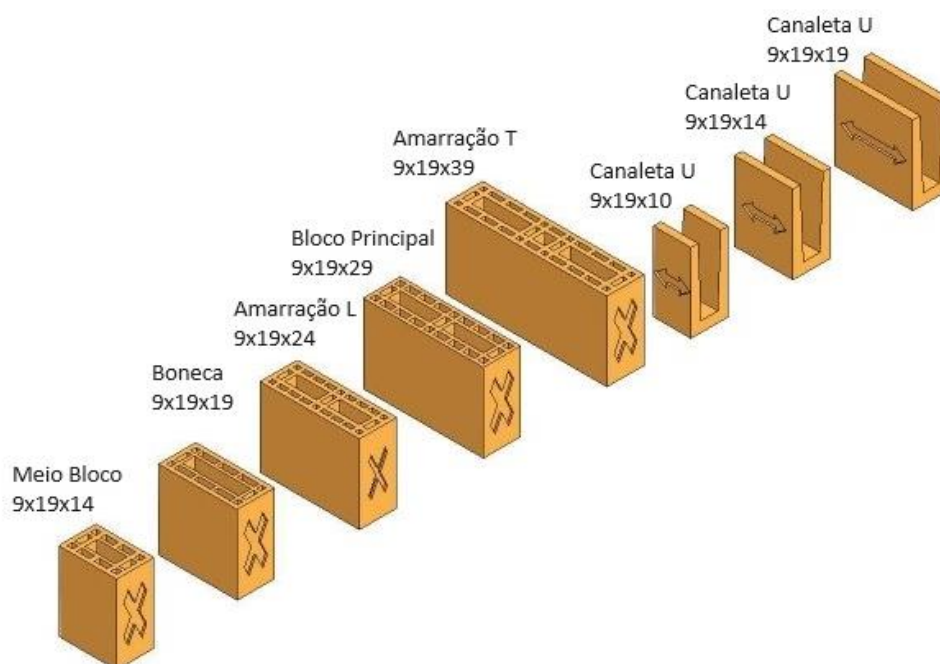
Fonte: Empresa Junior Consolida Engenharia (2023)

4.2 SELEÇÃO E MODULAÇÃO DOS BLOCOS

Conforme revelado pela pesquisa, a indústria Cerâmica do Gato, destacou-se pela produção de diversas famílias de blocos estruturais cerâmicos, incluindo as famílias de blocos de 9 cm, 11,5 cm, 14 cm e 19 cm. Diante dessa variedade, a seleção para a modulação recaiu sobre as famílias de 9 cm e 11,5 cm, uma vez que essas atendem plenamente às exigências do projeto, especialmente por se tratar de uma construção de pequeno porte e se aproximarem da largura das paredes, afetando mínimamente a arquitetura do projeto.

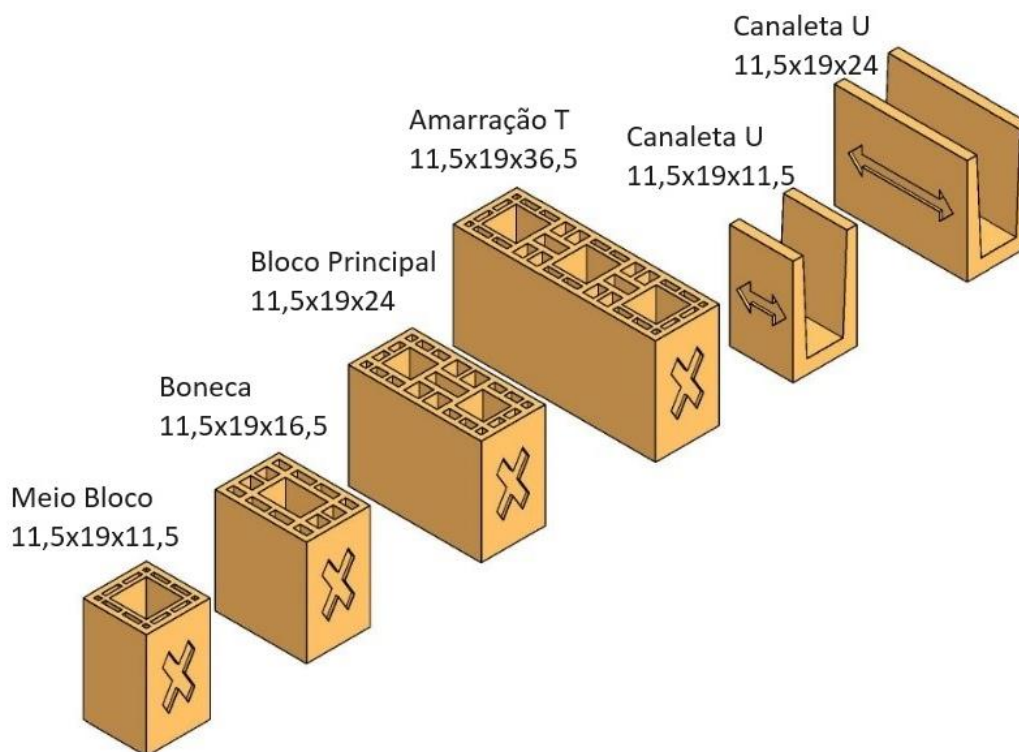
Com base na escolha criteriosa dos blocos, deu-se início ao processo de modulação por meio do *software Revit*. No primeiro momento, foi exigida a criação das famílias dos blocos escolhidos, definindo os parâmetros geométricos, como altura, largura e comprimento, levando em consideração as dimensões dos blocos disponíveis na indústria cerâmica local. Foram feitas hachuras nos topos dos blocos para diferenciar a visualização. Nas Figuras 10 e 11 são apresentados alguns exemplos dos blocos criados, evidenciando a meticulosidade empregada nesse procedimento.

Figura 10 - Família de 9 cm criada no Revit



Fonte: Autor (2024)

Figura 11 - Família de 11,5 cm criada no Revit



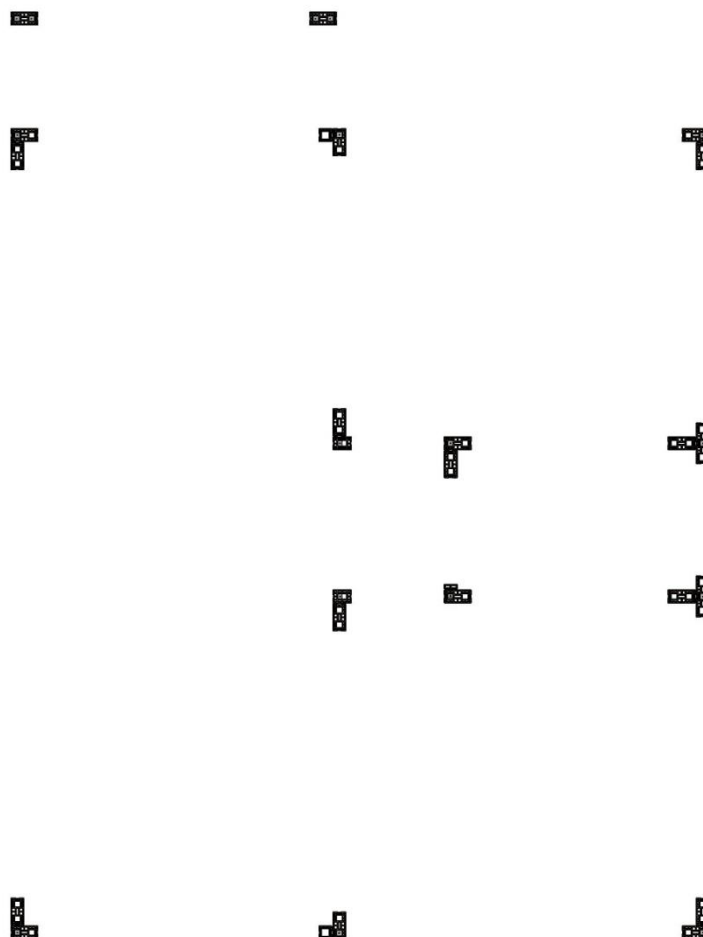
Fonte: Autor (2024)

Partindo para a modulação propriamente dita, o projeto foi modulado tanto com a família de 9 cm, quanto com a de 11,5 cm de forma perfeita ou quase perfeita, pois tentou-se ao máximo não usar espaçadores ou arranjos técnicos que pudessem afetar a padronização das dimensões em função do módulo (10 cm e 12,5 cm). Com isso, foi necessário que houvesse um rearranjo das dimensões dos cômodos, mas sempre obedecendo as áreas mínimas determinadas nas normas.

Tanto na modulação com a família de 9 cm quanto na de 11,5 cm, o processo se inicia com a primeira fiada, tendo como ponto de partida as extremidades da planta baixa do projeto arquitetônico, como ilustra a Figura 12. Nessas extremidades, foram realizadas amarrações do tipo “L”. Na modulação com a família de 9 cm, utilizou-se o bloco de amarração “L”, enquanto na modulação com a família de 11,5 cm empregou-se o bloco do tipo principal. Posteriormente, foram efetuadas outras amarrações, agora do tipo “T”, nas paredes do banheiro. Nessa amarração específica, o bloco de amarração “T” foi posicionado na vertical da parede lateral direita, sendo que no projeto existem apenas duas desse tipo. Após essas amarrações, a fiada foi

preenchida com blocos principais, com distância entre eles de 1 cm, que é o espaço utilizado para as juntas de argamassa.

Figura 12 - Início da modulação



Fonte: Autor (2024)

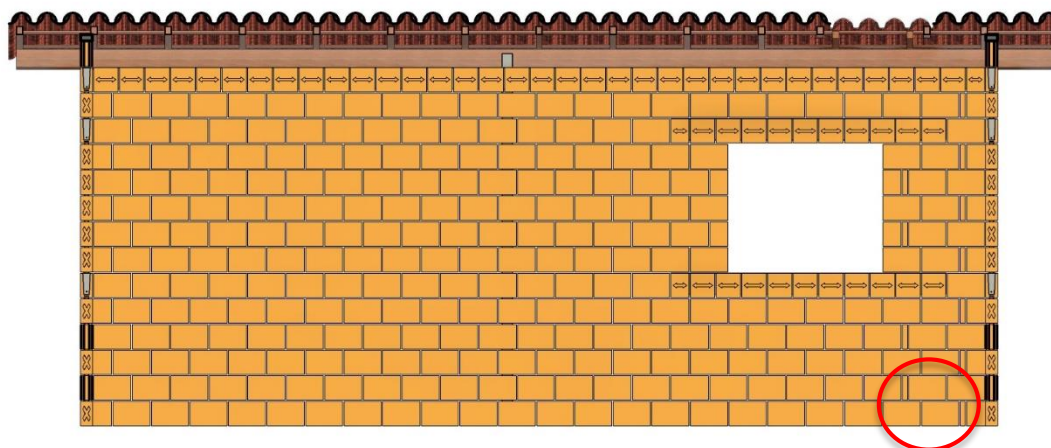
No que diz respeito às aberturas, foi necessário utilizar amarrações do tipo “L” para a criação das bonecas das portas. Adicionalmente, foi preciso deixar uma abertura um pouco maior para as portas do que as medidas previstas no projeto. Essa margem adicional foi realizada para garantir espaço suficiente durante a execução, permitindo a instalação adequada da caixa de porta em seus tamanhos ideais.

O processo continuou na segunda fiada, começando novamente pelas extremidades, mas desta vez alterando a orientação dos blocos. Enquanto na primeira fiada a parede horizontal estava saindo da extremidade, na segunda fiada é a parede vertical que sai, ou vice-versa.

Após a conclusão das duas primeiras fiadas, devidamente amarradas e preenchidas com blocos principais, com uma exceção na modulação de 9 cm, que

tanto na primeira fiada quanto na segunda, a parede lateral esquerda não foi completada apenas com blocos principais, pois faltou 5 cm para preenche-la, e em virtude disso foi necessário utilizar um espaçador de 4 cm, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Parede com espaçador



Fonte: Autor (2024)

Em seguida procedeu-se à cópia e colagem das fiadas de maneira que as ímpares replicam a primeira e as pares repetem a segunda. Elevou-se inicialmente quatorze fiadas, mantendo uma distância de 1 cm para junta de argamassa entre elas, resultando em um pé direito total de 2,80 m no projeto.

Na sexta fiada, onde se encontram as contravergas de janelas, efetuou-se a substituição dos blocos principais por canaletas “U”. Na modulação com a família de 9 cm, essas canaletas apresentam dimensões 10 cm menores que os blocos principais, sendo necessário, por vezes, efetuar cortes em unidades adicionais para ajustá-las a 14 cm e 10 cm de comprimento. Com o intuito de proteger as janelas contra as ações das cargas, estendeu-se as contravergas em, aproximadamente, 30 cm em cada extremidade. Na sétima, oitava, nona e décima, nos locais das janelas, realizou-se a remoção dos blocos para criar as aberturas, sendo os espaços não alinhados preenchidos com meio bloco.

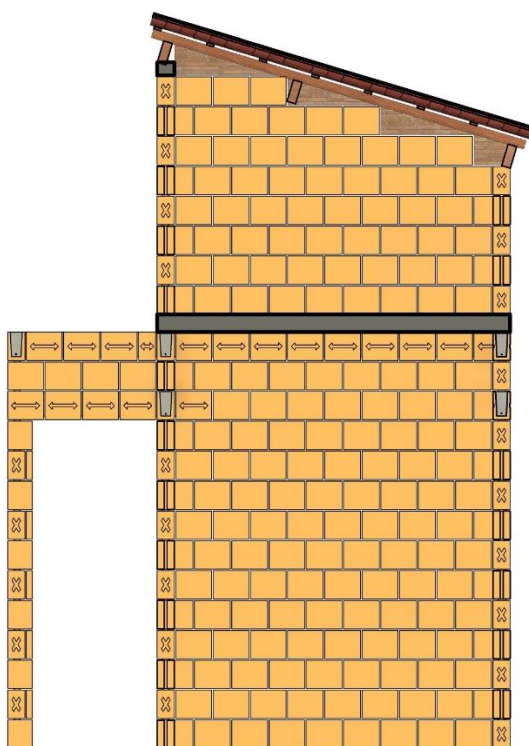
A décima segunda fiada também inclui a substituição dos blocos por canaletas do tipo “U” nas áreas das janelas e portas, sendo preenchidas por grautes e barras de aço com diâmetro de 8 mm, configurando-se como vergas. Na décima terceira fiada, os espaços abertos são preenchidos com blocos principais. Já na décima quarta fiada, ocorre a substituição integral por canaletas “U”, preenchendo toda a área com graute e ferragens, desempenhando o papel da cinta de amarração.

Praticamente concluída a elevação das paredes, foram feitos os preenchimentos dos pontos de amarrações e aberturas de portas com grautes e ferragens, os quais se ajustam em altura de acordo com cada elevação de parede.

Foi indispensável a execução de uma laje pré-dimensionada em concreto armado com espessura de 12 cm no banheiro, a fim de suportar o peso da caixa d'água. Foi considerado um reservatório de 500 litros, respeitando o volume mínimo para uma residência unifamiliar, estabelecido pela Portaria MCID nº 725, de 15 de junho de 2023 que dispõe sobre as especificações urbanísticas, de projeto e de obra de programas habitacionais.

Como mostra na Figura 14, acima da laje, foram adicionadas cinco fiadas completas, equivalendo à altura do pé-direito da caixa, fixando-se em 1 m. Estas fiadas apresentam semelhança com a primeira e segunda fiadas do banheiro, onde o preenchimento da abertura da porta foi realizado por meio da inserção de blocos principais. Devido a inclinação do telhado, foi necessário que em três paredes, houvesse a adição de mais três fiadas.

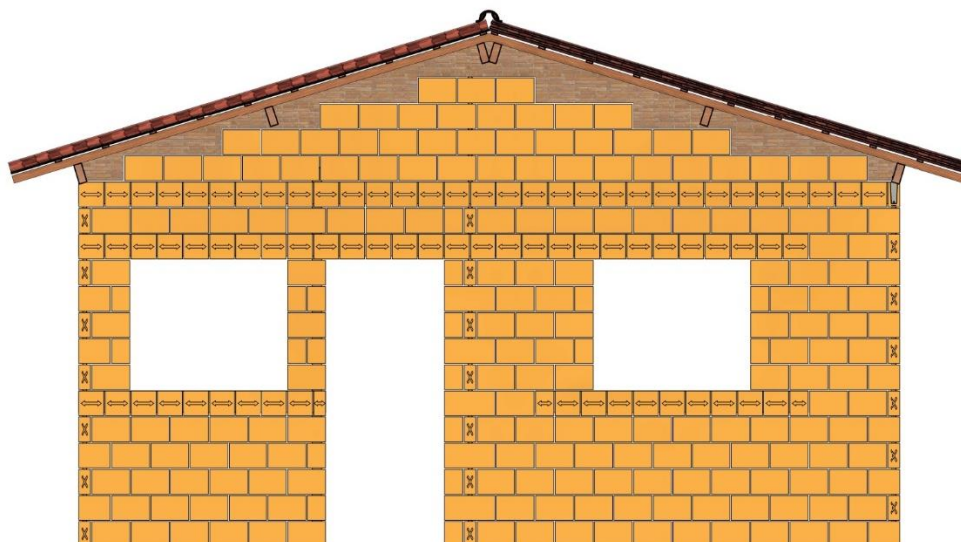
Figura 14 - Fiadas acima da laje



Fonte: Autor (2024)

Após a colocação do telhado de telha colonial, com característica de duas quedas d'água, na parte frontal e traseira da casa precisou subir mais algumas fiadas seguindo a inclinação do telhado. Os locais que ficaram com brechas, tanto nas paredes frontais e traseiras, como nas três paredes de inclinação da caixa d'água tiveram que ser preenchidas com tijolos maciços, como mostra na Figura 15 a seguir.

Figura 15 - Parede frontal



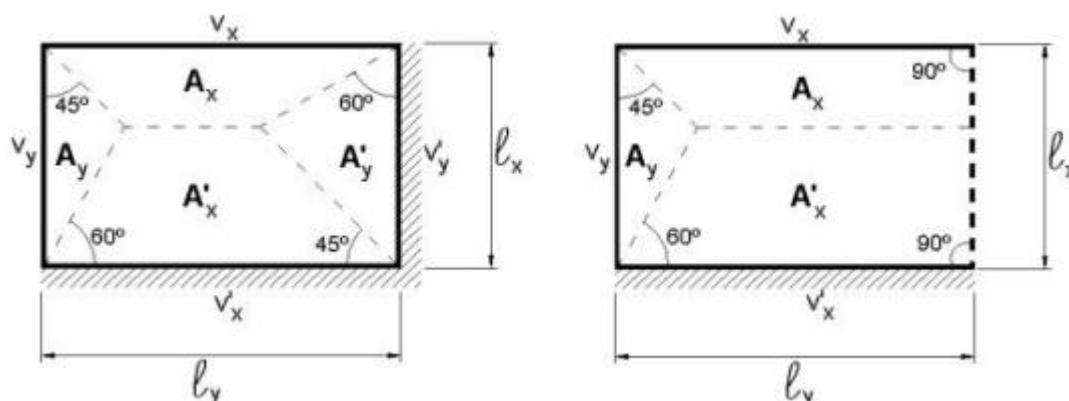
Fonte: Autor (2024)

4.3 DIMENSIONAMENTO

Ao fim da modulação e elevação das paredes, iniciou-se o dimensionamento, etapa na qual se calcula a resistência mínima dos blocos e se serão necessários os acréscimos de grautes e armaduras. Neste passo, foi determinado o carregamento vertical atuante nesta residência, e por possuir apenas um pavimento térreo, esta carga sobre as paredes é proveniente apenas do peso próprio das paredes, da laje e do telhado. Neste caso, a única laje é a do banheiro, que por pré-dimensionamento foi determinado que a altura dela seria de 12 cm.

