



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUÍS FILIPE FRANÇA DE ARAÚJO

**MODELAGEM E FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS 3D DE BLOCOS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL DA FAMÍLIA 15x40 PARA APOIO AO ENSINO**

ANGICOS
2025.2

LUÍS FILIPE FRANÇA DE ARAÚJO

**MODELAGEM E FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS 3D DE BLOCOS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL DA FAMÍLIA 15x40 PARA APOIO AO ENSINO**

Trabalho Final de Graduação apresentado à
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

2025.2

© 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.

A663m Araújo, Luís Filipe França de.
Modelagem e fabricação de protótipos 3D de
blocos de alvenaria estrutural da família 15x40
para apoio ao ensino / Luís Filipe França de
Araújo. - 2025.
41 f. : il.

Orientador: Klaus André de Sousa Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2025.

1. Modulação. 2. Impressão 3D. 3. Alvenaria
estrutural. 4. Engenharia civil. I. Medeiros,
Klaus André de Sousa, 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.

LUÍS FILIPE FRANÇA DE ARAÚJO

**MODELAGEM E FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS 3D DE BLOCOS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL DA FAMÍLIA 15x40 PARA APOIO AO ENSINO**

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

Defendida em: 11 / 12 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

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

Rodolfo de Azevedo Palhares, Prof. Dr. (UFJF)
Membro Examinador

Wallison Angelim Medeiros, Prof. Dr. (UFPI)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me conceder força, resiliência e sabedoria para enfrentar os desafios ao longo dessa caminhada e por ter me permitido chegar até aqui.

Aos meus pais e à minha irmã, minha base essencial, agradeço por todo amor, apoio incondicional e incentivo constante ao longo da minha trajetória. Essa conquista é dedicada à vocês.

À minha noiva, agradeço pela paciência, compreensão e por sempre estar ao meu lado, me encorajando e acreditando em mim, mesmo nos momentos mais difíceis. A convivência com você tornou essa jornada mais leve.

Aos amigos e colegas que conheci durante o curso, minha sincera gratidão por cada conversa, momento de descontração, apoio mútuo e incentivo.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) pelas oportunidades oferecidas, pelos aprendizados e pelas experiências que contribuíram de forma significativa para minha formação acadêmica e pessoal.

Ao meu orientador, expresso meu profundo agradecimento pelo privilégio de contar com sua orientação. Sua dedicação, paciência e comprometimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os professores, servidores e funcionários da UFERSA, bem como a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta etapa tão importante da minha vida.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os
seus planos serão bem-sucedidos.”

Provérbios 16:3

RESUMO

Ao abordar conteúdos práticos da engenharia civil, muitas vezes é necessário recorrer a ferramentas que permitam representar de forma clara e acessível elementos construtivos. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de protótipos de blocos da família 15x40 de alvenaria estrutural da modulação M-20, produzidos em escala reduzida por meio da impressão 3D, visando aplicações no ensino. O estudo concentrou-se na modelagem digital das peças no *software* Revit e na posterior fabricação utilizando a impressora 3D Ultimaker 2+ Connect, com ajustes específicos de configuração. Como aplicação prática, os blocos produzidos foram utilizados em sala de aula como recurso didático para auxiliar no aprendizado da disciplina de Alvenaria Estrutural do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Angicos. Dessa forma, este trabalho busca evidenciar a relação entre a teoria e a prática, mostrando como o uso da tecnologia pode enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, além de estimular os discentes a compreenderem de maneira mais concreta os conceitos ligados ao sistema construtivo em alvenaria estrutural.

Palavras-chave: Modulação. Impressão 3D. Alvenaria Estrutural. Engenharia Civil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Primeiros edifícios residenciais no Brasil.....	4
Figura 2	– Esquema de dimensões dos blocos.....	6
Figura 3	– Dimensões das famílias de blocos estruturais	6
Figura 4	– Tipos de blocos da modulação M20 na família 15x40.....	7
Figura 5	– Sobreposição direta de fiadas.....	8
Figura 6	– Encontro de paredes estruturais em L.....	9
Figura 7	– Encontro de paredes estruturais em T.....	10
Figura 8	– Encontro de paredes estruturais em X.....	10
Figura 9	– Protótipo de fundação rasa.....	11
Figura 10	– Aplicação do Kit Mola em uma estrutura.....	12
Figura 11	– Aplicação da impressão 3D.....	13
Figura 12	– Impressora Ultimaker 2+ Connect.....	16
Figura 13	– Interface do software Revit.....	17
Figura 14	– Interface do software Ultimaker Cura.....	18
Figura 15	– Filamento PLA cinza com diâmetro de 2,85 mm.....	19
Figura 16	– Planta baixa arquitetônica.....	20
Figura 17	– Blocos modelados no Revit com as dimensões de impressão.....	21
Figura 18	– Ajuste na planta arquitetônica existente.....	22
Figura 19	– Perspectiva do projeto modelado no Revit.....	22
Figura 20	– Blocos no software Ultimaker Cura.....	23
Figura 21	– Conversão de arquivos dentro do Revit.....	24
Figura 22	– Bloco com preenchimento maciço.....	25
Figura 23	– Bloco com preenchimento de 20%.....	25
Figura 24	– Problema de aderência na mesa de impressão.....	27
Figura 25	– Má formação nas primeiras camadas da impressão.....	27
Figura 26	– Resultado final dos blocos impressos em 3D.....	28
Figura 27	– Aplicação dos protótipos em sala de aula.....	29
Figura 28	– Montagem final.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três Dimensões
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
BIM	Building Information Modeling
PLA	Poliácido Láctico
PVA	Álcool Polivinílico
STL	Standard Triangle Language
TPU	Poliuretano Termoplástico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1	Alvenaria estrutural.....	4
3.2	Modulação.....	5
3.2.1	Modulação M20.....	7
3.3	Tecnologias de prototipagem e impressão 3D.....	10
4	METODOLOGIA.....	15
4.1	Concepção e desenvolvimento dos protótipos.....	15
4.2	Equipamentos.....	16
4.3	Softwares.....	16
4.3.1	Revit.....	17
4.3.2	Ultimaker Cura.....	17
4.4	Materiais.....	18
4.5	Arquitetura como base didática para montagem dos blocos.....	19
5	RESULTADOS.....	21
5.1	Resultados iniciais.....	21
5.2	Diretrizes para o desenvolvimento dos blocos.....	23
5.2.1	Problemas encontrados durante a criação dos blocos.....	23
5.2.2	Procedimentos pré-impressão.....	24
5.2.3	Problemas encontrados durante a impressão dos protótipos.....	26
5.3	Resultado final e aplicações.....	28
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o uso da alvenaria estrutural vem crescendo exponencialmente na construção de edificações residenciais. Nesse sistema construtivo, os blocos servem tanto como elementos de vedação como componentes estruturais. Porém, o ensino no curso de Engenharia Civil enfrenta desafios constantes na exposição de conceitos abstratos, especialmente em disciplinas como alvenaria estrutural, onde a compreensão do arranjo espacial dos blocos, amarrações, fiadas e do funcionamento dos elementos construtivos é essencial.