Como as linhas de madeira do telhado se apoiam em todas as paredes, as áreas de influências de carregamentos foram determinadas pelo método das charneiras plásticas. Neste método, as áreas podem ser obtidas por retas inclinadas segundo a NBR 6118:2014: para apoios do mesmo tipo possuirá ângulo de 45° e para apoios diferentes o ângulo de 60° , para o apoio engastado e se a borda vizinha for livre possuirá um ângulo de 90° partindo do apoio, como mostra a representação na Figura 16.

Figura 16 - Áreas de Influência



Fonte: (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2003)

Determinadas as áreas de influências, deu-se início a distribuição dos carregamentos verticais, provenientes do peso próprio da laje, peso da caixa d'água e peso do telhado. O peso da laje e caixa d'água foram adicionados somente nas áreas de influência que formam o banheiro. Já o telhado foi adicionado para todas as áreas.

Levando em consideração que o peso próprio da laje é calculado pelo peso específico vezes a espessura, e multiplicada pelas áreas de influência que recebem sua carga, encontrou-se a carga pontual da laje em cada área. Da mesma forma, ao avaliar o peso da caixa d'água, levou-se em conta tanto o peso da estrutura quanto o da água nela contida, convertendo os valores para kN, dividindo-os pela área total do banheiro e multiplicado pelas respectivas áreas de influência, alcançando assim suas cargas pontuais.

O peso específico do telhado, que de acordo com a NBR 6120:2019 é 0,85 kN/m² para telhado com telhas cerâmicas (tipo germânica e colonial) e estrutura de madeira com inclinação ≤ 40 %, que para chegar ao valor em kN, também foi multiplicado pelas áreas de influência.

A carga total permanente concentrada é calculada através do somatório do peso específico do telhado, peso próprio da laje e da caixa d'água, já calculados pelas áreas de influência. Nessa etapa, também foi considerado o peso próprio da parede, obtida pelo produto da altura da parede, o peso específico do bloco cerâmico vazado de 12 kN/m³, segundo a NBR 16868:2020, e a espessura do bloco de 9 ou 11,5 cm. Quanto a carga accidental, foi adotado uma carga de 0,1 kN/m² no telhado, e uma carga de 1,0 kN/m² nas áreas de laje, de forro acessível para manutenção.

Encontrada a carga permanente e carga acidental, foram separados e distribuídos os carregamentos por paredes, de acordo com seu comprimento. Em seguida, elas foram agrupadas para, então, calcular o f_{pk} , e assim chegar a resistência do bloco que será utilizado.

Primeiramente foi calculado o índice de esbeltez dado pela Equação (1), como determina a NBR 16868-1:2020.

$$\lambda = \frac{h_e}{t_e} \quad (1)$$

λ – índice de esbeltez;

h_e – altura efetiva, adotado 2,8 m;

t_e – espessura efetiva, de acordo a família utilizada.

A NBR 16868-1:2020 traz que, em casos de construções habitacionais térreas, admitem-se paredes não armadas com índice de esbeltez menor ou igual a 30, desde que o coeficiente ponderador da resistência da alvenaria seja considerado como $\gamma_m = 3,0$. Diante do resultado do índice de esbeltez no dimensionamento da modulação de 9 cm ter resultado em um valor aproximado a 30, usou-se $\gamma_m = 3,0$, já na de 11,5 cm utilizou-se o $\gamma_m = 2,0$, já que o seu índice de esbeltez é igual a 24.

A resistência a compressão do prisma na alvenaria estrutural pode ser determinada utilizando a Equação (2). Diante do cálculo, foi adotado, para ambas as famílias, um bloco cerâmico com f_{bk} de 4 MPa, com o qual se chega a um f_{pk} de 2 MPa.

$$f_{pk} \geq \left(\frac{\gamma_m \cdot \gamma_f}{0,7 \cdot R \cdot t_e} \right) \cdot q_k \quad (2)$$

Onde:

f_{pk} – Resistência característica a compressão simples do prisma;

γ_f , γ_m – Coeficiente de ponderação de ações e resistência, 1,4 e 3 respectivamente para família de 9 cm, e 1,4 e 2 para a família de 11,5 cm;

R – Coeficiente redutor devido a esbeltez da parede $R = [1 - (\frac{\lambda}{40})^3]$. Calculado como 0,53 para a família de 9 cm e 0,77 para a família de 11,5 cm.

q_k – carga total distribuída;

t_e – espessura efetiva, 0,09 m para a família de 9 cm e 0,115 m para a família de 11,5 cm.

Para o dimensionamento de flexão e cisalhamento em vergas, adotou o vão efetivo da maior janela, que possui um comprimento de 1,20 m para o projeto com a família de 9 cm e 1,25 para a família de 11,5 cm. Para determinar o comprimento utilizado no cálculo, é preciso levar em consideração duas condições, Equações (3) e (4), devendo-se utilizar o menor valor entre os resultados.

$$L_0 + h \quad (3)$$

$$L_0 + \frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2} \quad (4)$$

Onde:

L_0 – vão livre da abertura;

h – altura do bloco, 19 cm para ambos os casos;

t_1 – comprimento do apoio esquerdo da verga;

t_2 – comprimento do apoio direito da verga.

Para calcular o momento máximo foi utilizado a Equação (5), e depois para achar o momento de cálculo (M_d), o valor encontrado foi multiplicado por γ_f .

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (5)$$

q – carga distribuída;

l – vão efetivo.

Na equação acima, para chegar ao valor da carga distribuída (q), foi necessário dividir a carga total que incide sobre a janela, pelo comprimento do vão efetivo.

O próximo passo foi achar o esforço cortante máximo, que é dado pela Equação (6).

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{q \cdot l}{2} \quad (6)$$

Com o resultado do esforço cortante máximo foi possível montar a equação para encontrar o esforço cortante na distância $d/2$ a partir da face de apoio. Essa distância (x) é dada pela soma da metade do comprimento do apoio e a metade da

altura útil. O resultado da Equação (7), utilizada para descobrir tal esforço cortante, deve ser multiplicado por γ_f , para encontrar o esforço cortante de cálculo (Q_d).

$$Q(x) = Q_{máx} - q \cdot x \quad (7)$$

O cálculo para encontrar a posição da LN (linha neutra) é realizado através da Equação (8). O f_d depende basicamente do valor de f_{pk} grauteado adotado. Caracterizando-se como uma equação de segundo grau, foi extraído o menor valor entre x_1 e x_2 , que são as raízes da equação.

$$-0,32 \cdot f_d \cdot b \cdot x^2 + 0,8 \cdot f_d \cdot b \cdot d \cdot x - M_d = 0 \quad (8)$$

f_d - Resistência de cálculo da parede $f_d = \frac{f_{pk}^* \cdot 0,7}{\gamma_m}$;

b – base da verga;

d – altura útil;

M_d – momento de cálculo;

γ_m – Coeficiente de ponderação de resistência, valor adotado 2,0.

Na verificação do domínio, o β_x calculado deve ser menor que o β_x do domínio 4 (0,63) e do que o β_x de ductibilidade (0,45). Dessa mesma forma o M_d de ductibilidade, calculado através do β_x de ductibilidade, deve ser maior do que o momento de cálculo.

Para obter a armadura de flexão foi necessário encontrar dois valores, a área de aço proveniente do momento de cálculo e a área de aço mínima recomendada, sendo escolhido o maior valor entre elas, encontrados com as Equações (9) e (10).

$$A_s = \frac{M_d}{f_s \cdot (d - 0,4 \cdot x)} \quad (9)$$

$$A_{s_{min}} = \frac{0,15}{100} \cdot b \cdot d \quad (10)$$

f_s - resistência do aço minorada $f_s = \frac{f_{yk}}{1,15}$;

f_{yk} – resistência característica do aço CA – 50.

De acordo com os resultados, foi adotada uma barra de aço com diâmetro de 8.0 mm, pois atende a área de aço calculada, bem como para as outras vergas distribuídas no projeto.

Para descobrir a necessidade de armadura de cisalhamento, foi necessário realizar duas verificações, sendo elas o $f_{vk} \leq 0,7 \text{ Mpa}$ e $T_{vd} \leq f_{vd}$ resolvidas nas Equações (11) e (12).

$$f_{vk} = 0,35 + 17,5 \cdot \rho \quad (11)$$

Nessa primeira verificação, o resultado depende de " ρ " que se dá através da fração da área de armadura de flexão sobre o produto da base e altura útil. Caso o valor de f_{vk} seja menor que 0,7 Mpa, deve-se utilizar o valor encontrado, caso contrário, utilizar o 0,7 na próxima verificação (Equação 12).

$$\frac{Q_d}{b \cdot d} \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \quad (12)$$

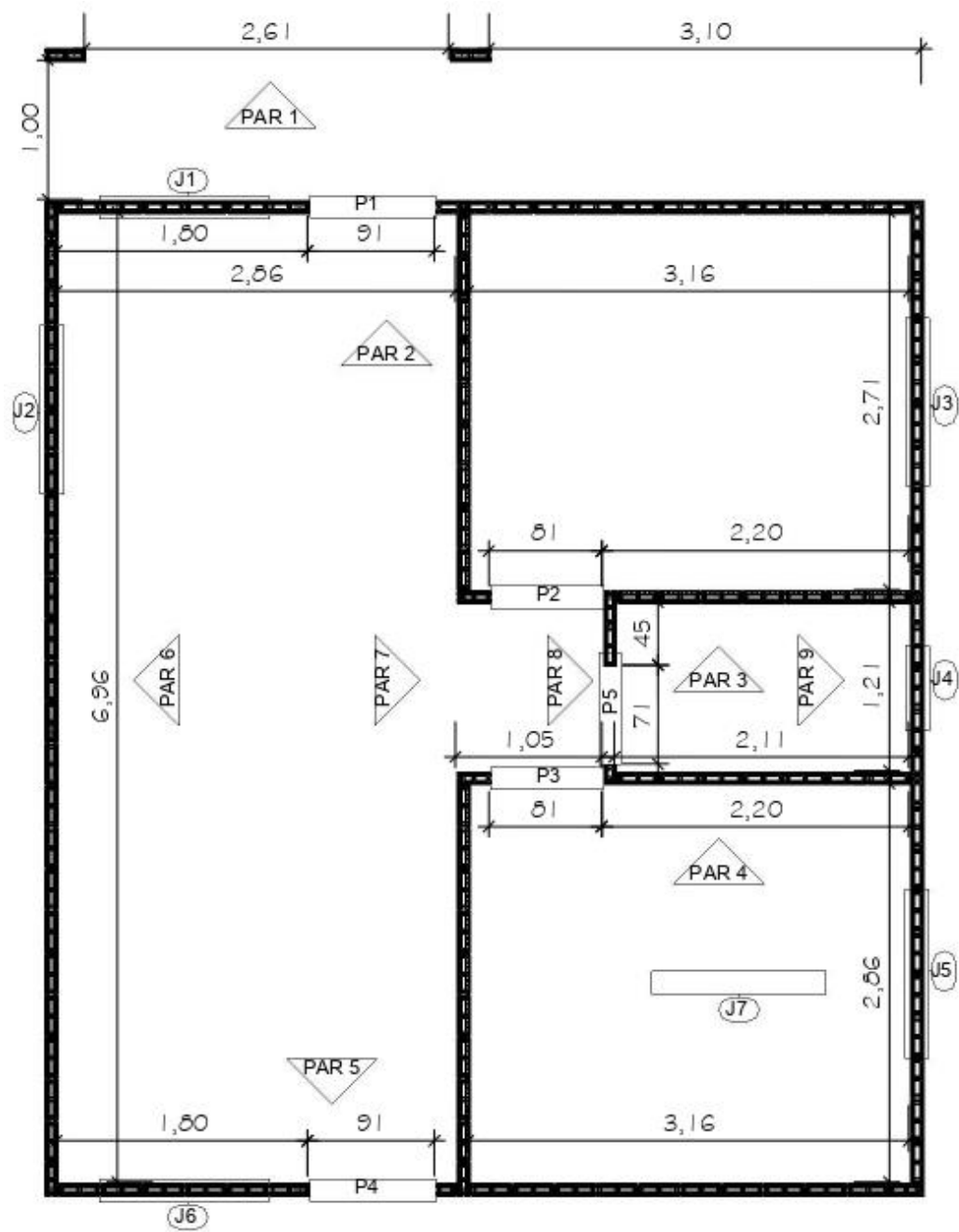
Sendo assim, caso essa consideração seja verdadeira, significa que não precisa de armaduras. Como os resultados da primeira parcela da equação acima foram menores em relação a segunda, não foi necessário armaduras de cisalhamento em todas as situações do projeto.

5. RESULTADOS

5.1 MODULAÇÃO E PAGINAÇÃO

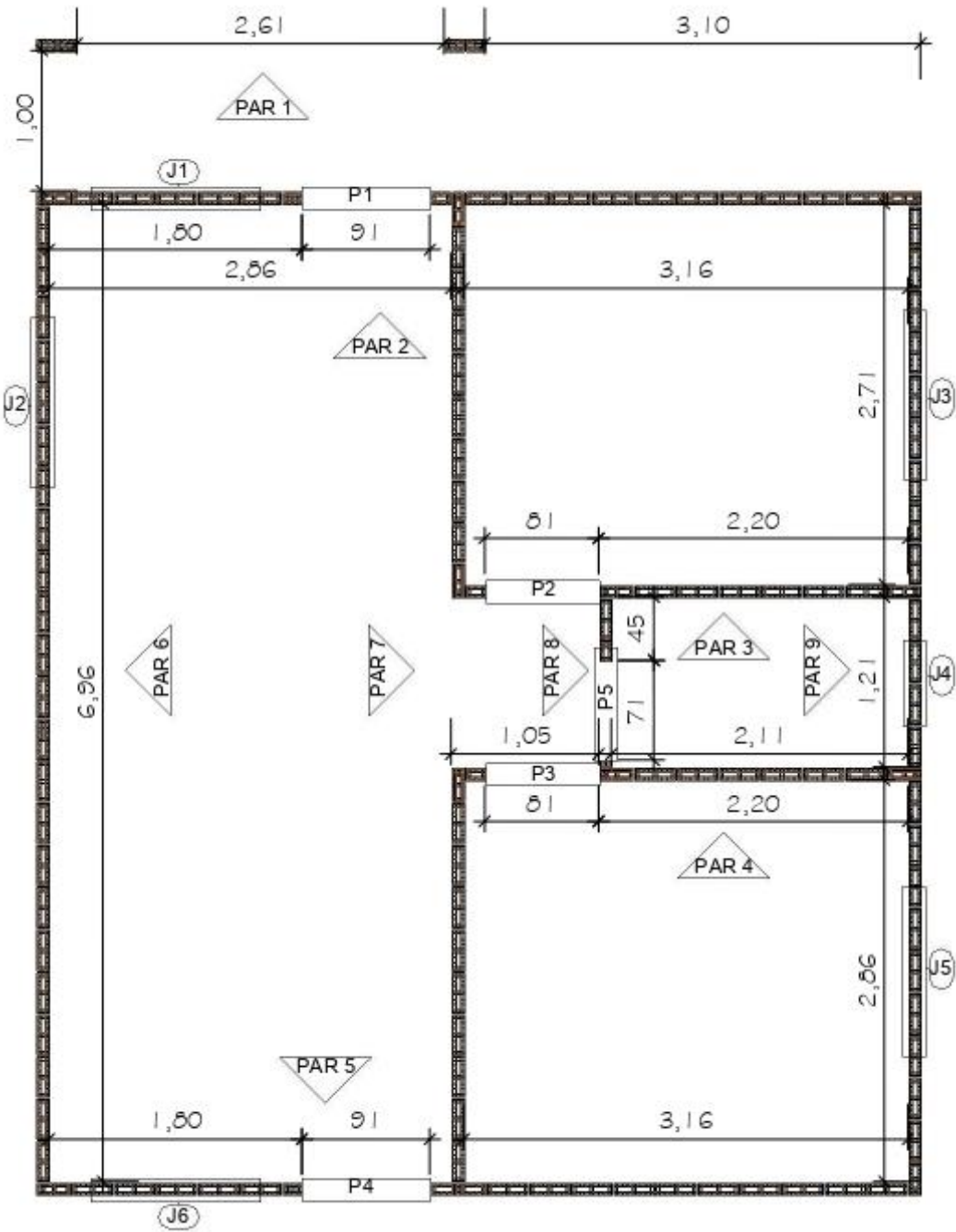
Foi realizado a modulação, conforme ilustrado nas Figura 17 e 18 juntamente com um exemplo de corte na Figura 19, da planta utilizando blocos cerâmicos de parede vazada da família 9 cm. Considerando as medidas LxCxA em centímetros, foram utilizados o bloco inteiro 9x19x29, meio bloco 9x19x14, canaleta 9x19x19, amarração em T 9x19x39, amarração em L 9x19x24, bloco boneca 9x19x19 e junta de argamassa de 1 cm entre os blocos. Em consequência da utilização do mínimo de espaçadores possíveis, a área da residência foi alterada de 42,50 m² para 44,52 m². Mais detalhes das plantas de fiadas e elevações para a família de 9 cm podem ser vistos no APÊNDICE A.