Para Pinto (2004), tecnologias educacionais vêm surgindo ao longo dos anos e, com isso, as instituições de ensino veem a necessidade de acompanhar tais evoluções. Nesse contexto, a impressão 3D destaca-se como ferramenta inovadora para tornar o ensino mais tangível, visual e interativo. Essa tecnologia é descrita por Volpato (2017) como “um processo de fabricação que envolve a adição progressiva de material em forma de camadas, utilizando informações derivadas diretamente de uma representação computacional 3D do componente”. Assim, permite transformar modelos digitais em objetos físicos, trazendo uma experiência de aprendizado que permite a visualização e manipulação, facilitando a compreensão dos conceitos.

Segundo Vizioli e Veiga (2015), os modelos construídos em impressora 3D têm uma função importante para seus usuários, pois possibilita a interação tátil com os protótipos 3D que antes eram visualizados a partir de croquis explicativos. Outro papel que a impressora 3D exerce no ambiente estudantil é o de inclusão por parte dos alunos com baixa acuidade visual, pois, através de materiais táteis, é possível compreender por meio do contato e da imaginação dos alunos que tenham essa necessidade especial (Pires, 2019).

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de protótipos de blocos de alvenaria estrutural em escala reduzida, por meio de impressão 3D, como ferramenta de apoio didático para a disciplina de Alvenaria Estrutural no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Angicos. A iniciativa busca transformar o ensino teórico por meio de uma abordagem prática, incentivando a aprendizagem ativa.

Este estudo integra o projeto de pesquisa intitulado “Desenvolvimento e produção de blocos de alvenaria estrutural em escala reduzida por impressão 3D como recurso educacional”, vinculado à UFERSA, campus Angicos. Tal projeto de pesquisa busca desenvolver protótipos de blocos de alvenaria estrutural em escala reduzida para uso didático,

utilizando a impressão 3D como ferramenta para aprimorar o ensino de modulação, coordenação dimensional e processos construtivos, promovendo maior interação entre teoria e prática. A primeira etapa concentrou-se na concepção e produção dos protótipos referentes à modulação M-15. O presente trabalho corresponde à segunda etapa do projeto, dedicada especificamente à elaboração dos blocos da modulação M-20 da família 15x40 .

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver e aplicar protótipos em escala reduzida de blocos de alvenaria estrutural da família 15x40 (modulação M-20), produzidos por meio da tecnologia de impressão 3D, como recurso didático para apoiar o processo de ensino e aprendizagem na disciplina no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Angicos.

2.2 Objetivos específicos

- Modelar, por meio de *softwares* computacionais, a geometria dos blocos de alvenaria estrutural da família 15x40 (modulação M-20), em escala reduzida;
- Quantificar os blocos necessários para a impressão da 1ª e 2ª fiadas;
- Produzir os protótipos por meio da impressão 3D;
- Realizar eventuais ajustes na planta arquitetônica previamente utilizada no projeto de pesquisa, de modo a adaptá-la para servir como base para a aplicação didática dos blocos em sala de aula;
- Demonstrar a aplicabilidade dos protótipos no apoio didático da disciplina;
- Contribuir para o desenvolvimento de recursos educacionais inovadores no ensino da Engenharia Civil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Alvenaria estrutural

No sistema construtivo em alvenaria estrutural, a parede é empregada para fins de transmissão de esforços, e a limitante fundamental para o dimensionamento é a definição das paredes estruturais e das tipologias de lajes. Segundo Mohamad (2024), a alvenaria estrutural funciona ao mesmo tempo como elemento de vedação e elemento estrutural, com a função de absorver e suportar cargas.

Do ponto de vista histórico, a alvenaria estrutural remonta às primeiras civilizações. Povos da Mesopotâmia utilizavam blocos de barro na construção de templos e muralhas; no Egito Antigo, as pirâmides representam exemplos da aplicação do método construtivo. Ramalho e Corrêa (2003) explicam que a alvenaria estrutural é um sistema construtivo muito tradicional, tendo sido muito utilizado desde o início da atividade humana de executar estruturas para os mais variados fins. No Brasil, a utilização da alvenaria estrutural ganhou destaque a partir da década de 1960, principalmente em projetos habitacionais, devido ao baixo custo e à rapidez construtiva. Estima-se que os primeiros edifícios construídos no Brasil “foram executados com blocos de concreto e tinham apenas quatro pavimentos” (Ramalho; Corrêa, 2003). A Figura 1 mostra um dos primeiros edifícios residenciais construídos no Brasil com o uso da alvenaria estrutural.