Figura 17 - Primeira fiada para a família de 9 cm



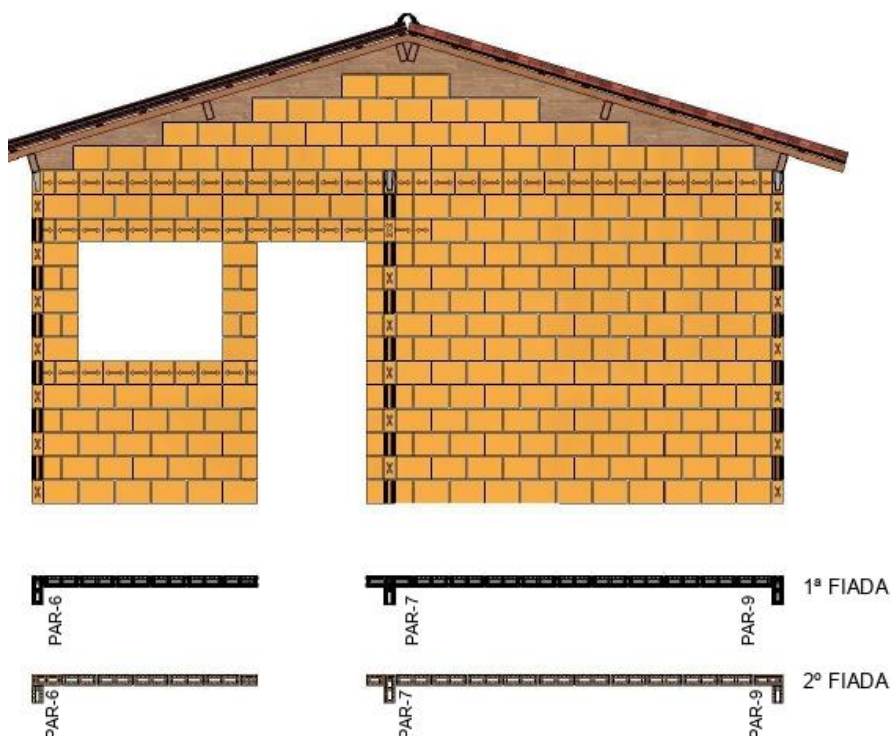
Fonte: Autor (2024)

Figura 18 - Segunda fiada para a família de 9 cm



Fonte: Autor (2024)

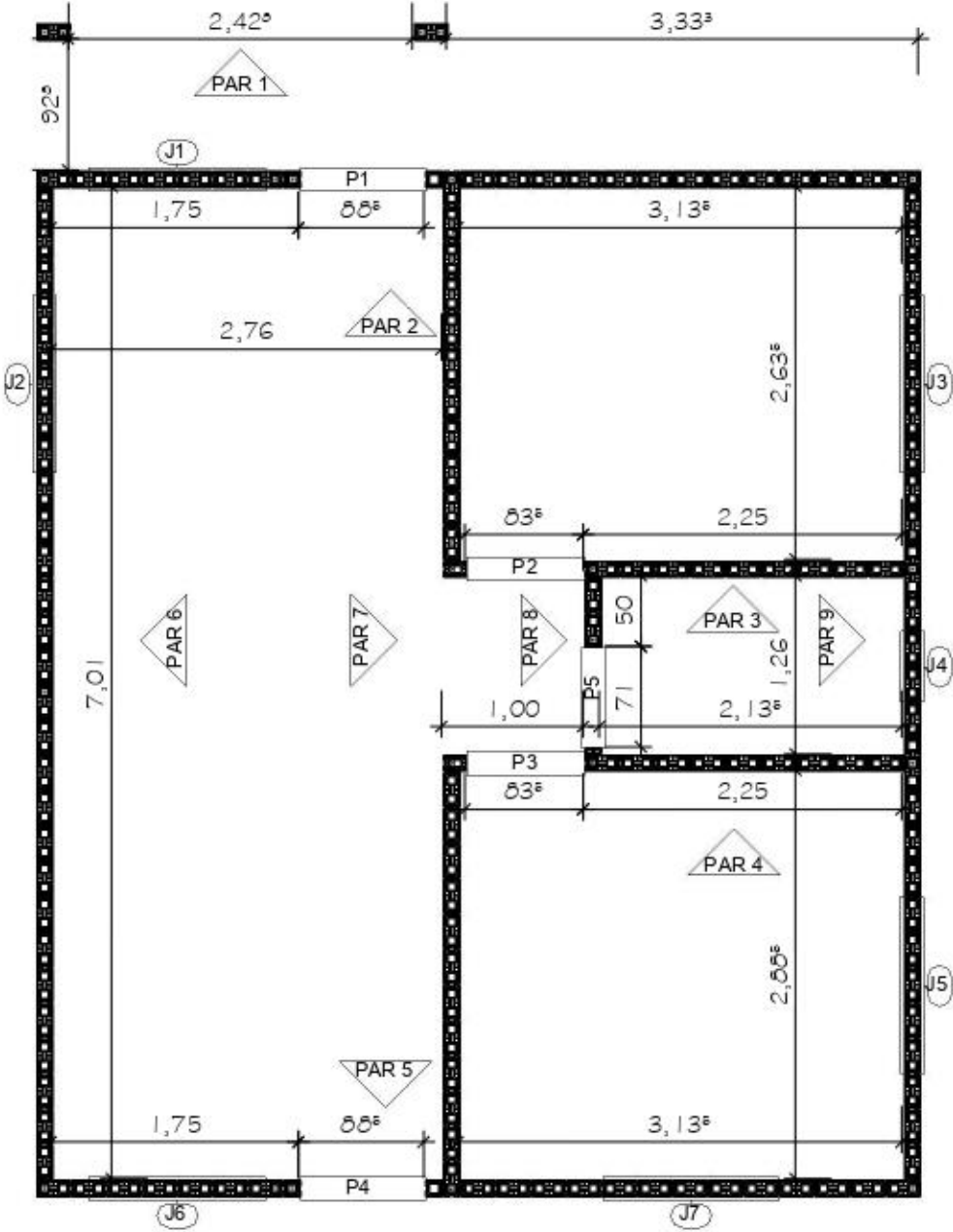
Figura 19 - Elevação da família de 9 cm da parede 2



Fonte: Autor (2024)

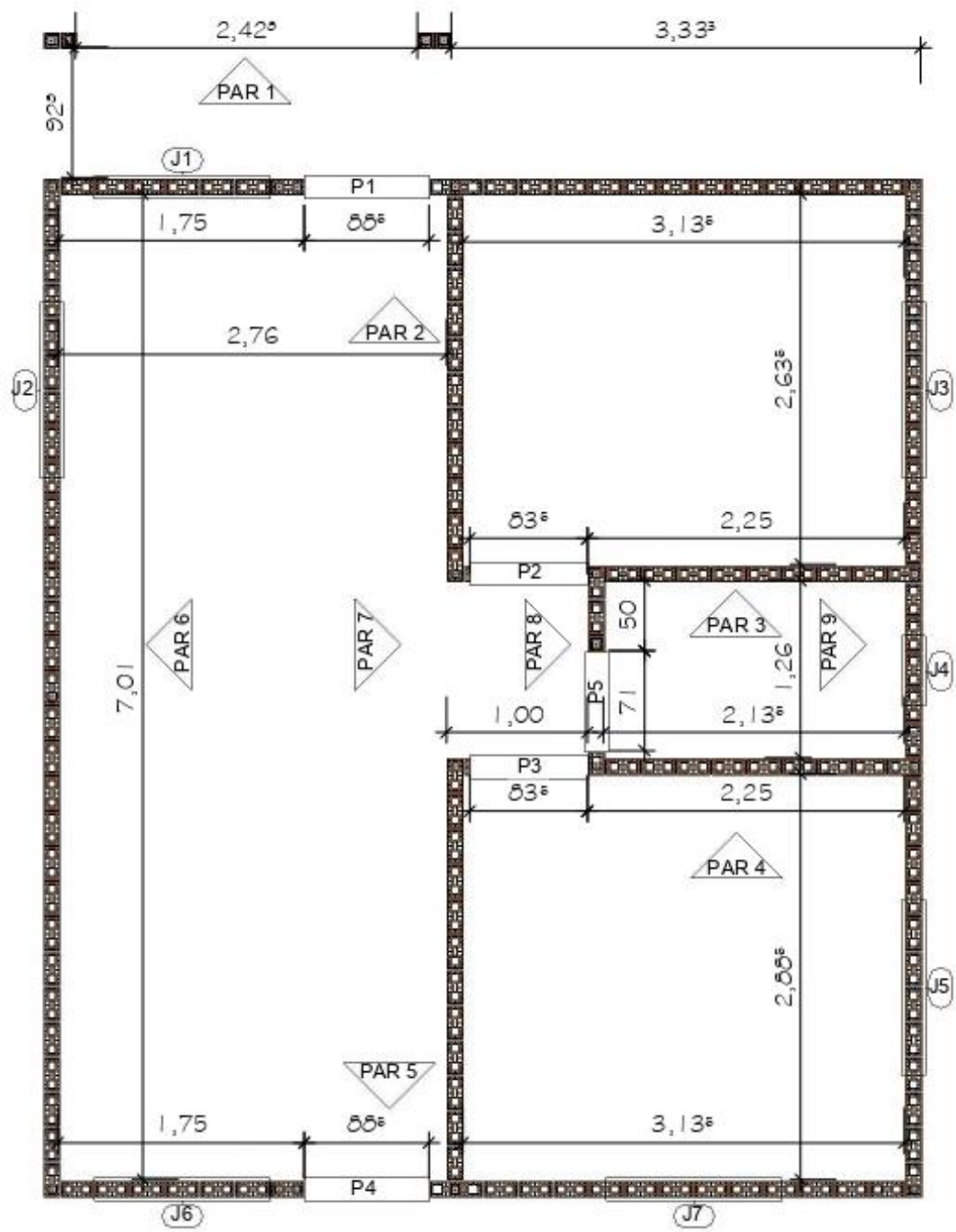
Para a modulação feita com a família de 11,5 cm de blocos cerâmicos de parede vazada, foram utilizados blocos inteiros com medidas de 11,5x19x24, meio bloco 11,5x19x11,5, amarração T 11,5x19x36,5, bloco boneca 11,5x19x16,5, canaleta 11,5x19x24, também considerando uma junta de argamassa de 1 cm entre eles. Dada a adequação da modulação sem uso de ajustes, o tamanho do projeto também foi alterado, neste caso para 42,85 m². Nas Figuras 20 e 21 estão ilustradas a primeira e segunda fiadas, e na Figura 22 um exemplo de corte de elevação. Mais detalhes das plantas de fiadas e elevações para a família de 11,5 cm podem ser vistos no APÊNDICE B.

Figura 20 - Primeira fiada para a família de 11,5 cm



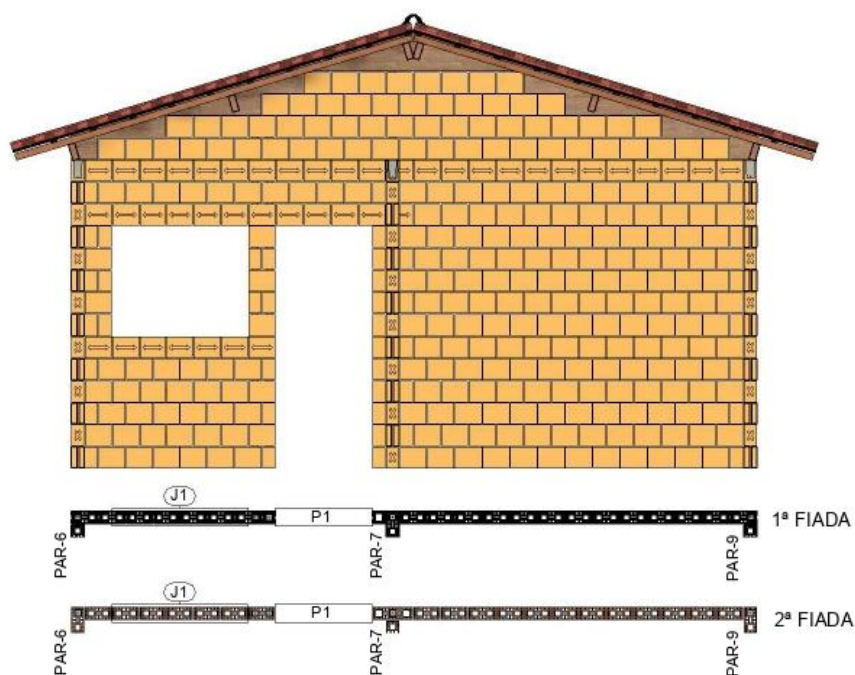
Fonte: Autor (2024)

Figura 21 - Segunda fiada para a família de 11,5 cm



Fonte: Autor (2024)

Figura 22 - Elevação da família de 11,5 cm da parede 2

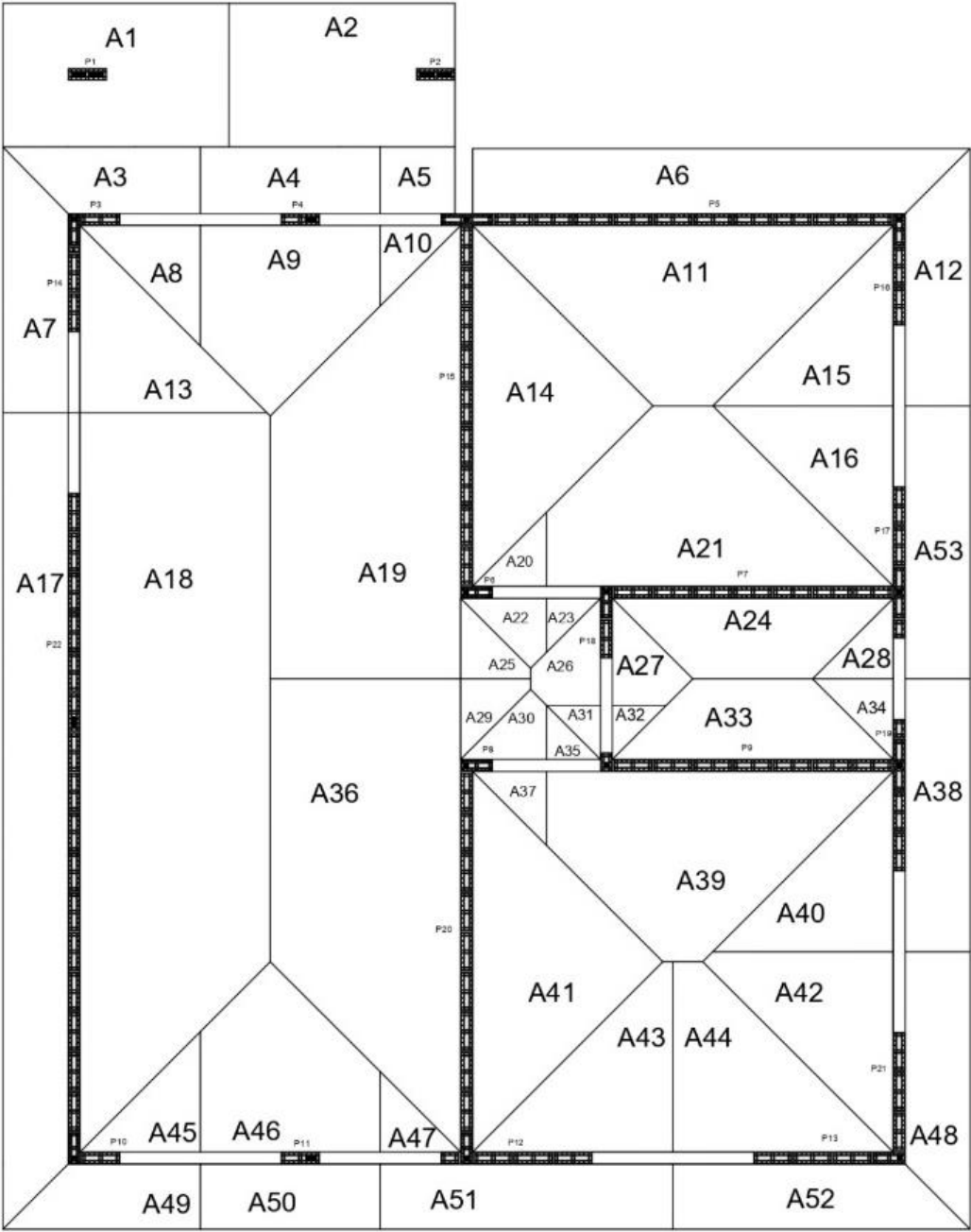


Fonte: Autor (2024)

5.2 CARREGAMENTO VERTICAL

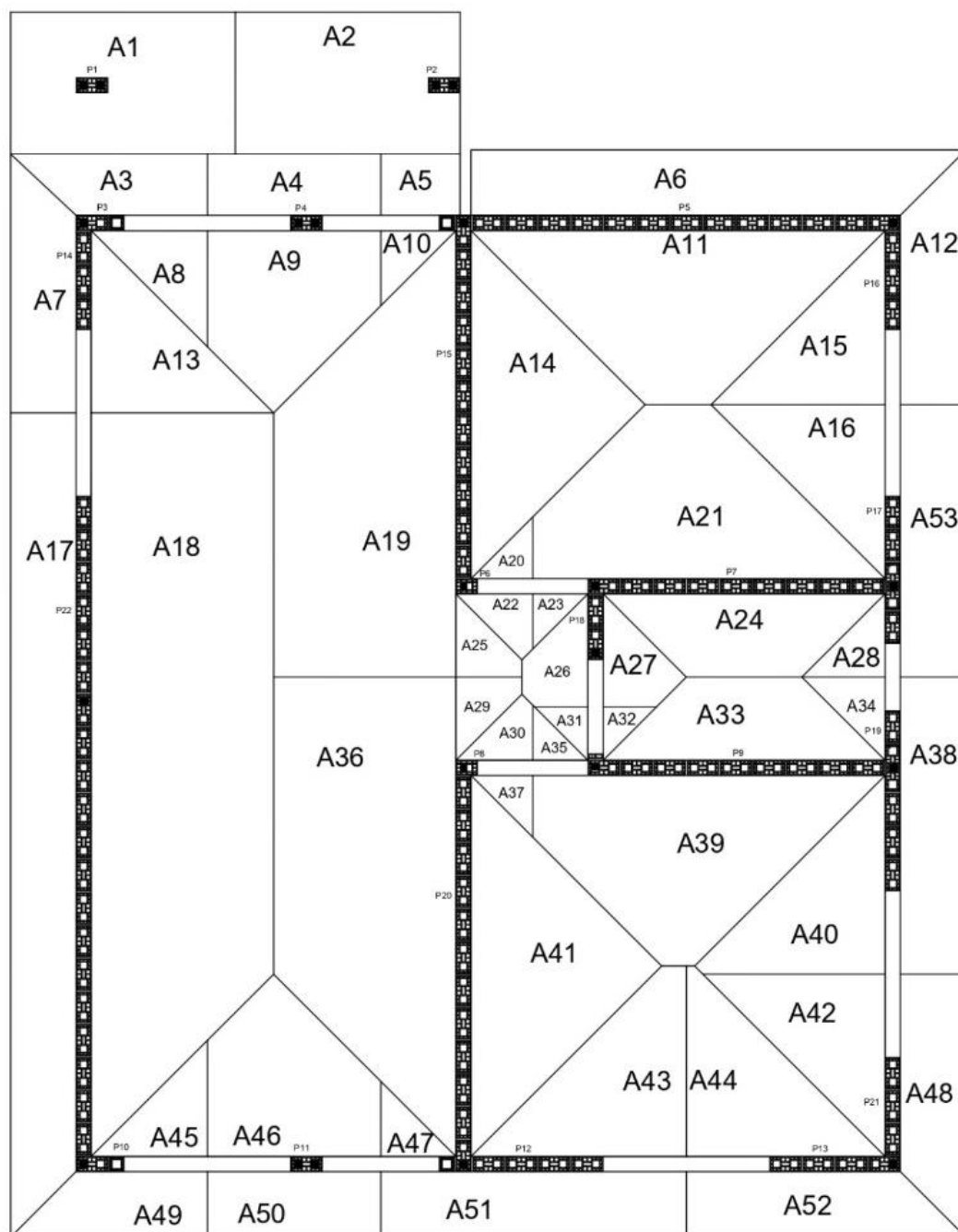
Para o dimensionamento relacionado ao carregamento vertical, levou-se em consideração o peso do telhado e laje, calculado através do método de charneiras, para ambas modulações, como mostrado nas Figuras 23 e 24 a seguir.