Figura 1 - Primeiros edifícios residenciais no Brasil



Fonte: Ramalho e Corrêa (2003)

Tecnicamente, a alvenaria estrutural é composta por blocos, argamassa e, quando necessário, graute e armaduras de aço. Esses elementos devem atuar de forma integrada para garantir resistência e estabilidade. Essa característica faz com que esse sistema ganhe vantagem com relação a outros métodos construtivos, principalmente quando se refere à redução de custos com formas e concreto armado, à otimização da mão de obra e à diminuição de resíduos, visto que os resíduos do setor da construção civil representam de 40% a 60% da massa de resíduos sólidos urbanos (PEDRO, 2018). No entanto, apresenta limitações, como o arranjo espacial das paredes estruturais e a necessidade de amarração entre os elementos, o comprimento e a altura dos painéis de paredes estruturais, que podem afetar a esbeltez do elemento e a impossibilidade de remoção posterior das paredes estruturais.

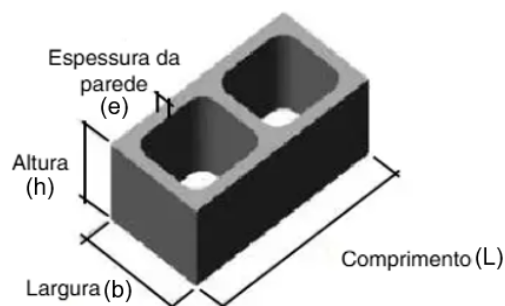
3.2 Modulação

A modulação na alvenaria estrutural é um dos princípios centrais para a racionalização do processo construtivo, pois estabelece a padronização dos blocos, juntas e demais componentes associados. Melo (2020) define que a modulação pode ser estimada como sendo a parte de maior relevância do projeto em alvenaria estrutural, devido ao fato de que essa garante que se tenha a racionalização da produção. Sendo assim, a modulação adequada gera a integração entre as etapas de projeto e execução, permitindo maior compatibilidade especialmente com as disciplinas de arquitetura e de estruturas, além de reduzir desperdícios e retrabalhos.

A unidade de alvenaria é caracterizada por três dimensões principais: comprimento, largura e altura. O comprimento e a largura são responsáveis pela determinação do módulo horizontal, enquanto a altura define o módulo vertical da edificação. Como explica a NBR 6136:2016, as dimensões de largura, altura e comprimento devem ser múltiplas do módulo básico e de seus submódulos (ABNT, 2016). Dessa forma, possibilitando que as dimensões da edificação sejam planejadas de acordo com os elementos disponíveis no mercado.

No Brasil, existem diferentes modulações de blocos estruturais importantes, como, por exemplo, as M-15 e M-20, em que os blocos apresentam, respectivamente, dimensões nominais $L = 290 \text{ mm}$, $h = 190 \text{ mm}$ e $L = 390 \text{ mm}$, $h = 190 \text{ mm}$, conforme a Figura 2. Somando à espessura da junta de argamassa de 10 mm, os blocos atingem o seu módulo final. Inclui-se a utilização de meios-blocos, blocos compensadores e canaletas, que são projetados especificamente para complementar o arranjo modular e possibilitar maior flexibilidade de paginação.

Figura 2 - Esquema de dimensões dos blocos



Fonte: Adaptado de ABNT (2016)

Existem ainda famílias derivadas, conforme apresentado na Figura 3. Cada uma delas é aplicada de acordo com as exigências de projeto, de modo a atender às necessidades de cada empreendimento.

Figura 3 - Dimensões das famílias de blocos estruturais

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140

NOTA 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento.
 NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873.
 NOTA 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.

Fonte: ABNT (2016)

A modulação M-20 é uma das mais aplicadas nos projetos de alvenaria estrutural no Brasil. Apesar disso, a compreensão prática dessa modulação ainda representa um desafio para estudantes e profissionais da Engenharia Civil. Isso ocorre porque a lógica modular não se restringe apenas às medidas, mas envolve o entendimento de conceitos como arranjo dos blocos, amarrações, fiadas e funcionamento dos elementos construtivos.

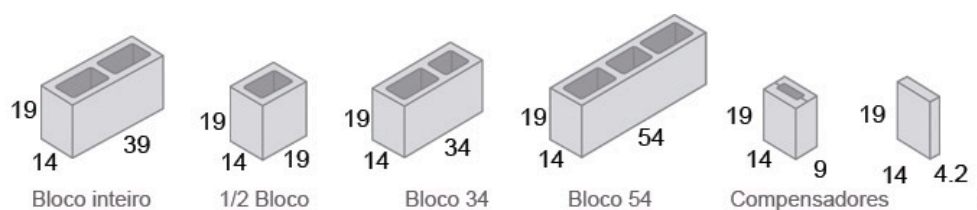
Diante disso, e considerando a integração deste estudo ao projeto de pesquisa anteriormente mencionado, este trabalho delimita seu foco na modulação M-20, mais precisamente na família 15x40.

3.2.1 Modulação M-20

A modulação M-20 é um sistema amplamente utilizado na alvenaria estrutural. Tal modulação define que as medidas de projeto devem ser múltiplos de 20 cm, resultantes da soma das dimensões nominais dos blocos estruturais e das juntas de argamassa de 1 cm. O módulo horizontal é definido pela soma do comprimento do bloco e da junta, perfazendo múltiplos de 20 cm. Da mesma forma, no sentido vertical, é formado pela altura do bloco (19 cm) acrescida da espessura da junta horizontal de argamassa (1 cm), resultando em fiadas com 20 cm de altura.