Figura 23 - Áreas de influência do projeto para a família de 9 cm



Fonte: Autor (2024)

Figura 24 - Áreas de influência para a família de 11,5 cm



Fonte: Autor (2024)

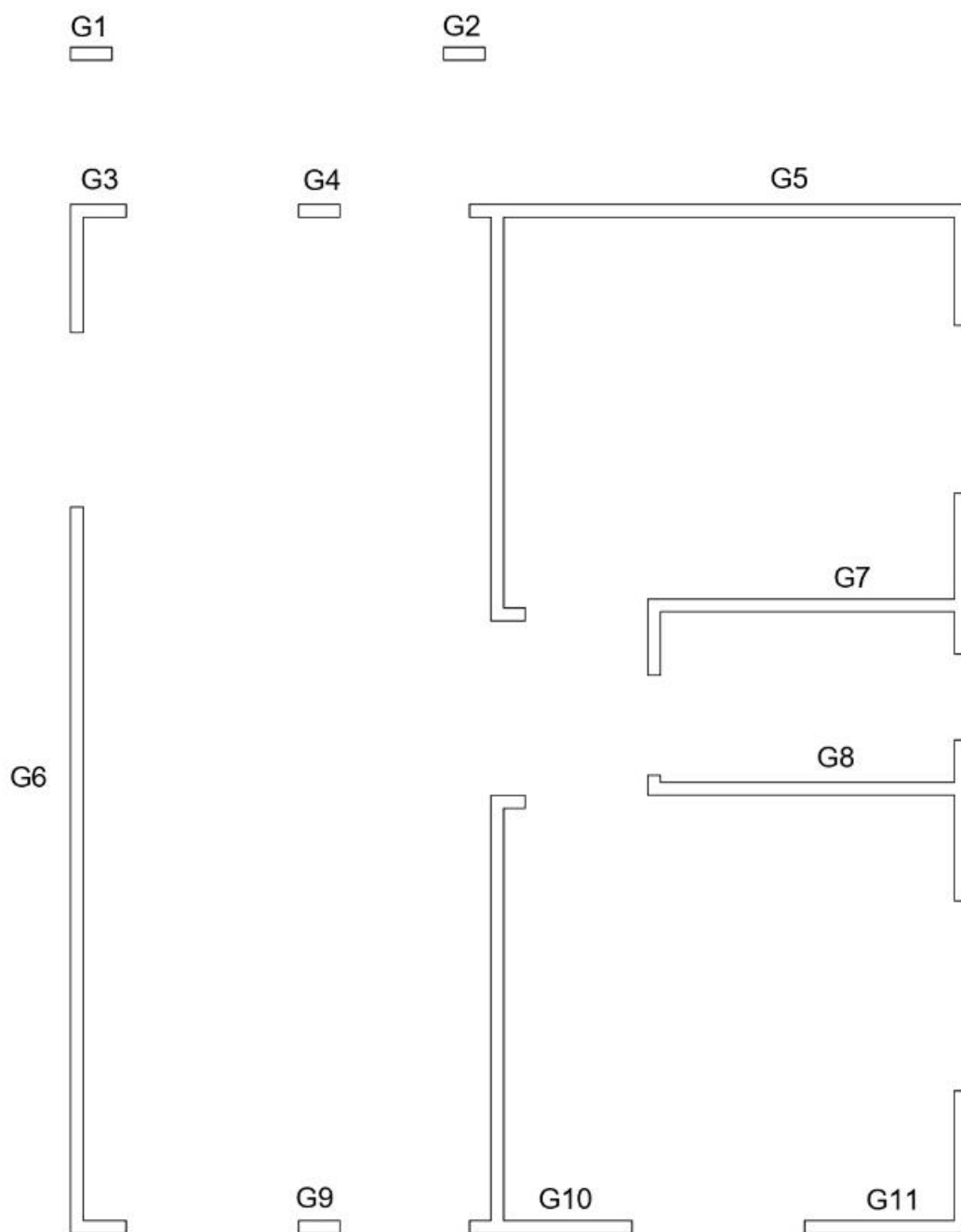
Os resultados foram obtidos através das áreas de influência. Tanto no projeto para a família de 9 cm quanto na de 11,5 cm, constatou-se que a parede que recebe maior carga é a 6 devido à sua maior área de carregamento. No projeto para a família de 9 cm, a carga permanente total nessa parede foi de 23,57 kN, com uma carga

acidental de 0,98 kN. Enquanto na modulação de 11,5 cm, a carga permanente total foi de 28,22 kN, com uma carga acidental de 1,0 kN.

5.3 COMPRESSÃO SIMPLES

No dimensionamento a compressão simples, realizou-se o agrupamento das paredes conforme a Figura 25, iguais em ambas as modulações. Os grupos são definidos com base nas aberturas, distribuindo uniformemente as cargas em cada um deles. Isso leva em conta as interações entre as paredes, permitindo um dimensionamento mais eficiente e seguro. Essa abordagem considera a integração estrutural das paredes, garantindo uma análise mais completa e precisa para a segurança e estabilidade da estrutura.

Figura 25 - Grupos de paredes



Fonte: Autor (2024)

Utilizando a relação dada pela Equação (2) obteve-se os resultados apresentado nas Tabelas 1 e 2, onde foi feito a verificação dos esforços a compressão simples, para um bloco com f_{bk} 4 MPa e um f_{pk} de 2 MPa em ambas modulações.

Tabela 1 - Verificação a compressão simples para família de 9 cm

Grupos Paredes Isoladas						
Grupo	Comprimento (m)	G_k (kN/m)	Q_k (kN/m)	f_{pk} (MPa)	Resistência do f_{pk} do bloco selecionado (Mpa)	Resistência do Bloco (MPa)
G1	0,29	8,39	0,63	1,26	2	4
G2	0,29	8,39	0,63	1,26	2	4
G3	1,28	4,93	0,22	0,65	2	4
G4	0,29	9,27	0,73	1,40	2	4
G5	7,46	4,46	0,17	0,58	2	4
G6	5,43	4,72	0,20	0,62	2	4
G7	3,97	7,56	1,67	1,16	2	4
G8	3,43	7,45	1,62	1,14	2	4
G9	0,29	9,21	0,73	1,39	2	4
G10	4,42	4,76	0,20	0,62	2	4
G11	2,13	4,76	0,20	0,62	2	4

Fonte: Autor (2024)

Tabela 2 - Verificação a compressão simples para família de 11,5 cm

Grupos Paredes Isoladas						
Grupo	Comprimento (m)	G_k (kN/m)	Q_k (kN/m)	f_{pk} (MPa)	Resistência do f_{pk} do bloco selecionado (Mpa)	Resistência do Bloco (MPa)
G1	0,24	10,45	0,78	0,56	2	4
G2	0,24	10,45	0,78	0,56	2	4
G3	1,23	5,81	0,23	0,27	2	4
G4	0,24	10,95	0,83	0,59	2	4
G5	7,385	5,29	0,17	0,25	2	4
G6	5,48	5,57	0,20	0,26	2	4
G7	4,095	8,69	1,49	0,46	2	4
G8	3,73	8,52	1,62	0,46	2	4
G9	0,24	11,09	0,85	0,60	2	4
G10	4,52	5,63	0,21	0,26	2	4
G11	1,855	5,67	0,21	0,26	2	4

Fonte: Autor (2024)

O índice de esbeltez calculado foi de 30 para a modulação de 9 cm e 24 para a de 11,5 cm, o que indica que a estrutura pode ser construída utilizando alvenaria não armada. Além disso, o coeficiente redutor devido à esbeltez encontrado foi de 0,53 e 0,77, para de 9,0 e 11,5 cm respectivamente, reforçando a adequação estrutural da construção. Observou-se que, devido à natureza de uma residência popular de um único pavimento, os carregamentos aplicados são pequenos, principalmente provenientes de uma única laje de banheiro e do telhado. Para o bloco

de alvenaria com resistência de 4 MPa utilizado, constatou-se que a sua capacidade de resistência é significativamente maior do que a exigida pelas cargas aplicadas, conforme evidenciados na tabela anterior.

5.4 FLEXÃO SIMPLES

A maior área de aço calculada para as vergas ocorreu na abertura entre as paredes 14 e 22, a escolha se deu por essa janela receber maior carga devido suas áreas de influência. Na modulação para a família de 9 cm as aberturas possuem um tamanho de 1,20 m e na de 11,5 cm um tamanho de 1,25 m. De acordo com o dimensionamento, a área de aço calculada foi bem menor, em ambas as modulações, que a área de aço mínima exigida pela norma NBR 16868-1:2020, que fala que a área deve ser maior do que 15% da largura vezes a altura útil da verga, como mostrado nas Tabelas 3 e 4. Como o valor calculado foi abaixo desse valor, adotou-se armaduras com diâmetro de 8 mm, que possuem uma área 0,5 cm², maior que a área mínima encontrada.

Tabela 3 - Flexão simples nas vergas do projeto da família de 9 cm

As (m ²)	As (cm ²)	As mín (m ²)	As mín (cm ²)	As Utilizado (cm ²)	Bitola	Qtd de Barras
6,68E-06	0,0668	0,0000203	0,2025	0,2025	8	1

Fonte: Autor (2024)

Tabela 4 - Flexão simples nas vergas do projeto da família de 11,5 cm

As (m ²)	As (cm ²)	As mín (m ²)	As mín (cm ²)	As Utilizado (cm ²)	Bitola	Qtd de Barras
9,17E-06	0,0917	0,0000259	0,25875	0,25875	8	1

Fonte: Autor (2024)

No caso das contravergas, a seleção da armadura segue os mesmos parâmetros adotados para as vergas. Nas cintas de amarrações e respaldo foi usada armadura com diâmetro de 10 mm seguindo detalhamento usual padrão.

5.5 CISALHAMENTO

A resistência ao cisalhamento foi verificada através das Equações (11) e (12), e chegou-se aos resultados mostrados nas Tabelas 5 e 6 para as famílias de 9 cm e 11,5 cm, respectivamente.

Tabela 5 - Verificação ao cisalhamento de vergas na modulação de 9 cm

P	fvk (MPa)	fvk máximo (MPa)	Escolha do fvk (MPa)	τ_{vd} (KPa)	fvd (KPa)	Verificação $\tau_{vd} \leq f_{rd}$
0,0029	0,40	0,7	0,40	63,41	200,60	Não precisa armar!

Fonte: Autor (2024)

Tabela 6 - Verificação ao cisalhamento de vergas na modulação de 11,5 cm

P	fvk (MPa)	fvk máximo (MPa)	Escolha do fvk (MPa)	τ_{vd} (KPa)	fvd (KPa)	Verificação $\tau_{vd} \leq f_{rd}$
0,0023	0,39	0,7	0,39	65,99	195,04	Não precisa armar!

Fonte: Autor (2024)

De acordo com os resultados, nas duas modulações a tensão de cisalhamento requerida é menor do que a resistência em todas as paredes. Assim, não houve necessidade de aplicar armadura transversal contra cisalhamento nas vergas e contravergas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alvenaria estrutural voltada a construções de casa de pequeno porte tem ganhado visibilidade, devido a fatores como otimização no tempo de construção, agilidade no método construtivo, economia de funcionários específicos, garantia de resistência adequada, cuidado da segurança e bem estar do usuário da edificação. Este trabalho buscou aprimorar e demonstrar o dimensionamento de uma residência popular utilizando esse sistema.

O objetivo deste estudo foi alcançado, pois a modulação, paginação e dimensionamento foram realizados, sendo os resultados obtidos satisfatórios. Para realizar os cálculos, foram utilizadas apenas planilhas de cálculo e *software* para a confecção das plantas.

Além disso, a realização deste trabalho proporcionou uma maior familiaridade com o sistema construtivo em alvenaria estrutural, levando em consideração a norma recente NBR 16868:2020 que ainda é pouco explorada na literatura. No entanto, este trabalho buscou sempre se ater a esta, garantindo a qualidade e conformidade do projeto.

Dessa forma, este estudo contribui não apenas para o entendimento da modulação e dimensionamento de residências populares em alvenaria estrutural, mas também para o avanço do conhecimento sobre o tema, promovendo uma aplicação mais eficiente e segura dessa técnica na construção civil. Como resultado final, uma proposta de construção para "Casas do Cabugi" em alvenaria estrutural foi desenvolvida, alcançando o objetivo do estudo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-1: Alvenaria estrutural –Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-3: Alvenaria estrutural –Parte3: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

CERÂMICA DO GATO. Catalogo Blocos Cerâmicos. Itajá, 2023.

DA COSTA, Ramsés Yuri. Dimensionamento da mão de obra na execução de edifícios em alvenaria estrutural, 2011.

IZQUIERDO, O. S. Estudo da interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). UFPR, Departamento de Construção civil. São Carlos- SP. 2015.

JÚNIOR, José de Almeida Freitas, Alvenaria Estrutural – Construção Civil II. 2013 Apostila de Construção Civil. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KALIL, Silvia Maria Baptista. Alvenaria Estrutural – PUC/RS. Rio Grande do Sul, 2007.

KALIL, Silvia Maria Baptista. Alvenaria Estrutural. 2009. Apostila de Estruturas Mistas – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MANZIONE, Leonardo. Projeto e Execução de Alvenaria Estrutural. São Paulo: O Nome da Rosa, 2004. 1ª edição. v.1. 120 p.

MOHAMAD, G. Construções em alvenaria estrutural. Materiais, projeto e desempenho. Página 22. Editora Blucher, 2014. Disponível em: <https://issuu.com/editorablucher/docs/issuuok-peq/9> Acesso em: 15 de novembro 2023.

PAZINI, E. Z.; RODRIGUES, P. C. Sistemas e componentes construtivos da alvenaria estrutural. XIX Seminário interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão. 2014.

PENTEADO, P. T.; MARINHO, R. C. Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: Solo-Cimento, Alvenaria Convencional e Alvenaria Estrutural. 2011. 64 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

PARSEKIAN, G. A. Parâmetro de Projeto de Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto. São Carlos: Edufscar, 2012.

PINHEIRO, G. S. Alvenaria estrutural em blocos de concreto: aspectos construtivos e prédimensionamento. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) do curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro. 2018.

RAMALHO, M. A.; CORREA, M. R. S. Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural. 1. ed. São Paulo: PINI, 2003.

REBOREDO, André Rampazzo. Dimensionamento de um Edifício em Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto: Comentários Sobre a NBR 15961-1 (2011). 2013. 173 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SABBATINI, Fernando Henrique. Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos – Formulação e Aplicação de uma Metodologia. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

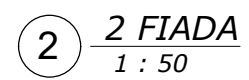
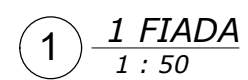
SIQUEIRA, Renata A.; MALARD, Maria L.; SILVA, Margarete M. A.; TELLO, Marina; ALVES, José M, Coordenação Modular da Alvenaria Estrutural: Concepção e Representação. 2012. Artigo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SOARES, S. M. B. Alvenaria Estrutural. PUCRS. 2011. Disponível em: https://www.politecnica.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Alvenaria_Estrutural/Alvenaria_1_NOVA_VERSAO.pdf>. Acesso em: 15 nov 2023.

SONDA, Rafael. Alvenaria Estrutural – Um Processo Construtivo Racionalizado. 2007. Dissertação – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. Alvenaria Estrutural. 1ª ed. São Paulo, PINI, 2010. 183 p.

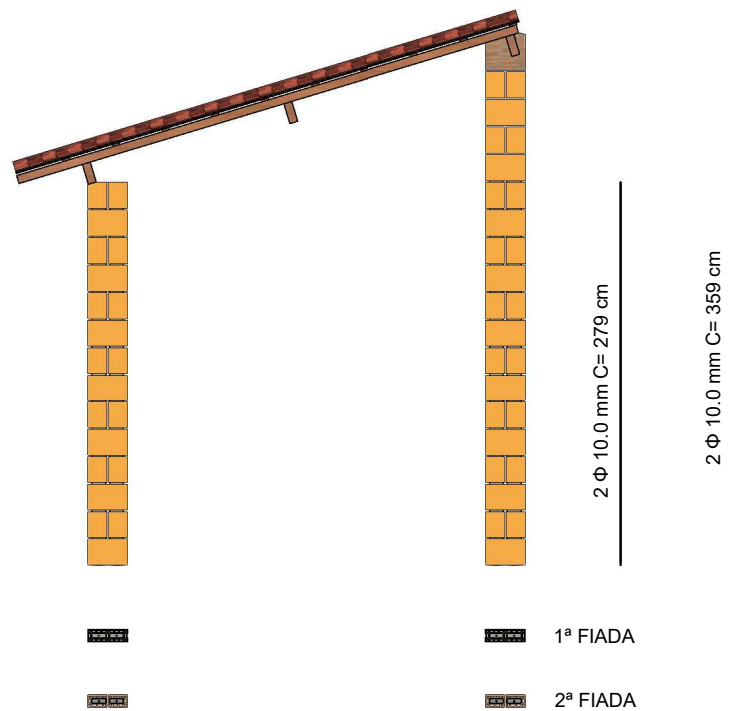
**APÊNDICE A – PAGINAÇÃO DA MODULAÇÃO COM A
FAMÍLIA DE 9 CM**



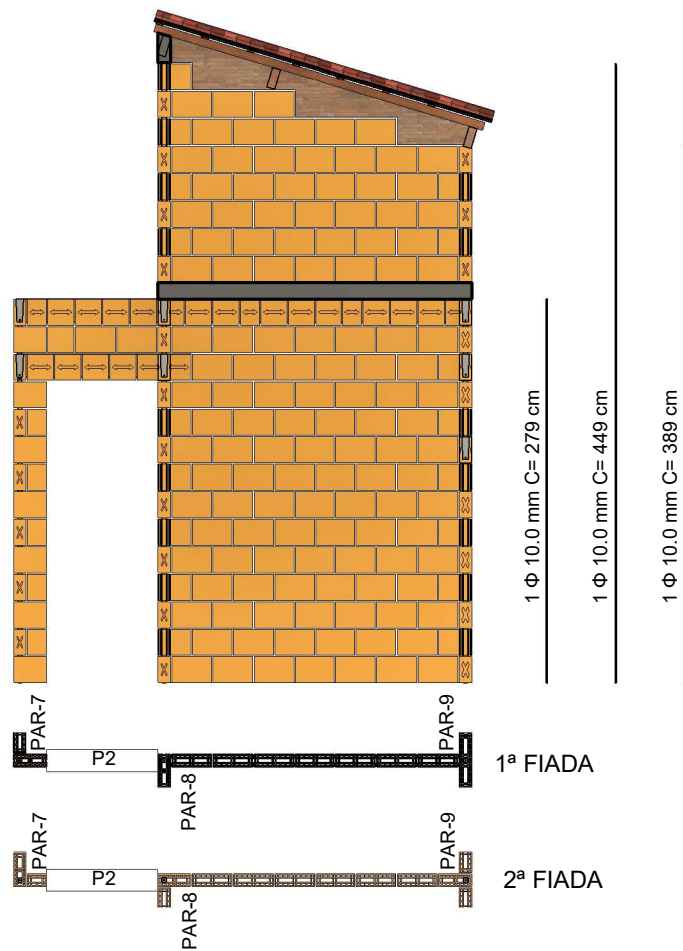
- 3 Legenda
1 : 50

		ANGICOS/RN	

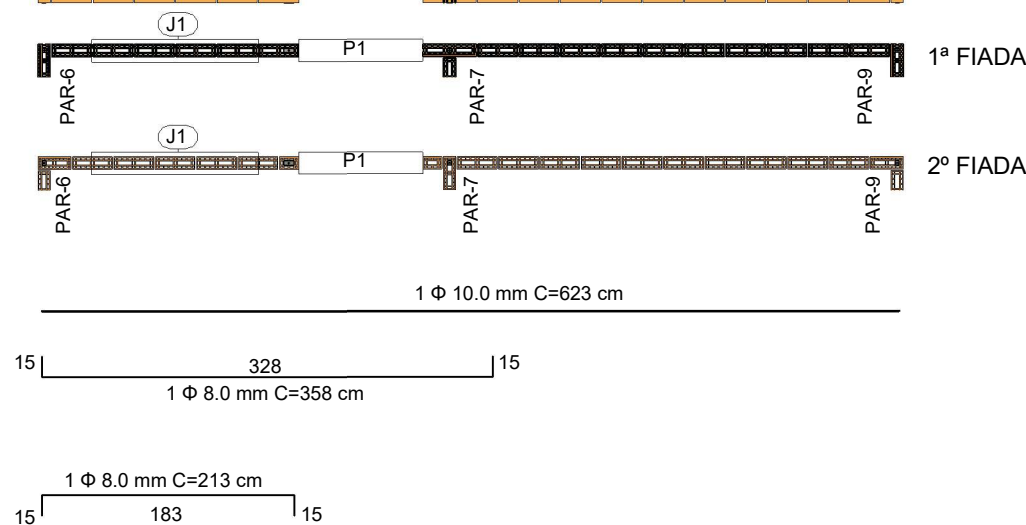
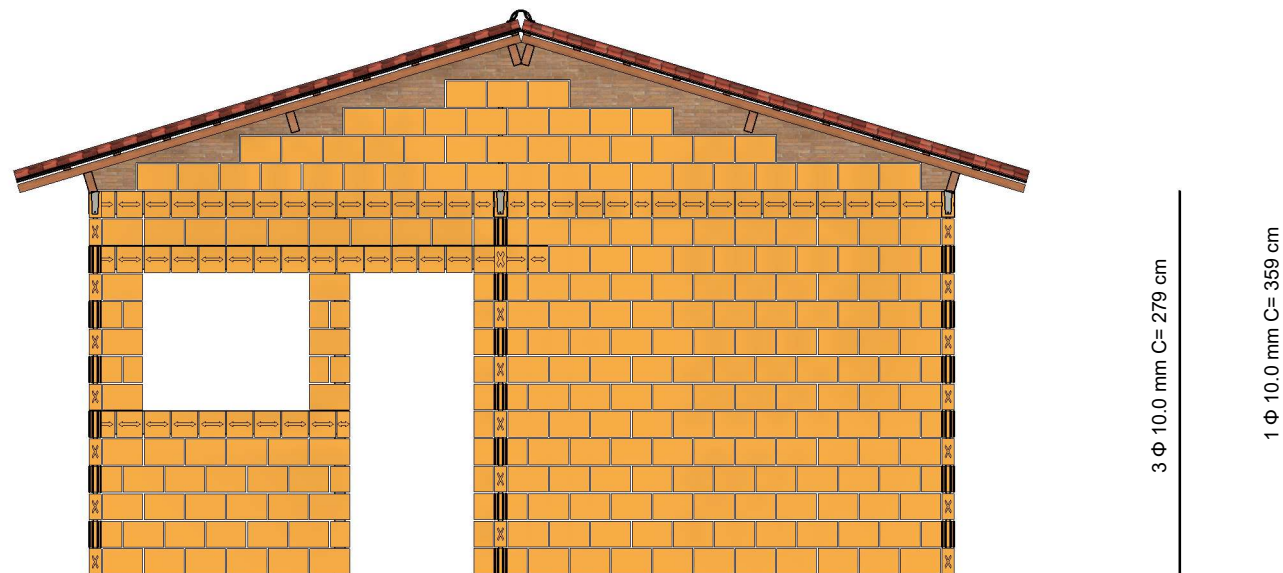
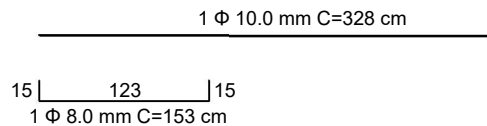
PROJETO:		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 9 cm	
1 E 2ª FIADA - CASAS DO CABUGI			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
		Área Permeável:	X m²
Endereço:		Angicos	
Data:		1	
Projetista:			
IGOR MATHEUS			
Responsável Técnico:		Verificador	Escala 1 : 50