O bloco mais utilizado é o bloco inteiro, com dimensões nominais de $b = 14$ cm, $h = 19$ cm e $L = 39$ cm. Esse bloco serve como referência para a modulação, sendo aplicado em paredes com espessura de 14 cm. Além do bloco inteiro, são empregados blocos complementares e especiais, como mostra a Figura 4, garantindo a coordenação modular e o correto dimensionamento das fiadas.

Figura 4 - Tipos de blocos da modulação M-20 na família 15x40



Fonte: Pavertech (2020)

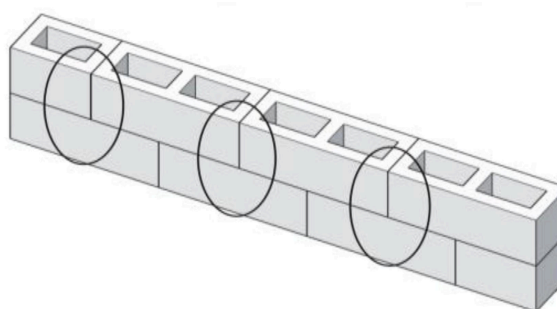
O meio bloco, com metade do comprimento do bloco inteiro, tem como principal função realizar compensações lineares e amarrações alternadas entre fiadas, prevenindo o alinhamento das juntas verticais. O bloco 54, com 54 cm de comprimento, é utilizado nos encontros de paredes em “T” ou em “X”, assegurando a amarração adequada entre as paredes transversais e longitudinais. Já os blocos 34, com 34 cm de comprimento, são empregados especificamente em amarrações em “L”, permitindo o ajuste correto das fiadas sem romper o módulo e garantindo a continuidade estrutural das paredes.

O uso do bloco 34 está restrito à família de blocos 15x40, uma vez que a largura do bloco (15 cm) não é múltipla de 20 cm. Essa condição faz com que os vazados verticais das fiadas não coincidam exatamente quando ocorre o encontro em “L”, o que comprometeria a continuidade da amarração. Logo, o bloco de 34 cm torna-se indispensável para corrigir essa defasagem, permitindo que o encontro das paredes mantenha o alinhamento e o prumo estrutural, de acordo com os princípios da modulação M-20.

Por outro lado, em famílias de blocos 20x40, essa limitação não se manifesta. Como a largura é múltipla de 20 cm, há compatibilidade completa entre as dimensões horizontais e verticais do módulo, o que garante a coincidência dos vazados e elimina a necessidade do bloco 34 nas amarrações em “L”. Essa característica torna o sistema mais racionalizado e simples de executar, reduzindo o número de peças especiais.

A sobreposição direta de fiadas consiste em dispor os blocos de fiadas consecutivas de forma alternada (Figura 5), impedindo a formação de juntas verticais contínuas, consideradas linhas de fraqueza estrutural. Esse traçado alternado, no qual as fiadas ímpares e pares se intercalam, é essencial para o bom desempenho da parede, pois proporciona maior rigidez, melhor distribuição dos esforços verticais e horizontais e reduz a probabilidade de fissuração nas regiões de encontro e nos cantos.

Figura 5 - Sobreposição direta de fiadas



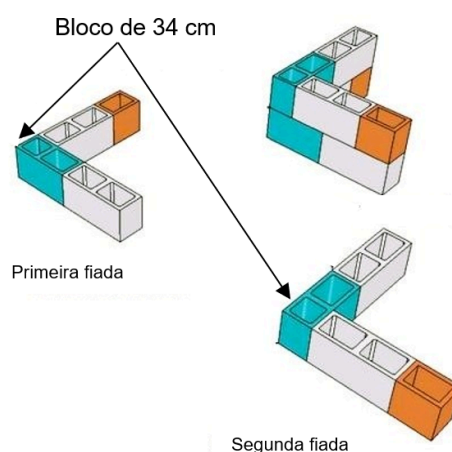
Fonte: Mohamad (2015)

Quando se fala em amarração, é importante entender que se trata da união entre paredes adjacentes ou perpendiculares, integrando todo o conjunto. Essa integração é essencial para que haja uma distribuição uniforme dos esforços, além de contribuir para a prevenção de fissuras nas junções.

Entre os principais tipos de amarração, destaca-se a amarração em “L”, que ocorre nos cantos das edificações, onde duas paredes se encontram formando um ângulo de 90°, como mostrado na Figura 6. Para que esse encontro suporte e distribua adequadamente os esforços,

é fundamental que haja sobreposição entre as fiadas, ou seja, as fiadas pares devem se sobrepor às ímpares de maneira intercalada, evitando o alinhamento de juntas verticais. Quando essa sobreposição não é geometricamente compatível, utiliza-se bloco especial de canto, como o bloco 34, ou combinações de meio-bloco com bloco inteiro, assegurando que o fechamento do vértice respeite o módulo de 20 cm estabelecido pela modulação M-20.

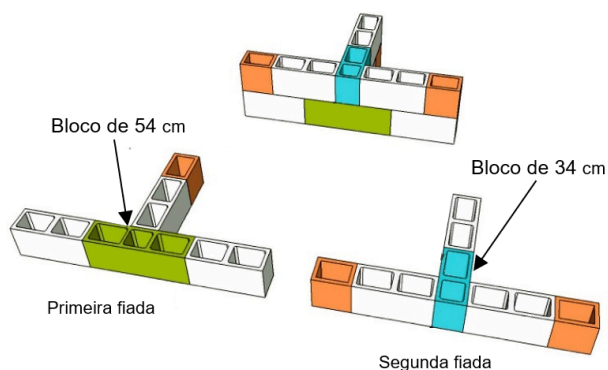
Figura 6 - Encontro de paredes estruturais em L



Fonte: Adaptado de Mohamad (2015)

Já a amarração em “T” ocorre quando uma parede transversal se une perpendicularmente a outra. Esse tipo de encontro exige uma configuração de blocos que permita a continuidade dos vazados verticais e o perfeito alinhamento das superfícies, evitando desníveis ou deslocamentos abruptos entre os painéis. No sistema modular M-20 com a família 15x40, é necessário o uso dos blocos de 34 cm e 54 cm nesse tipo de amarração, como mostra a Figura 7.

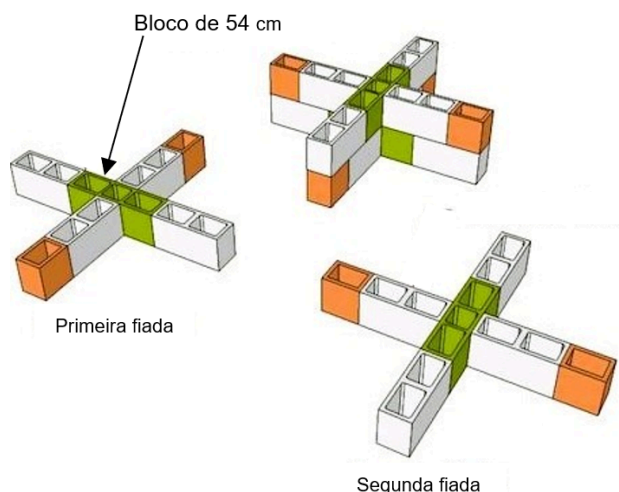
Figura 7 - Encontro de paredes estruturais em T



Fonte: Adaptado de Mohamad (2015)

A amarração em “X” ocorre quando duas paredes se cruzam, formando quatro ramificações, conforme ilustra a Figura 8. O princípio construtivo é semelhante ao da amarração em “T”, porém, aplicando o bloco de 54 cm simultaneamente nas duas direções.

Figura 8 - Encontro de paredes estruturais em X



Fonte: Adaptado de Mohamad (2015)

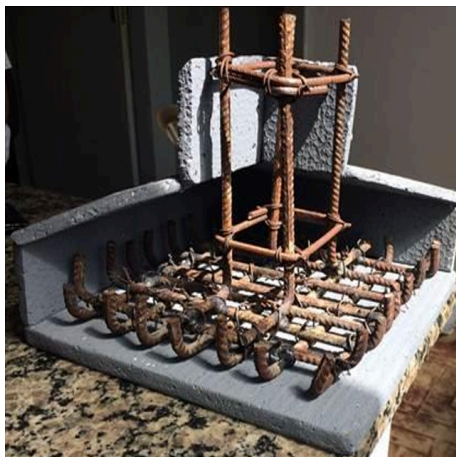
3.3 Tecnologias de prototipagem e impressão 3D

O uso de modelos e protótipos físicos tem papel essencial no ensino da Engenharia Civil, pois permite ao discente compreender de forma concreta os princípios construtivos e materiais que regem o ambiente edificado. De modo geral, o termo prototipagem refere-se ao processo de criação de um modelo físico ou virtual que representa um sistema, componente ou estrutura. Conforme explica o dicionário Priberam (2025), protótipo é “um modelo original que serve de exemplo ou padrão para outros”, conceito que, aplicado ao contexto educacional, se traduz na representação tangível de conceitos teóricos, facilitando o aprendizado.

Historicamente, a prototipagem tem sido utilizada como uma ferramenta de experimentação e validação de projetos. No contexto da engenharia civil, essa prática permite visualizar e testar aspectos relacionados à geometria, estabilidade, comportamento estrutural e construtibilidade. A prototipagem tradicional, por sua vez, continua sendo amplamente empregada no ensino de engenharia e arquitetura devido à sua simplicidade e baixo custo. As maquetes físicas favorecem a compreensão de escalas, proporções e soluções espaciais, além de possibilitarem discussões sobre o processo construtivo. Segundo Pupo e Celani (2008), essas representações cumprem um papel pedagógico essencial, especialmente nas etapas

iniciais de aprendizagem, ao estimular o raciocínio tridimensional e a percepção construtiva dos estudantes. A Figura 9 mostra o uso da prototipagem tradicional aplicada ao ensino de fundações rasas.

Figura 9 - Protótipo de fundação rasa



Fonte: Costa e Neto (2019)

Outro tipo relevante é o Kit Mola, amplamente utilizado na engenharia estrutural para simular o comportamento elástico de estruturas submetidas a cargas. Por meio de molas, fios e barras flexíveis, é possível representar o funcionamento de vigas, pórticos e treliças, permitindo a observação dos deslocamentos, rotações e tensões internas de forma visual. Esse tipo de prototipagem possui grande valor didático, pois verifica-se que seu uso apresenta um método de aprendizagem que engloba demonstração visual e assimilação de conhecimentos prévios dos alunos (Gomes, Osório e Valente, 2017). A Figura 10 mostra a aplicação do Kit Mola na modelagem de uma estrutura.