1 Parede 1
1 : 50

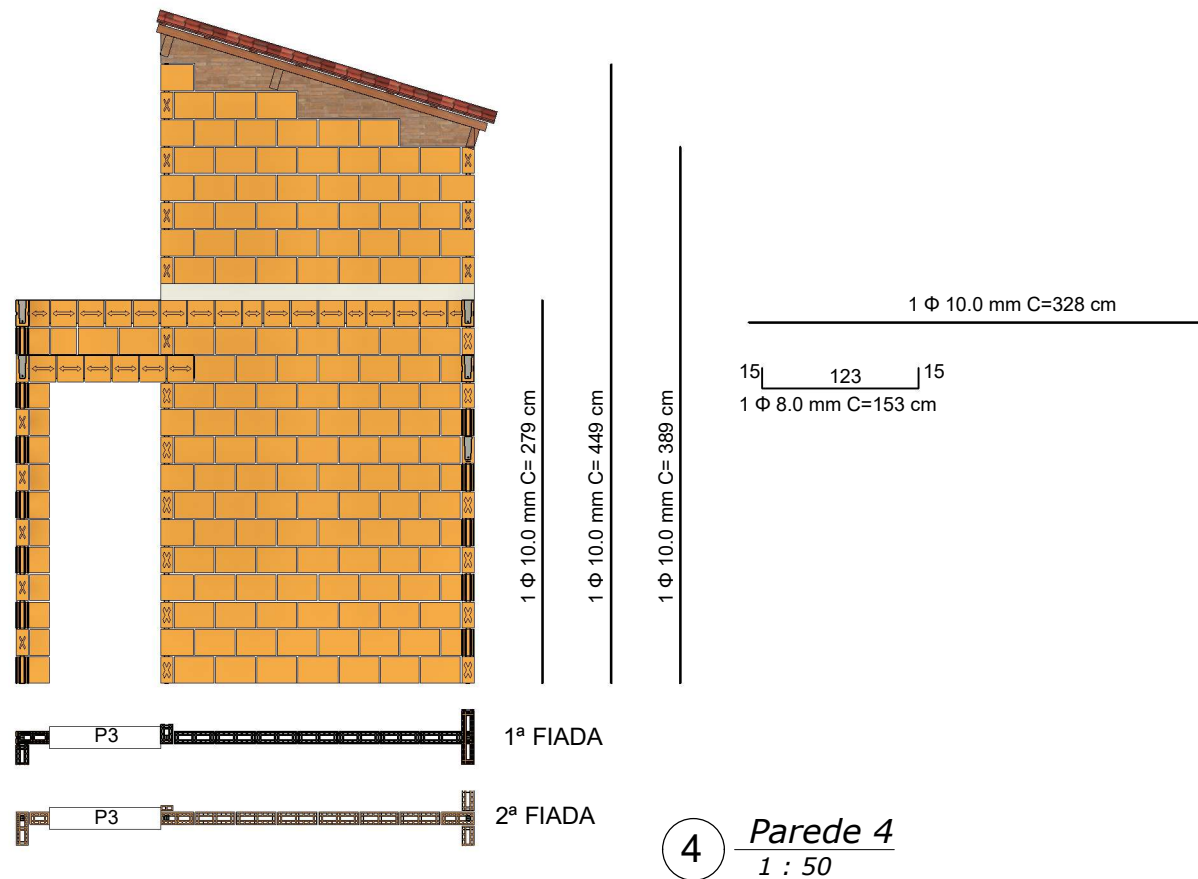


3 Parede 3
1 : 50

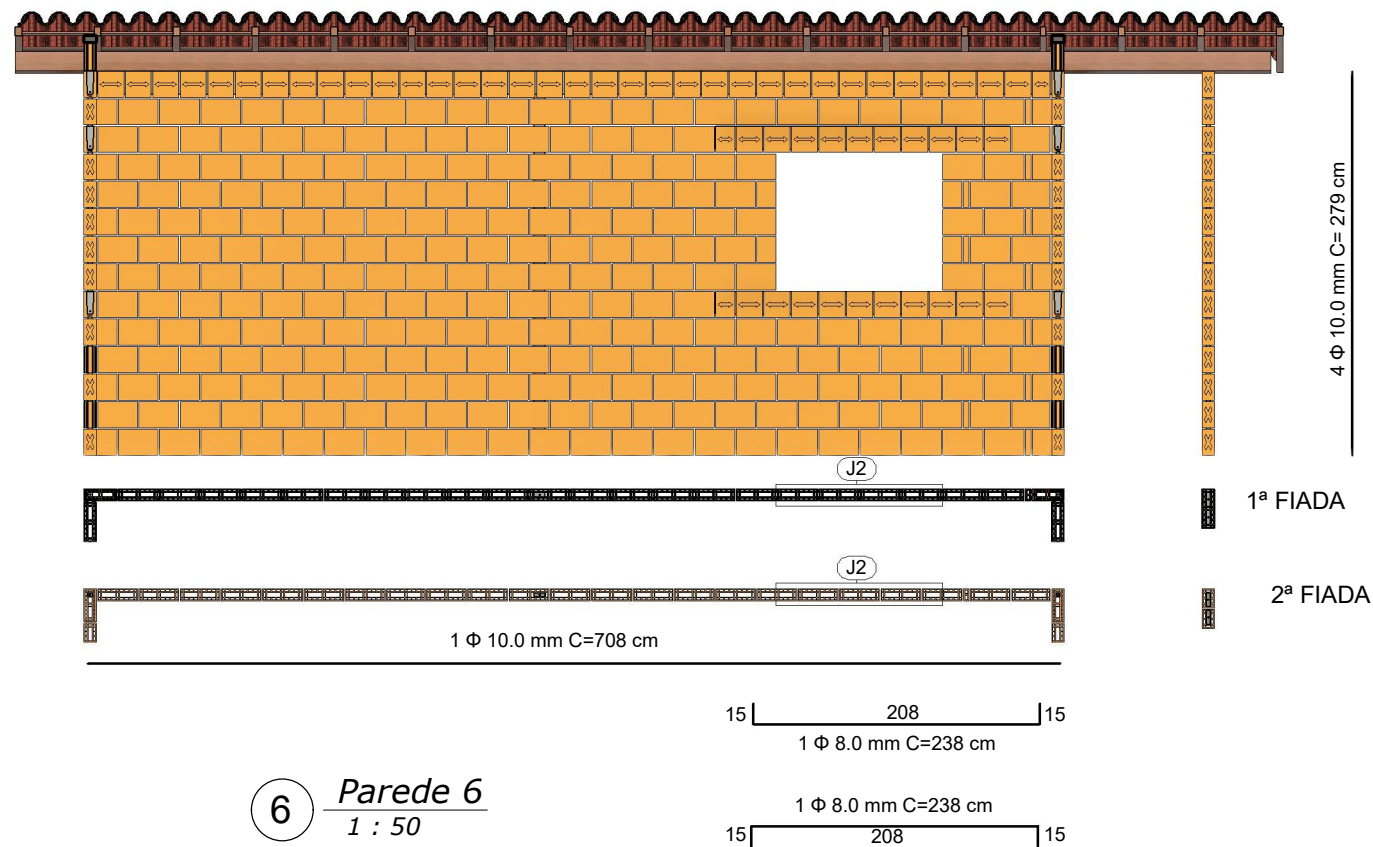


2 Parede 2
1 : 50

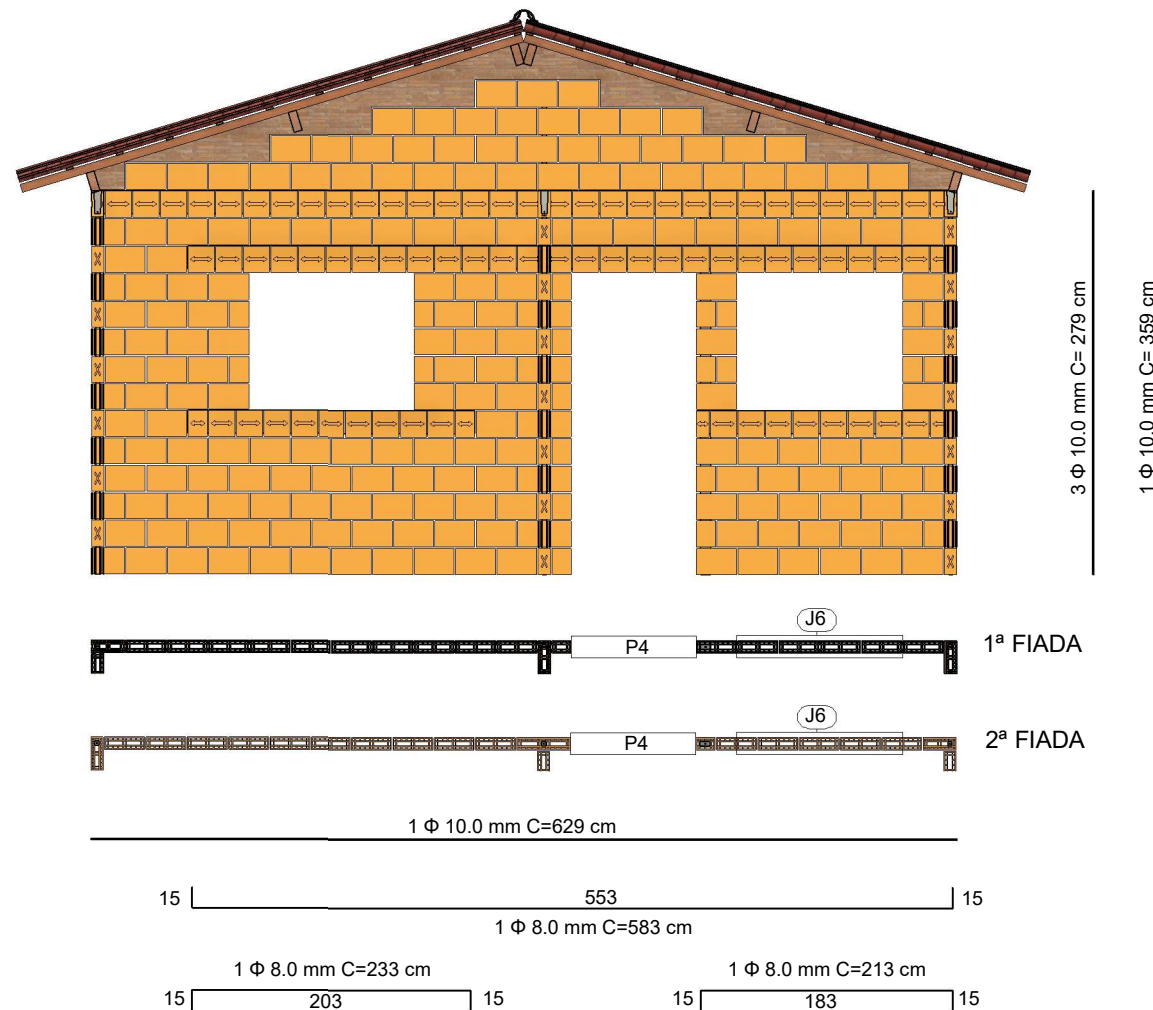
		ANGICOS/RN	
PROJETO: ELEVAÇÕES - P1, P2, P3		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 9 cm	
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
		Área Permeável:	X m²
Endereço:		Angicos	
Data:		2	
Projetista:			
Responsável Técnico:		IGOR MATHEUS	
		Verificador	Escala 1 : 50



4 Parede 4
1 : 50

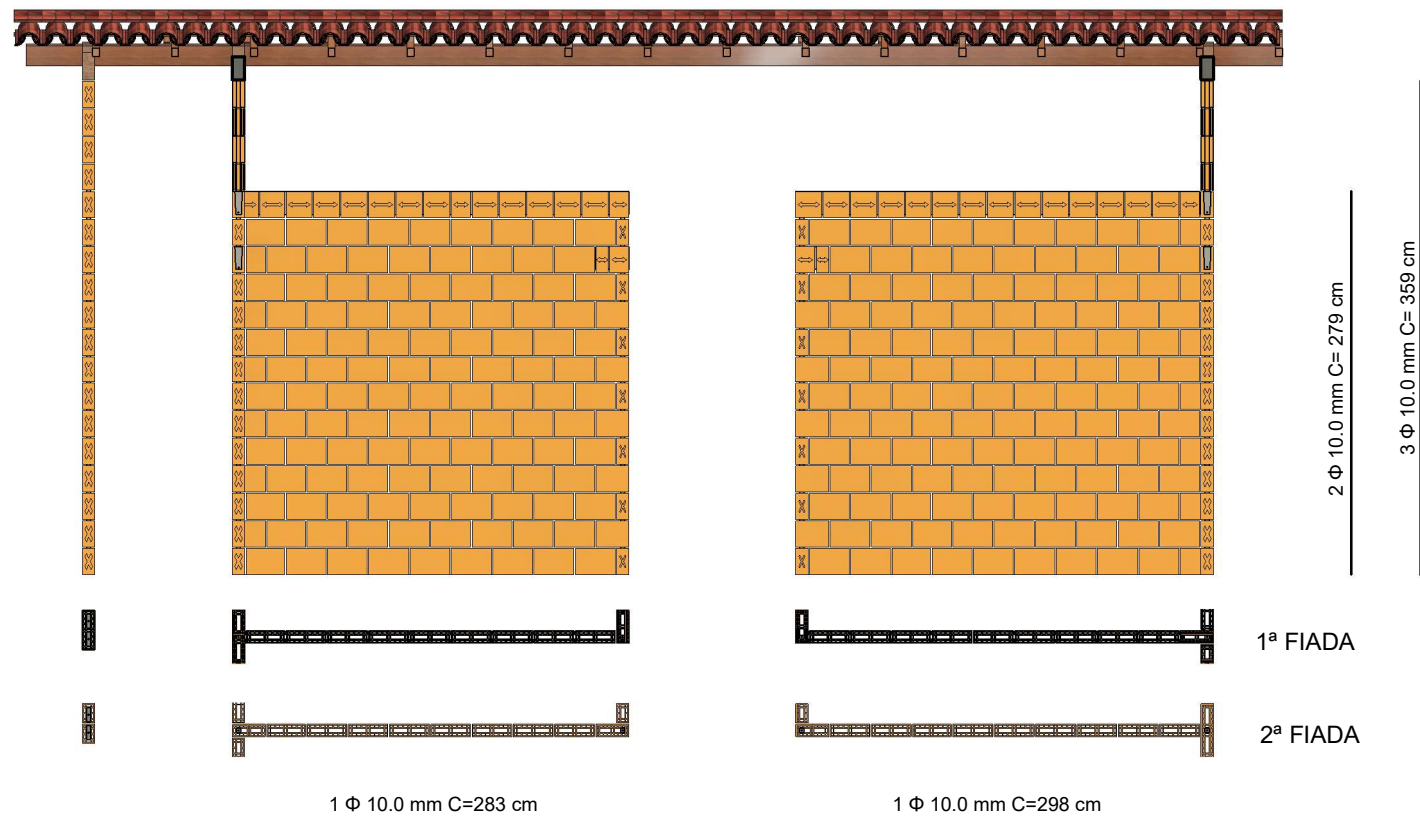


6 Parede 6
1 : 50

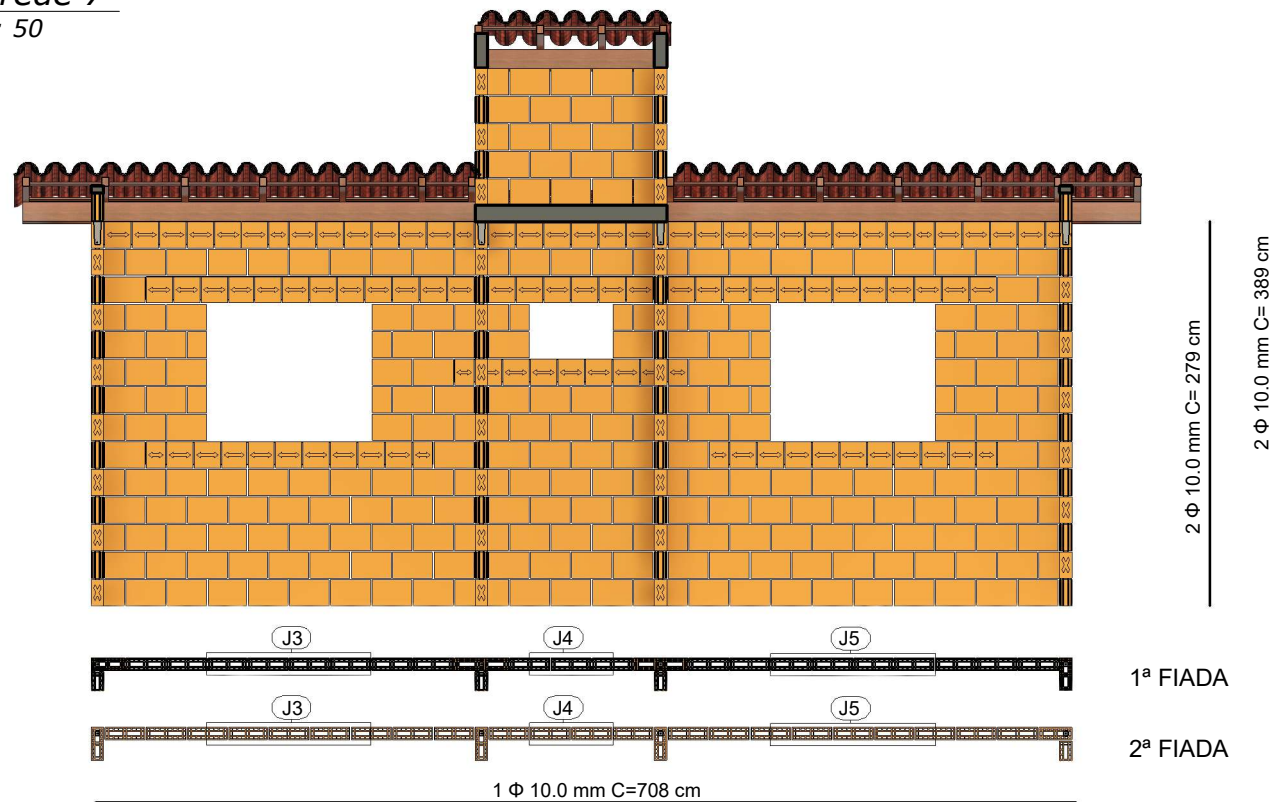


5 Parede 5
1 : 50

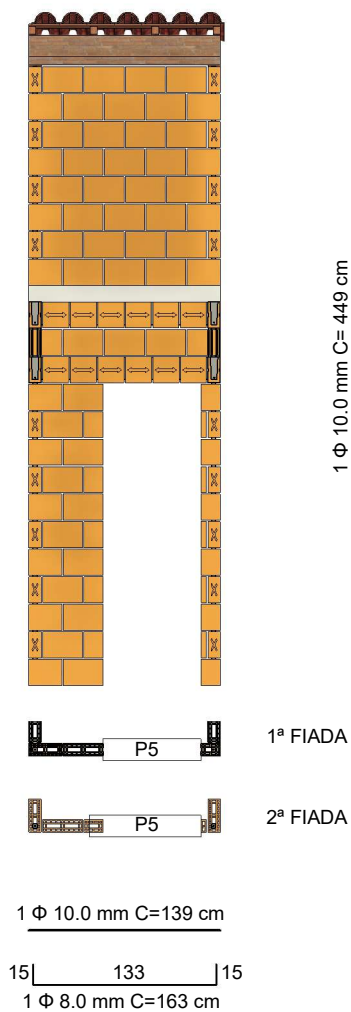
		ANGICOS/RN	
PROJETO:		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 9 cm	
ELEVAÇÕES - P4, P5, P6			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
		Área Permeável:	X m²
Endereço:		Angicos	
Data:		3	
Projetista:			
IGOR MATHEUS			
Responsável Técnico:		Verificador	Escala 1 : 50