Figura 10 - Aplicação do Kit Mola em uma estrutura



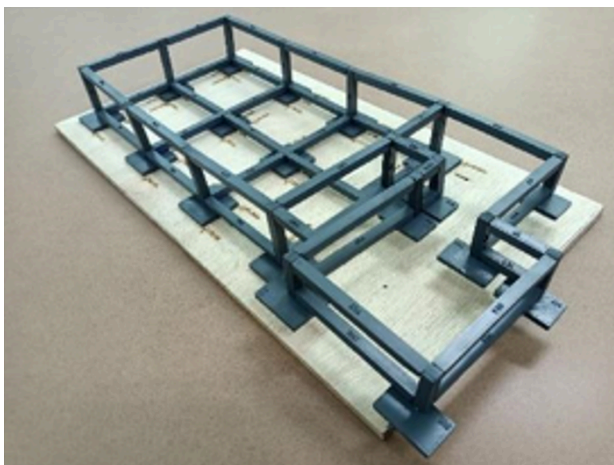
Fonte: Oliveira (2008)

Com o surgimento de tecnologias para prototipagem, foi possível acelerar o processo de desenvolvimento de produtos e permitir a materialização de modelos físicos a partir de projetos digitais. Segundo Volpato (2017), essa tecnologia consiste em um conjunto de técnicas que produzem objetos tridimensionais, diretamente a partir de modelos digitais gerados em *softwares* de modelagem computacional. Essa prática possibilita a visualização e análise de conceitos de maneira mais eficiente quando comparadas com métodos tradicionais de fabricação.

Entre as tecnologias de prototipagem, destaca-se a impressão 3D, por se basear na impressão por camadas de material até a completa formação do objeto. De acordo com Gibson, Rosen e Stucker (2021), esse processo se diferencia dos métodos convencionais de fabricação, pois reduz desperdícios de material e permite a criação de geometrias complexas com precisão.

A impressão 3D vem sendo utilizada em diversos setores onde tem contribuído tanto para o desenvolvimento de componentes construtivos em escala real quanto para o ensino da Engenharia Civil, possibilitando a confecção de protótipos em escala reduzida. A Figura 11 mostra o uso da impressão 3D no ensino do curso de Engenharia Civil.

Figura 11 - Aplicação da impressão 3D



Fonte: Machado, Sousa e Capibaribe (2024)

A análise dos diferentes tipos de prototipagem evidencia que cada abordagem apresenta contribuições e limitações. A prototipagem tradicional, por meio de maquetes físicas, destaca-se pelo baixo custo e pela facilidade de execução, favorecendo a compreensão de escalas, proporções e soluções espaciais. Entretanto, apresenta limitações quanto à precisão dimensional, padronização e fidelidade geométrica, especialmente quando aplicada à

representação de sistemas construtivos modulares, como a alvenaria estrutural. O Kit Mola constitui uma importante ferramenta didática para a visualização do comportamento estrutural e dos esforços internos, porém sua aplicação restringe-se à simulação conceitual de estruturas, não sendo adequado para a representação de aspectos construtivos, como modulação, amarração e disposição de fiadas.

Diante das diferentes abordagens de prototipagem utilizadas no ensino da Engenharia Civil, o presente trabalho concentra-se especificamente no desenvolvimento de protótipos físicos por meio da impressão 3D. Apesar de demandar conhecimento técnico e acesso a equipamentos específicos, essa tecnologia supera as limitações dos métodos tradicionais ao viabilizar a produção de múltiplos blocos idênticos, condição essencial para o estudo da lógica modular da alvenaria estrutural.

No contexto do presente estudo, essa tecnologia foi aplicada à modelagem e fabricação de blocos de alvenaria estrutural da modulação M-20 da família 15x40, em escala reduzida, com o objetivo de auxiliar o processo de ensino sobre modulação, amarração e disposição das fiadas. A utilização dos modelos finais nesse contexto didático busca aproximar os estudantes da prática construtiva, permitindo a visualização e manipulação dos blocos de forma física, o que favorece a compreensão dos princípios da lógica dessa modulação.

4 METODOLOGIA

De acordo com o que explica Gil (2019), a presente pesquisa caracteriza-se como um estudo qualitativo, de natureza aplicada, voltado à produção de conhecimentos direcionados à solução de problemas específicos. Ademais, possui caráter exploratório e de intervenção, uma vez que seu propósito central consiste no desenvolvimento de protótipos de blocos de alvenaria estrutural da modulação M-20 da família 15x40, em escala reduzida, com a intenção de que possam ser utilizados no ensino da disciplina do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Angicos. Para melhor organização, a apresentação da metodologia foi estruturada em cinco eixos principais: Concepção e desenvolvimento dos protótipos; Equipamentos; *Softwares*; Materiais; e Arquitetura como base didática para montagem dos blocos.

4.1 Concepção e desenvolvimento dos protótipos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário buscar embasamento teórico em artigos científicos, livros e trabalhos acadêmicos. A partir de então, deu-se início à etapa de modelagem dos protótipos da modulação M-20, que possibilitou a criação dos modelos digitais. A modelagem foi desenvolvida em escala 1:8 no *software* Revit, utilizando milímetros como unidade de medida para garantir maior precisão das dimensões dos blocos. Essa escala foi adotada com o objetivo de obter protótipos que não se apresentassem excessivamente grandes ou demasiadamente pequenos. Essa escolha buscou garantir um equilíbrio entre facilidade de manuseio, clareza visual e viabilidade de fabricação, permitindo que os elementos fossem manipulados, organizados e montados de forma confortável durante as atividades didáticas.

Após isso, foi selecionada uma planta arquitetônica de referência, cuja modelagem também foi feita no Revit, possibilitando a quantificação dos blocos necessários para a etapa de impressão. Em seguida, procedeu-se à exportação do arquivo Revit para o formato STL, de forma a facilitar a edição e criação de arquivos suportados pela impressora 3D. Cada arquivo gerado foi importado no *software* Ultimaker Cura, no qual foram configurados parâmetros essenciais, como a posição das peças na bandeja da impressora, a velocidade, a qualidade da impressão, a densidade interna e a estrutura de suporte.

4.2 Equipamentos

Para o prosseguimento da pesquisa e para que fosse possível imprimir os protótipos, foi necessária a utilização de uma impressora 3D. O equipamento utilizado foi a Ultimaker 2+ Connect (Figura 12), disponibilizada pelo Laboratório de Projetos e Desenvolvimento de Produto do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Angicos.

Figura 12 - Impressora Ultimaker 2+ Connect



Fonte: Elaborado pelo autor

Esse modelo de impressora possibilita duas formas de leitura dos arquivos a serem impressos, sendo elas: por *pen drive* e por *Wi-Fi*. Além disso, suas configurações são simples e de fácil entendimento, até mesmo para pessoas sem experiência no assunto.

4.3 Softwares

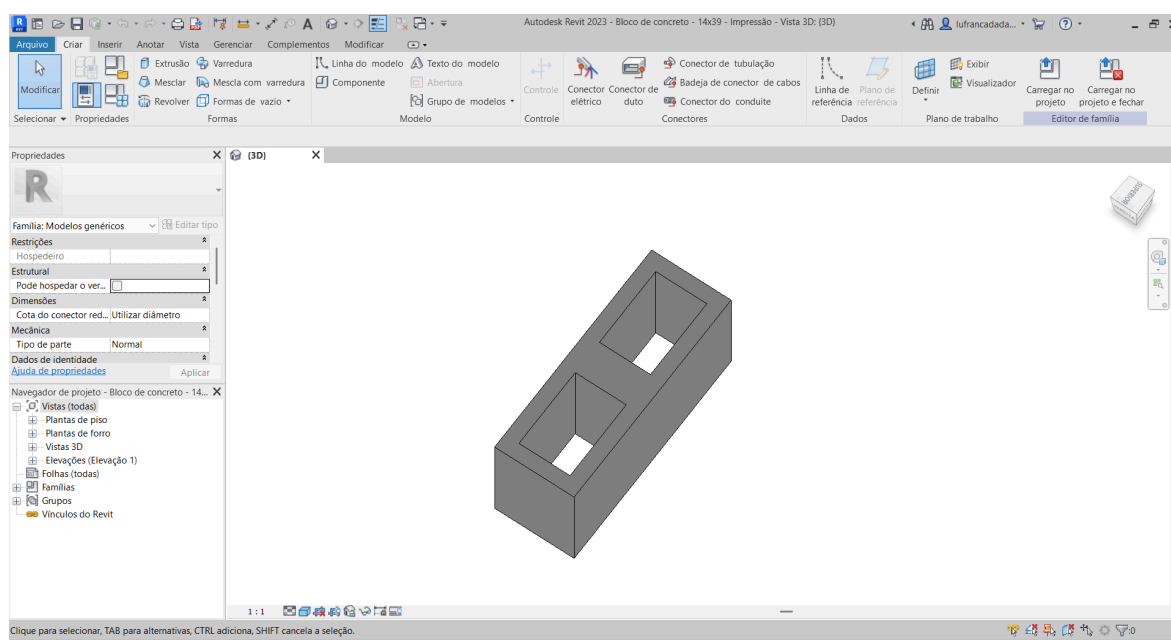
Para a criação, testes e ajustes dos blocos, foi essencial a utilização de *softwares* computacionais que possibilitaram a visualização tridimensional dos modelos antes da etapa de impressão. Foram utilizados os *softwares* Revit e Ultimaker Cura.

4.3.1 Revit

O Revit consolidou-se como um dos principais *softwares* utilizados nos campos da arquitetura, engenharia e construção civil. Seu propósito central é permitir a modelagem de informações da construção (BIM), possibilitando a criação de projetos tridimensionais detalhados e coordenados.

Por possuir uma interface moderna e ferramentas voltadas especificamente para a construção civil, o Revit exige um nível de experiência mais avançado em comparação a *softwares* mais simples. No entanto, essa característica é compensada pela riqueza de recursos e pela capacidade de gerar modelos fiéis à realidade. Na Figura 13 é possível visualizar a modelagem de um bloco, bem como a interface do *software* e algumas de suas ferramentas disponíveis.