7 Parede 7
1 : 50



9 Parede 9
1 : 50

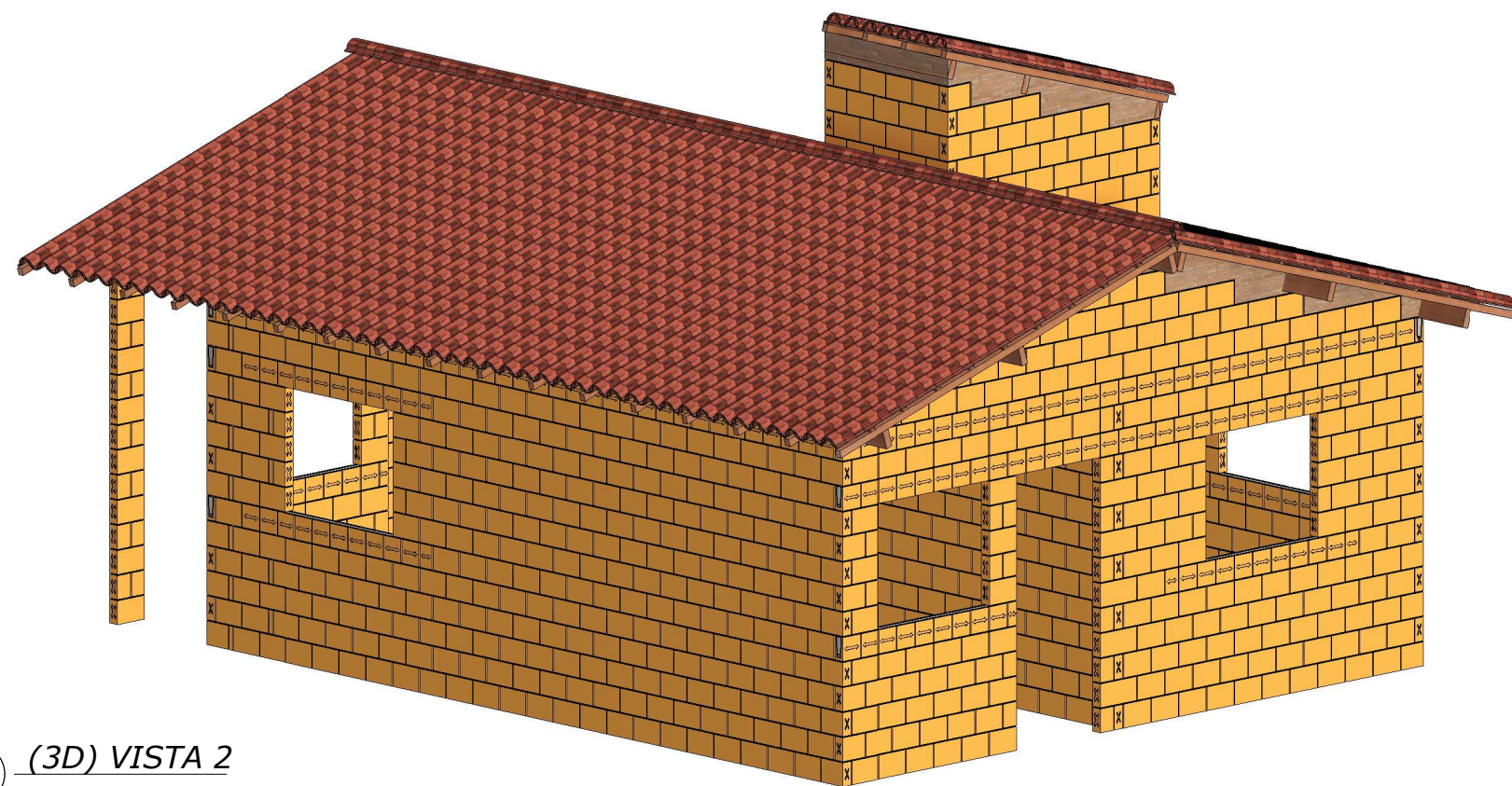


8 Parede 8
1 : 50

		ANGICOS/RN			
PROJETO: ELEVAÇÕES - P7, P8, P9		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 9 cm			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²	Área Permeável:	X m²
Endereço:		Angicos		4	
Data:					
Projetista:		IGOR MATHEUS			
Responsável Técnico:		Verificador		Escala	1 : 50

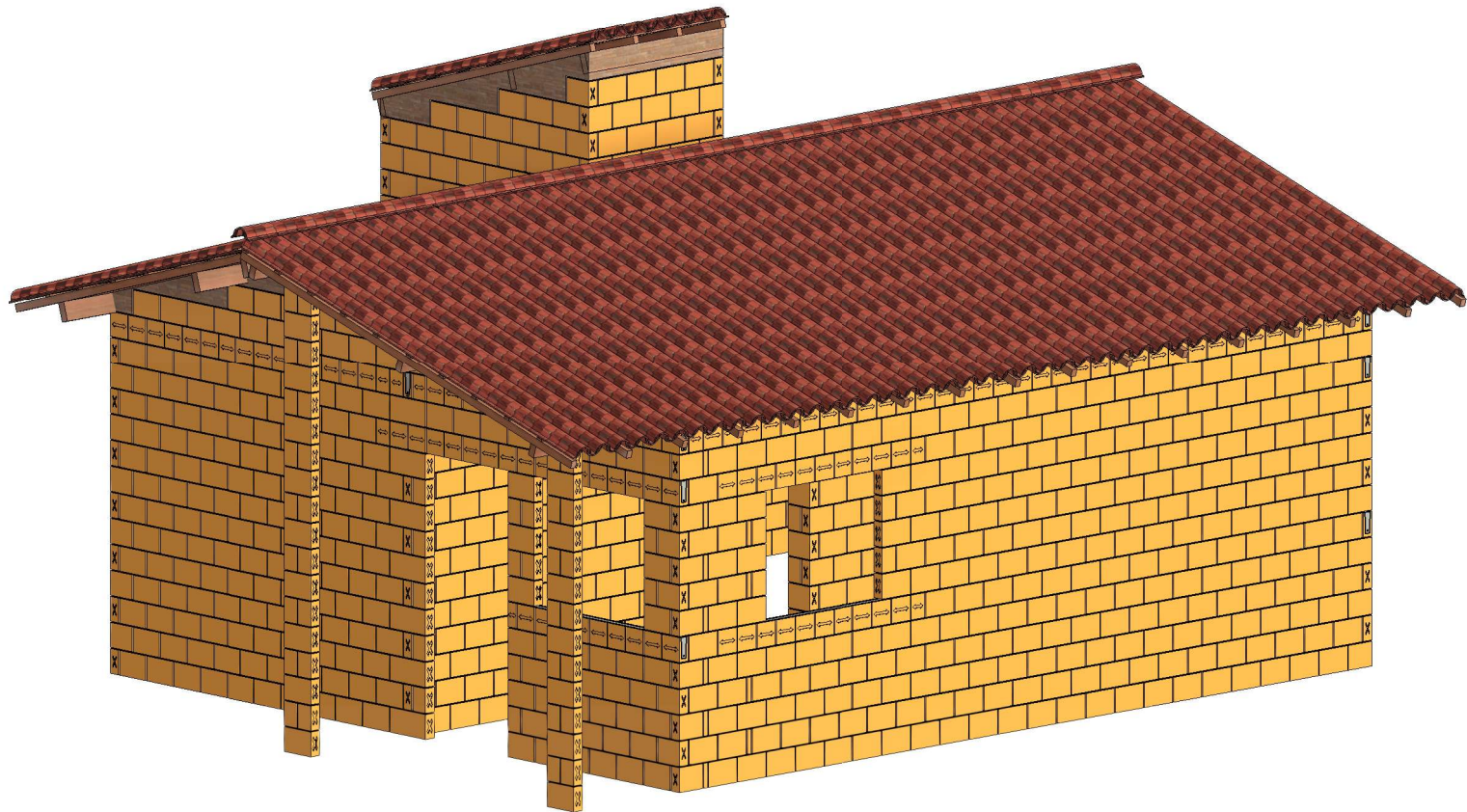


1 (3D) VISTA 1



2 (3D) VISTA 2

		ANGICOS/RN	
PROJETO:		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 9 cm	
VISTAS 3D - 1 E 2			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
Endereço:	Angicos		Área Permeável:
Data:			X m²
Projetista:	Autor		5
Responsável Técnico:	Verificador		
		Escala	



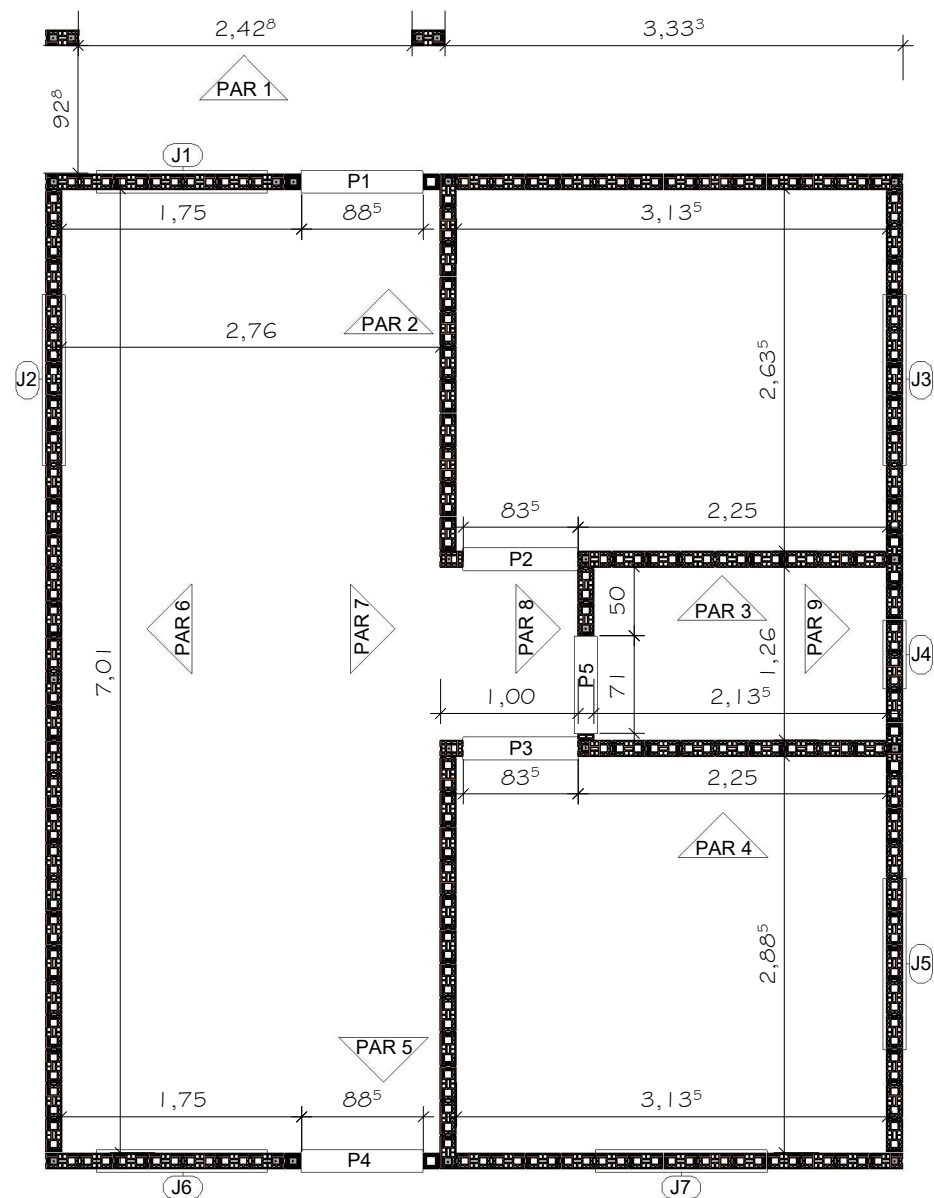
1 (3D) VISTA 3



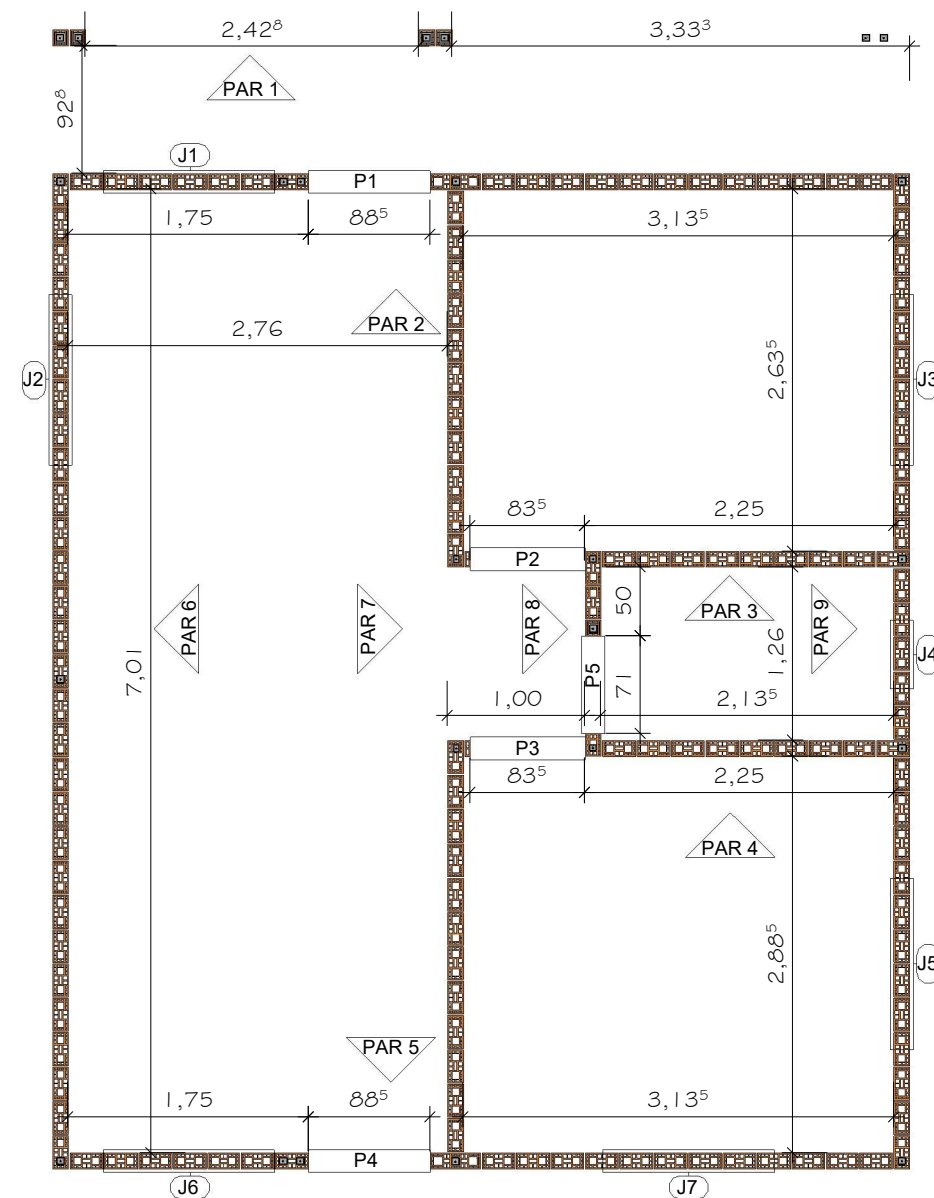
2 (3D) VISTA 4

		ANGICOS/RN	
PROJETO: VISTAS 3D - 3 E 4		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 9 cm	
Área Terreno: X m²	Área Construída: 42,85 m²	Área Permeável: X m²	
Endereço:	Angicos		6
Data:			
Projetista:	Autor		
Responsável Técnico:	Verificador	Escala	

**APÊNDICE B - PAGINAÇÃO DA MODULAÇÃO COM A FAMÍLIA
DE 11,5 CM**



1 1 FIADA
1 : 50



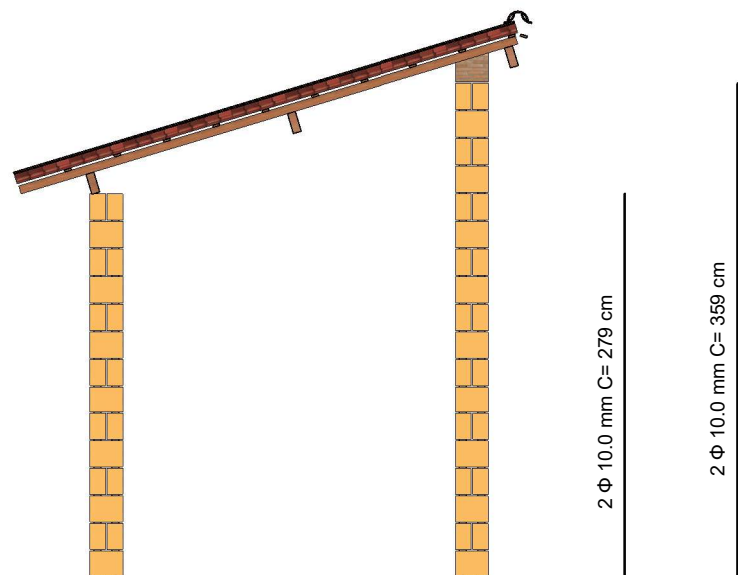
2 2 FIADA
1 : 50

- Graute com ferro Φ 10,0 mm
- ▤ Espaçador 11,5 x 19 x 4 cm
- ▣ Meio Bloco 11,5 x 19 x 11,5 cm
- ▢ Boneca 11,5 x 19 x 16,5 cm
- ▧ Principal 11,5 x 19 x 24 cm
- ▨ Amarração T 11,5 x 19 x 36,5 cm

3 Legenda
1 : 50

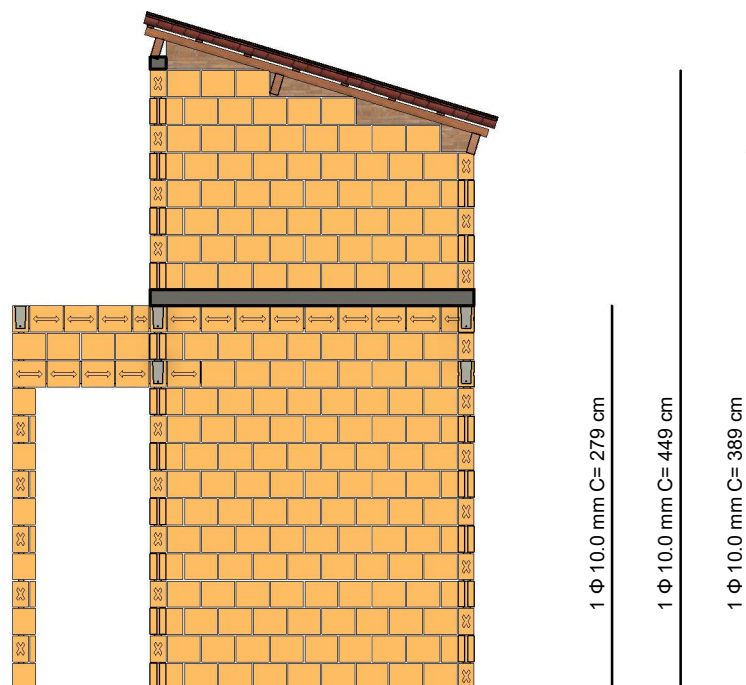
f_{bk} (MPa)	f_a (MPa)	f_{gk} (MPa)	f_{pk} (MPa)
4,0	4,0	15,0	2,0

		ANGICOS/RN	
PROJETO: 1ª E 2ª FIADA - CASAS DO CABUGI		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 11,5 CM	
Área Terreno: X m²	Área Construída: 42,85 m²	Área Permeável: X m²	
Endereço:	Angicos		1
Data:			
Projetista:	IGOR MATHEUS		
Responsável Técnico:	Verificador		
		Escala	1 : 50



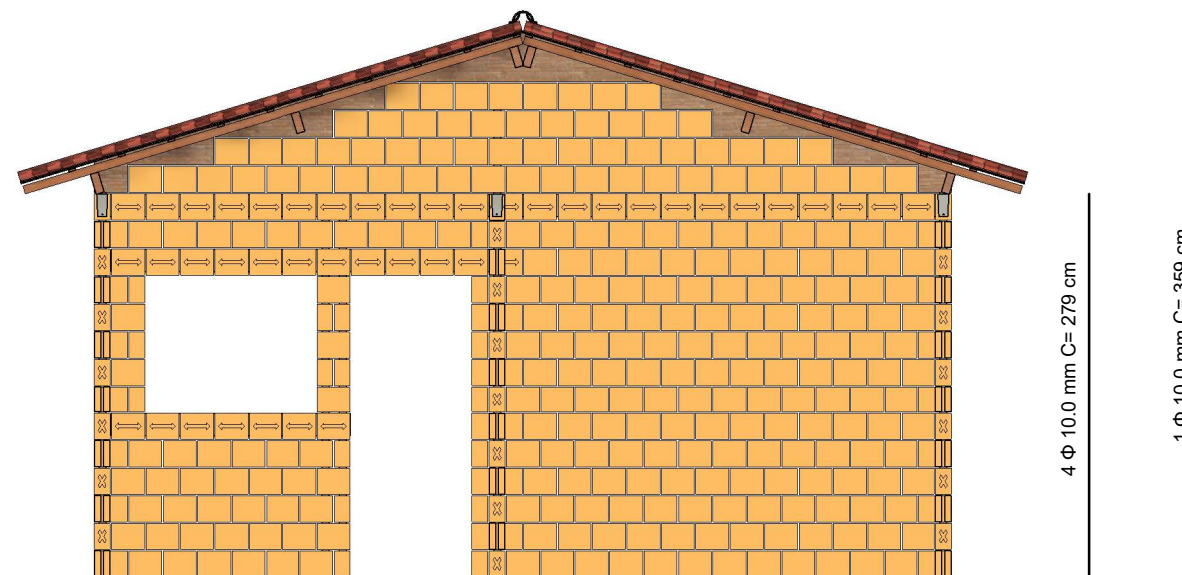
1ª FIADA
2ª FIADA

1 Parede 1
1 : 50



P2 1ª FIADA
P2 2ª FIADA

3 Parede 3
1 : 50



J1
PAR-6 P1 PAR-7 PAR-9
J1
PAR-6 P1 PAR-7 PAR-9
1ª FIADA
2ª FIADA
1 Φ 10.0 mm C=618 cm

15 168 15
1 Φ 8.0 mm C=198 cm

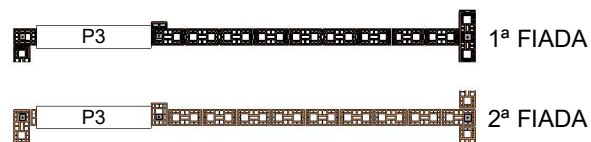
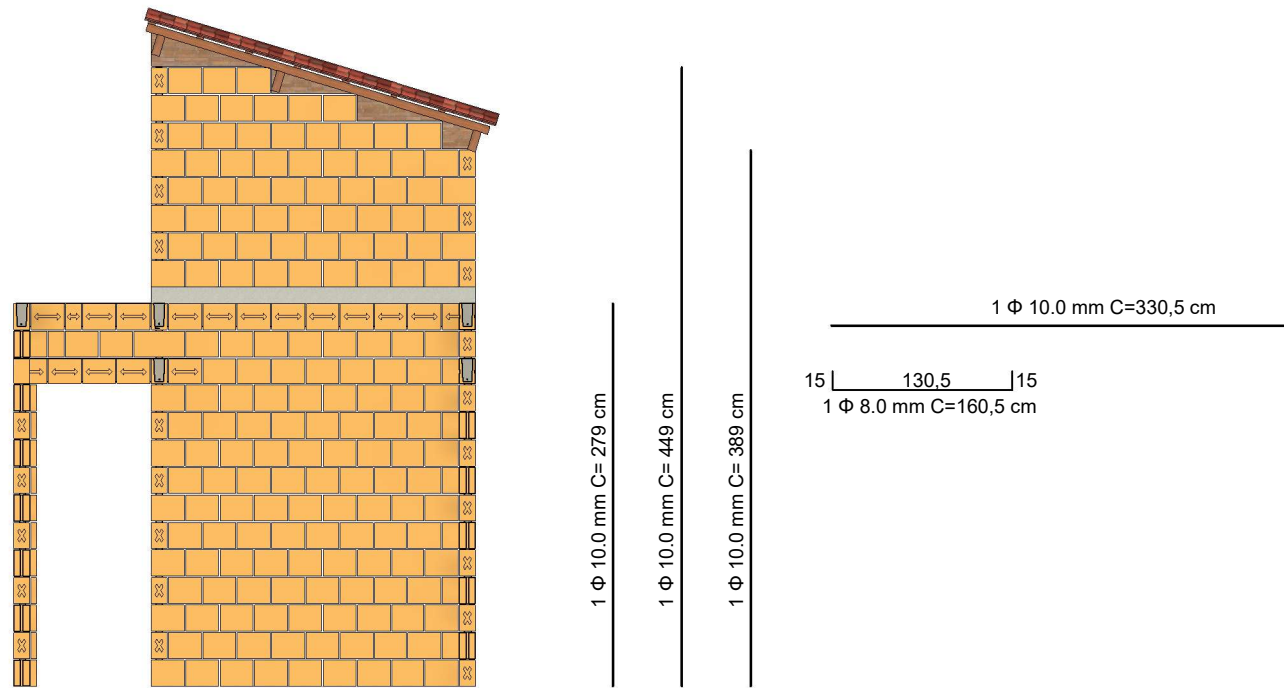
15 168 15
1 Φ 8.0 mm C=198 cm

2 Parede 2
1 : 50

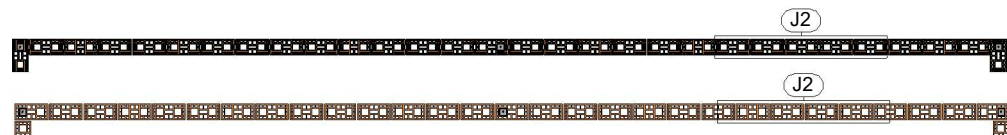
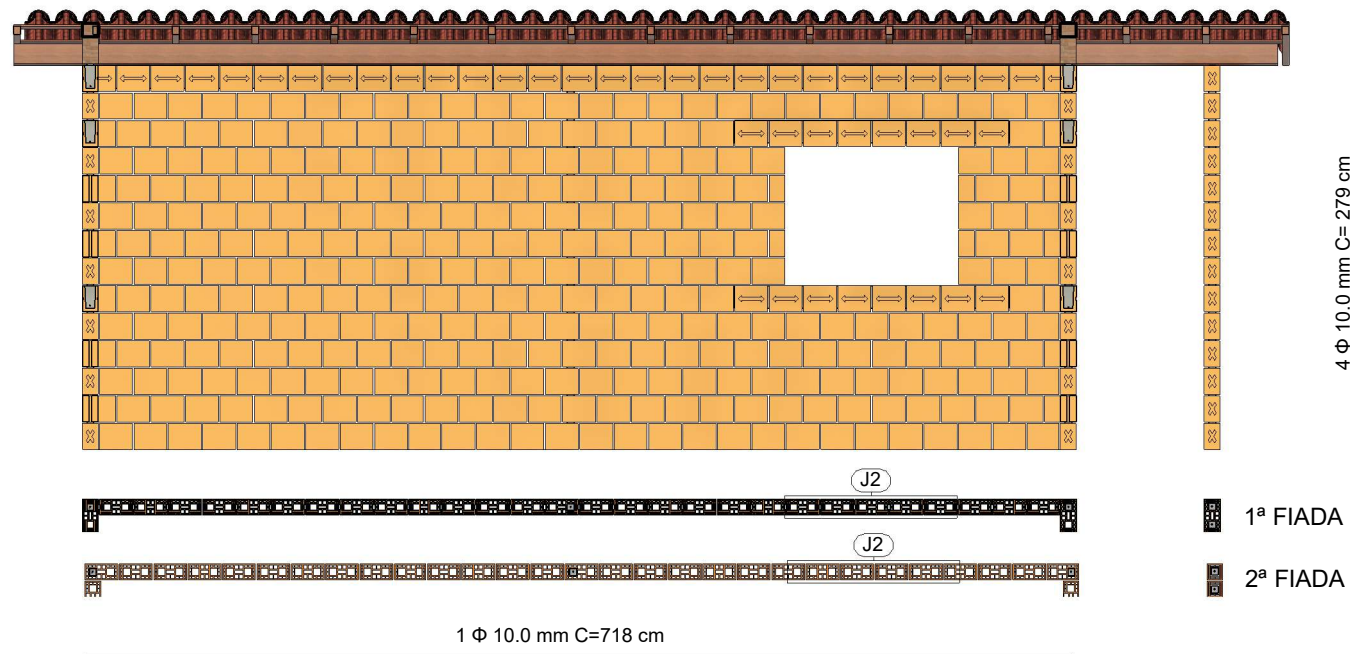
1 Φ 10.0 mm C=330,5 cm
15 130,5 15
1 Φ 8.0 mm C=160,5 cm

		ANGICOS/RN	

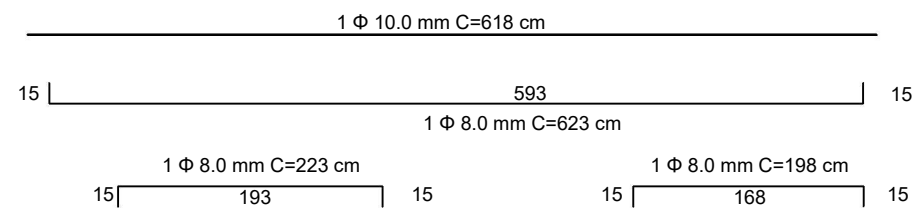
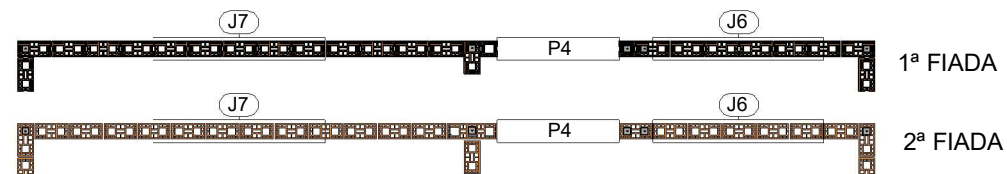
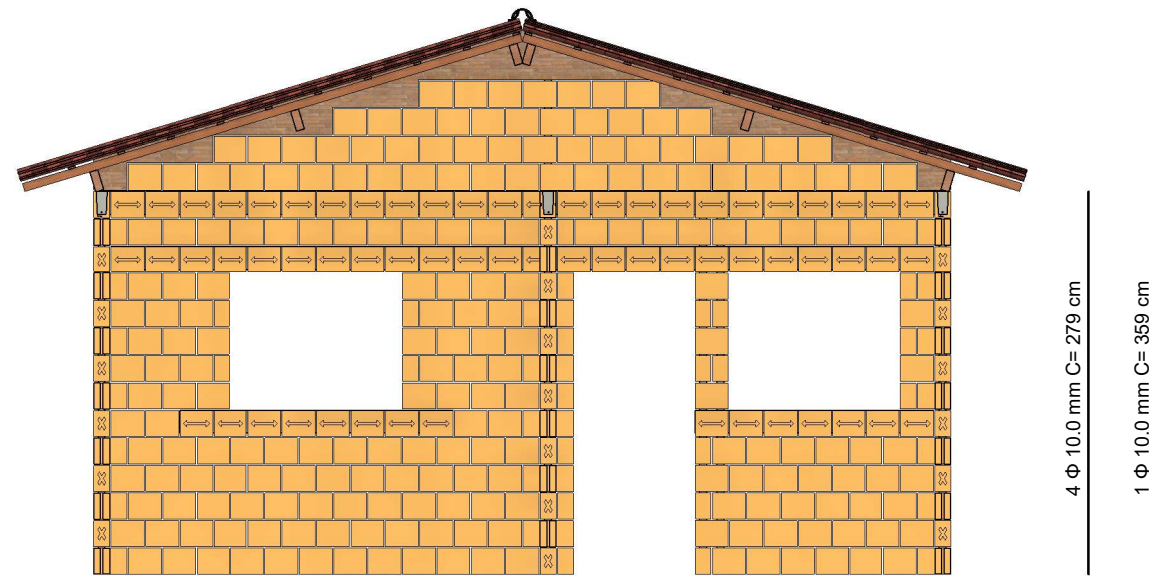
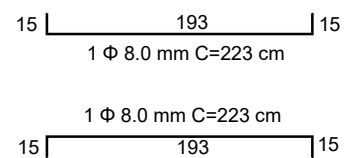
PROJETO:		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 11,5 CM	
Elevações - P1, P2, P3			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
		Área Permeável:	X m²
Endereço:		Angicos	
Data:		2	
Projetista:			
IGOR MATHEUS			
Responsável Técnico:		Verificador	Escala 1 : 50



4 Parede 4
1 : 50



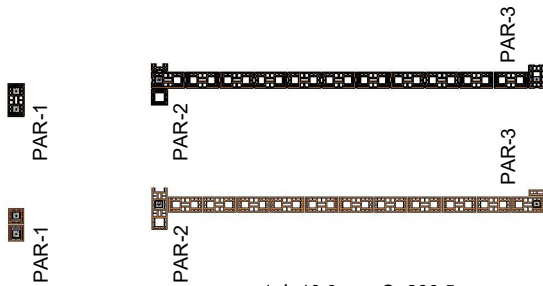
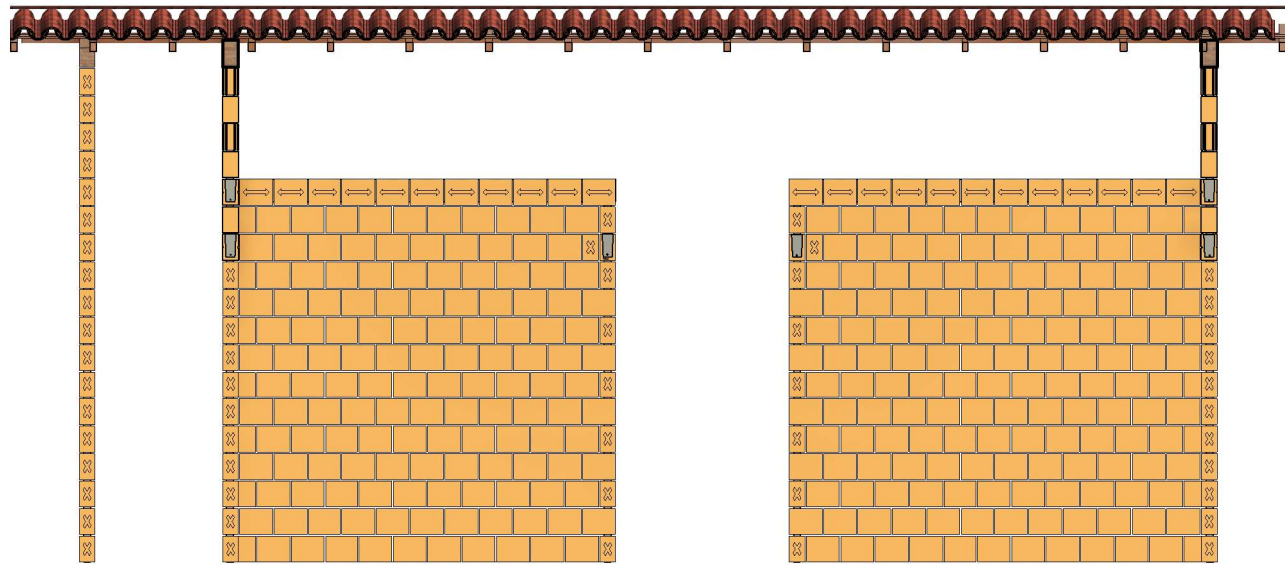
6 Parede 6
1 : 50



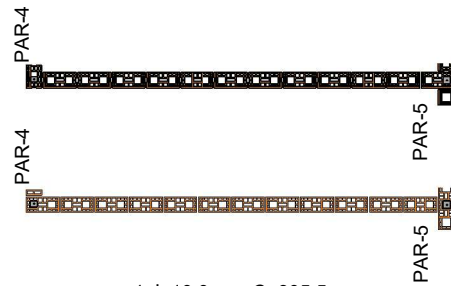
5 Parede 5
1 : 50

		ANGICOS/RN	

PROJETO:		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 11,5 CM	
Elevações - P4, P5, P6			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
		Área Permeável:	X m²
Endereço:		Angicos	
Data:		3	
Projetista:			
IGOR MATHEUS			
Responsável Técnico:		Verificador	Escala 1 : 50



1 Φ 10.0 mm C=280,5 cm



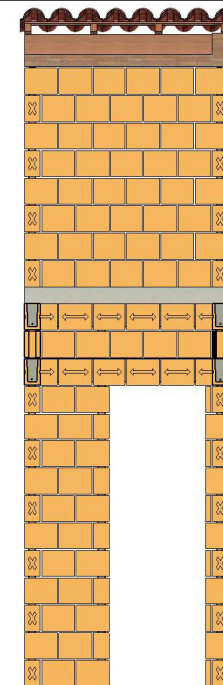
1 Φ 10.0 mm C=305,5 cm

2 Φ 10.0 mm C= 279 cm

3 Φ 10.0 mm C= 359 cm

1ª FIADA

2ª FIADA



1 Φ 10.0 mm C= 449 cm



1ª FIADA

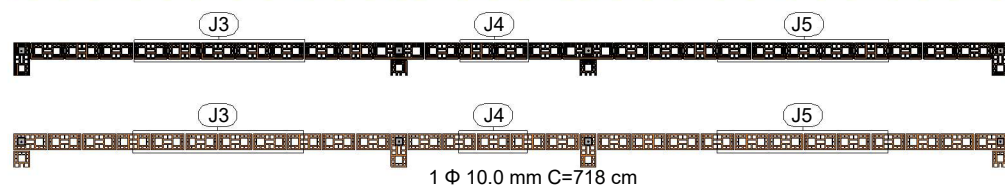
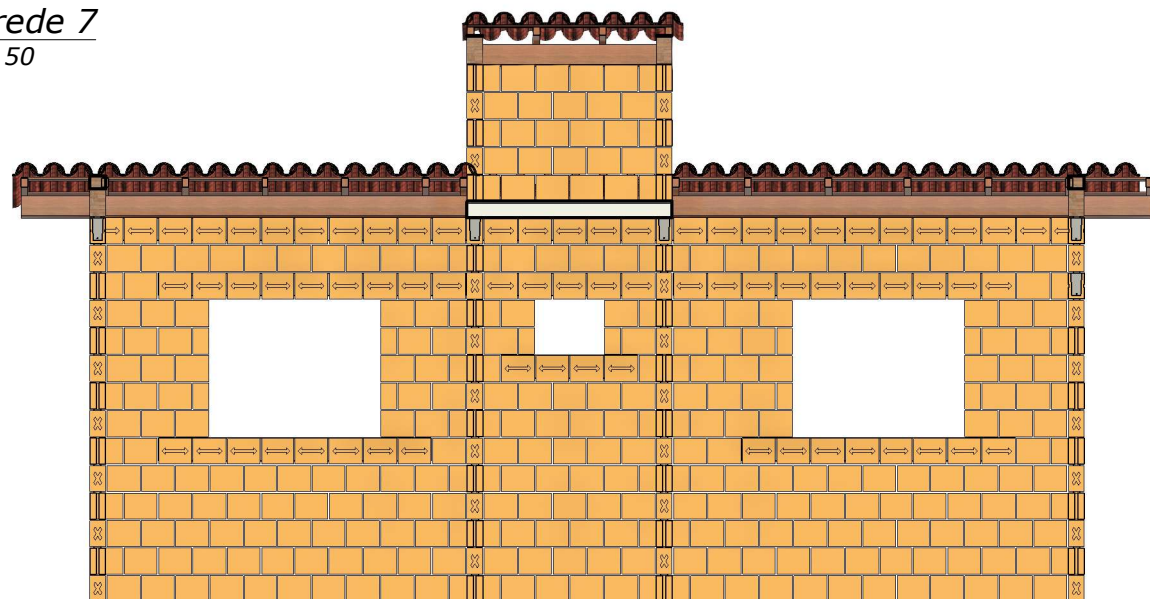


2ª FIADA

1 Φ 10.0 mm C=143 cm

15 | 143 | 15
1 Φ 8.0 mm C=173 cm

8 Parede 8
1 : 50



1ª FIADA

2ª FIADA

1 Φ 10.0 mm C=718 cm

15 | 218 | 15 | 118 | 15 | 243 | 15
1 Φ 8.0 mm C=248 cm 1 Φ 8.0 mm C=148 cm 1 Φ 8.0 mm C=273 cm

1 Φ 8.0 mm C=123 cm

1 Φ 8.0 mm C=223 cm

15 | 93 | 15

1 Φ 8.0 mm C=223 cm

15 | 193 | 15

15 | 193 | 15

2 Φ 10.0 mm C= 279 cm

2 Φ 10.0 mm C= 389 cm

7 Parede 7
1 : 50

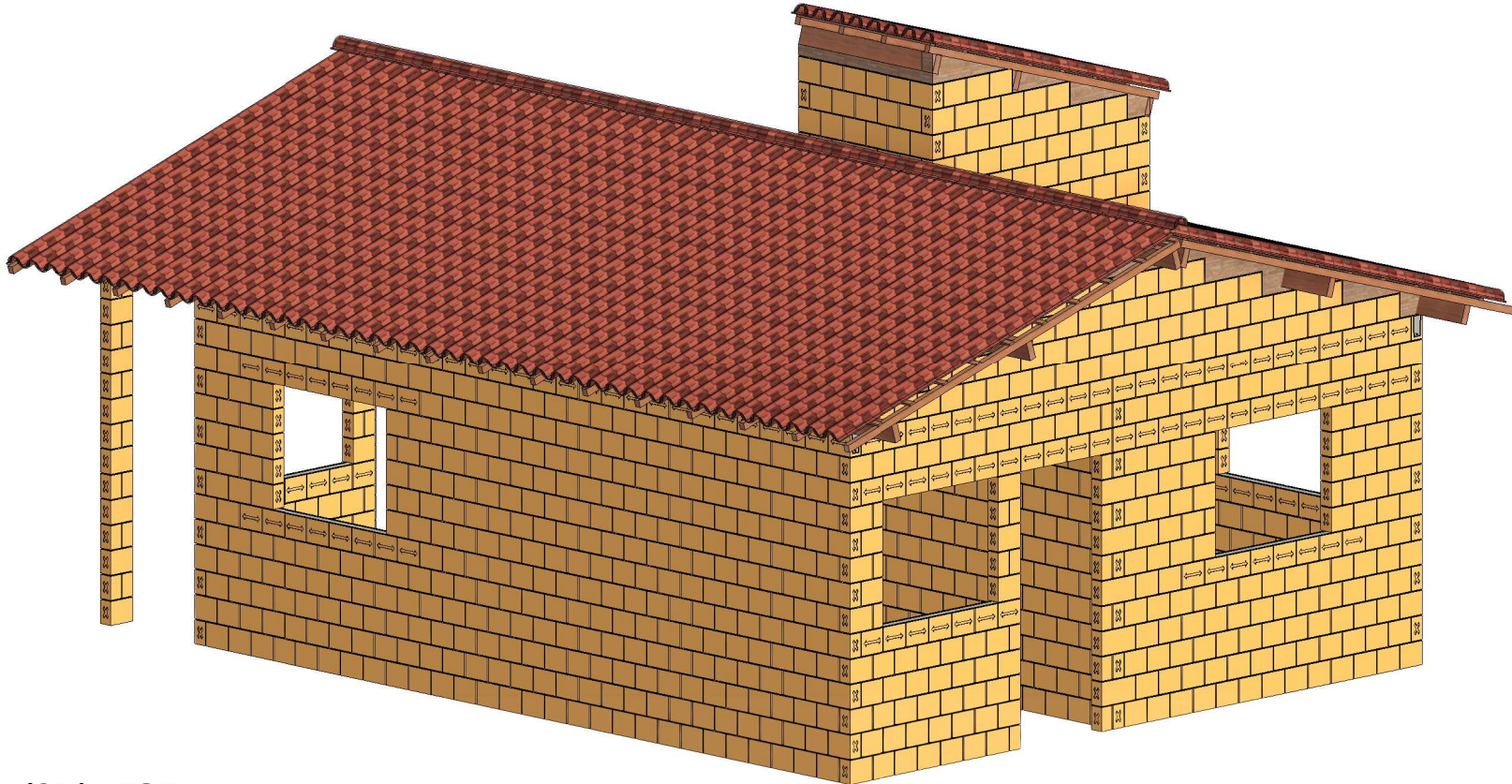
9 Parede 9
1 : 50

ANGICOS/RN

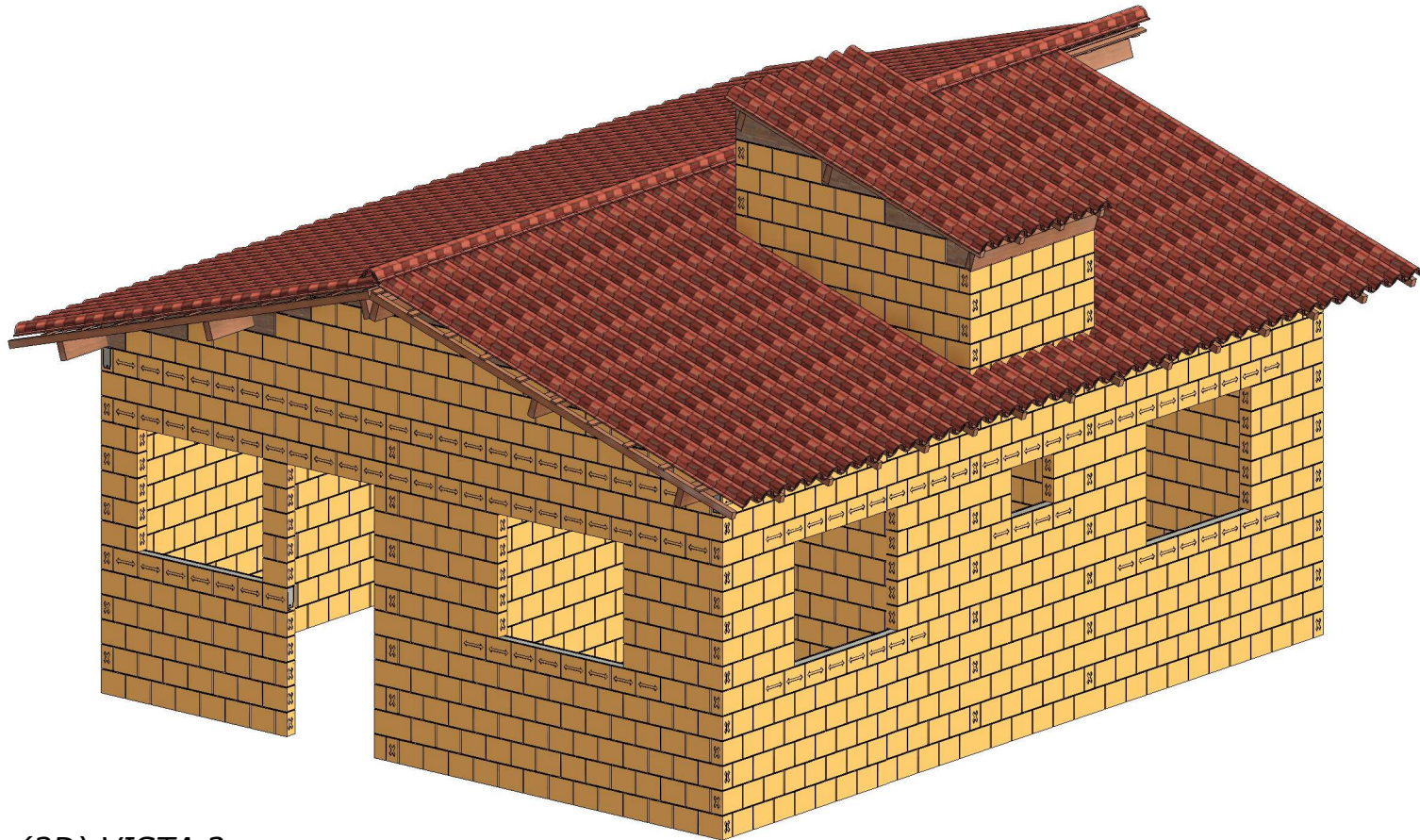
PROJETO:		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 11,5 CM	
Elevações - P7, P8, P9			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
Endereço:	Angicos		Área Permeável:
Data:			X m²
Projetista:	IGOR MATHEUS		
Responsável Técnico:	Verificador		Escala 1 : 50

4

25/04/2024 23:12:29

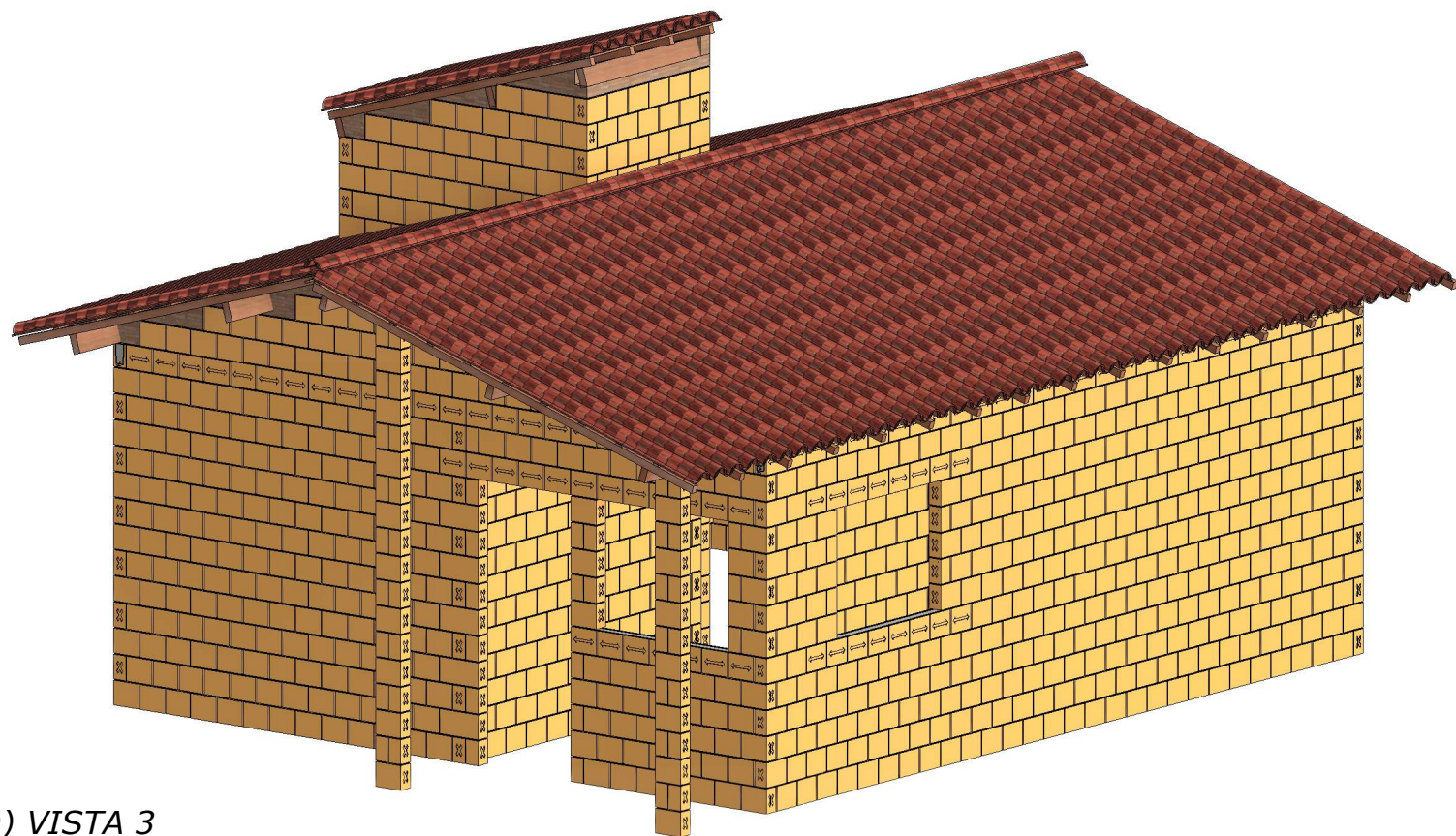


1 (3D) VISTA 1

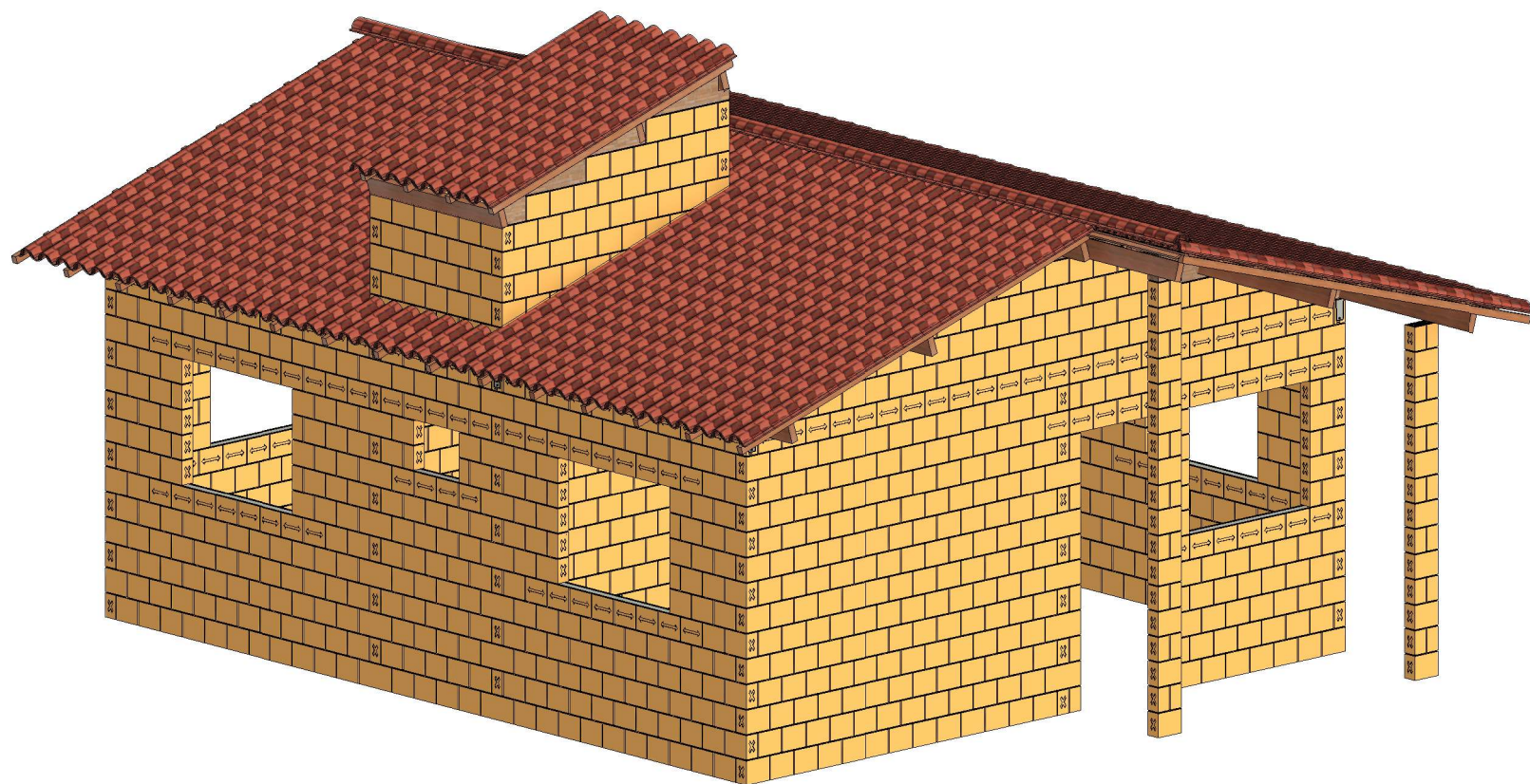


2 (3D) VISTA 2

		ANGICOS/RN	
PROJETO:		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 11,5 CM	
VISTAS 3D - 1 E 2			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
Endereço:	Área Permeável:		X m²
Data:	Angicos		5
Projetista:	IGOR MATHEUS		
Responsável Técnico:	Verificador		
		Escala	



1 (3D) VISTA 3



2 (3D) VISTA 4

		ANGICOS/RN	
PROJETO:		MODULAÇÃO DA FAMÍLIA - 11,5 CM	
VISTAS 3D - 3 E 4			
Área Terreno:	X m²	Área Construída:	42,85 m²
		Área Permeável:	X m²
Endereço:		Angicos	
Data:			
Projetista:		IGOR MATHEUS	
Responsável Técnico:		Verificador	
		Escala	