Figura 13 - Interface do *software* Revit



Fonte: Elaborado pelo autor

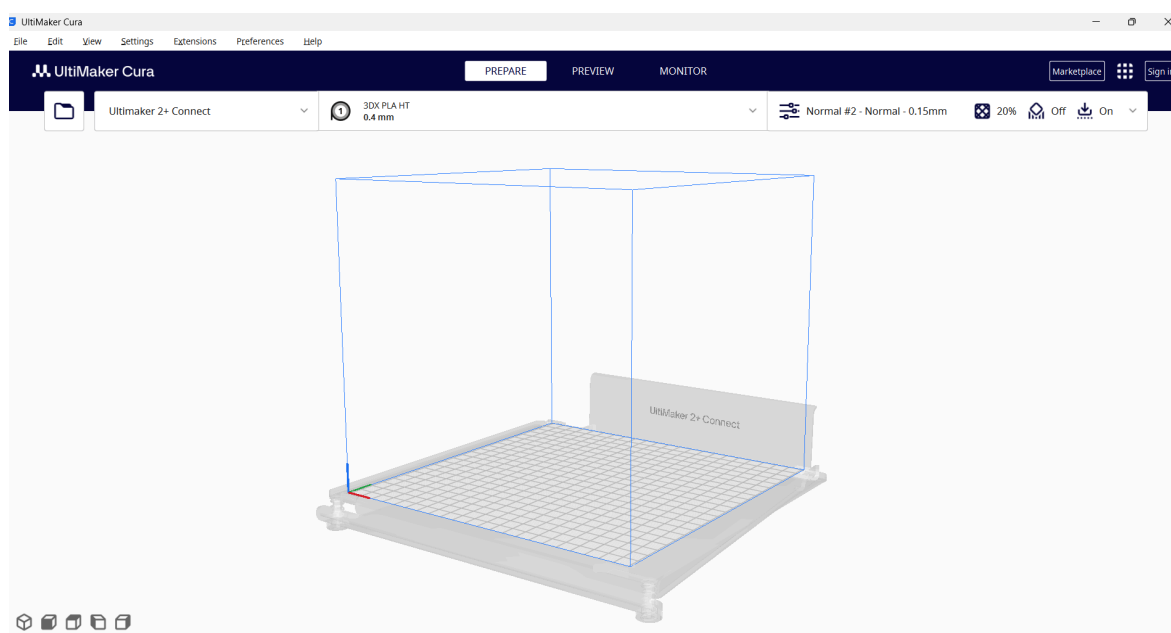
4.3.2 Ultimaker Cura

O Ultimaker Cura tem como principal função converter modelos tridimensionais em arquivos legíveis para a impressora 3D, configurando parâmetros como escala, qualidade da impressão, velocidade, densidade interna e estrutura de suporte das peças. Essa flexibilidade

permite que usuários ajustem os modelos digitais de acordo com as necessidades específicas do protótipo a ser produzido.

O software possui uma interface intuitiva que facilita a visualização das peças e o posicionamento adequado na bandeja de impressão. O Ultimaker Cura apresenta aprendizagem acessível, tornando-se útil tanto para iniciantes quanto para usuários mais experientes. Na Figura 14, observam-se a interface do programa e alguns de seus recursos.

Figura 14 - Interface do *software* Ultimaker Cura



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Materiais

Para que um objeto seja impresso, é necessária a utilização de um material conhecido como filamento. Tal material é constituído de polímeros termoplásticos, que apresentam consistência plástica e são moldados em formato de fio, geralmente enrolados em carretéis para facilitar seu manuseio. Para que o filamento se torne moldável, é necessário o aquecimento realizado pelo extrusor da impressora, levando o material ao estado pastoso e permitindo sua deposição em camadas.

Existem diferentes tipos de filamentos, cada um adequado a finalidades específicas de impressão. Entre os mais utilizados destacam-se o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), TPU (Poliuretano Termoplástico), PVA (Álcool Polivinílico) e o PLA (Ácido Polilático). Entre as opções disponíveis, o PLA foi o material escolhido para a impressão dos protótipos,

não apenas pelas boas características de impressão, mas também por ser o filamento padrão utilizado pela impressora, motivo pelo qual optou-se por manter o mesmo material durante toda a pesquisa. A Figura 15 mostra o filamento que foi especificamente utilizado, sendo ele na cor cinza, com diâmetro de 2,85 mm, único diâmetro compatível com o modelo de impressora do laboratório.

Figura 15 - Filamento PLA cinza com diâmetro de 2,85 mm



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 Arquitetura como base didática para montagem dos blocos

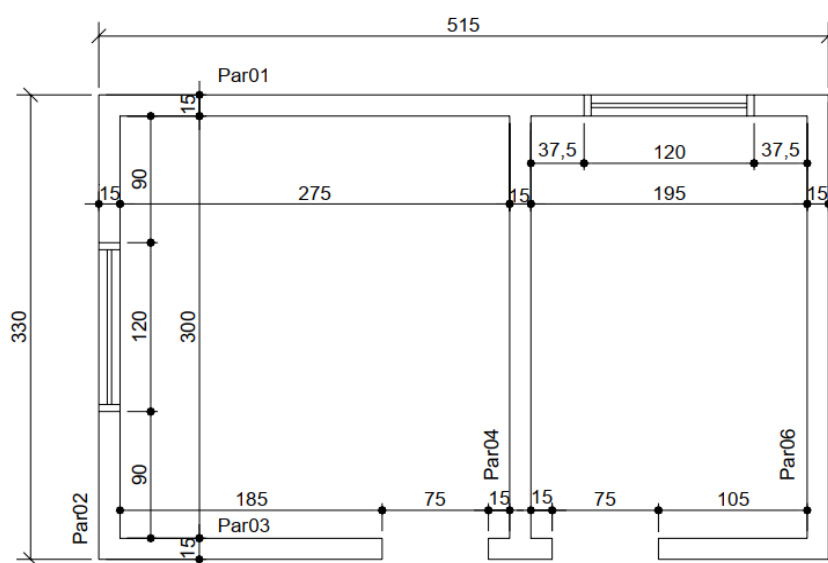
A planta arquitetônica base foi obtida do trabalho de Mamede (2001) e já estava previamente sendo utilizada no projeto de pesquisa ao qual este estudo está vinculado. Esse material foi escolhido com finalidade didática, de modo a servir como suporte prático para as atividades de montagem dos blocos de alvenaria estrutural.

A escolha dessa planta se deu em função de suas características geométricas e de sua configuração espacial, que possibilitam a representação de diferentes situações de encontro entre paredes, aberturas, cantos e alinhamentos, aspectos essenciais para a análise prática da alvenaria estrutural. O modelo apresenta compartimentos com dimensões variadas, permitindo observar como o arranjo dos blocos pode ser adaptado a diferentes condições arquitetônicas, conforme se observa na Figura 16.

Ao observar as incompatibilidades entre o projeto e as dimensões dos blocos, os estudantes devem identificar problemas comuns na concepção de projetos em alvenaria estrutural, como soluções modulares para alterar minimamente o projeto arquitetônico. O intuito é que durante os exercícios de montagem, os blocos impressos em 3D sejam

posicionados sobre a planta de forma aproximada, respeitando a disposição geral das paredes e destacando os diferentes tipos de amarrações (“L”, “T” e “X”). O foco da atividade não está na precisão modular arquitetônica, mas sim na compreensão dos princípios de amarração, continuidade das fiadas e integração entre paredes, fundamentos essenciais da alvenaria estrutural.

Figura 16 - Planta baixa arquitetônica



Fonte: Mamede (2001)

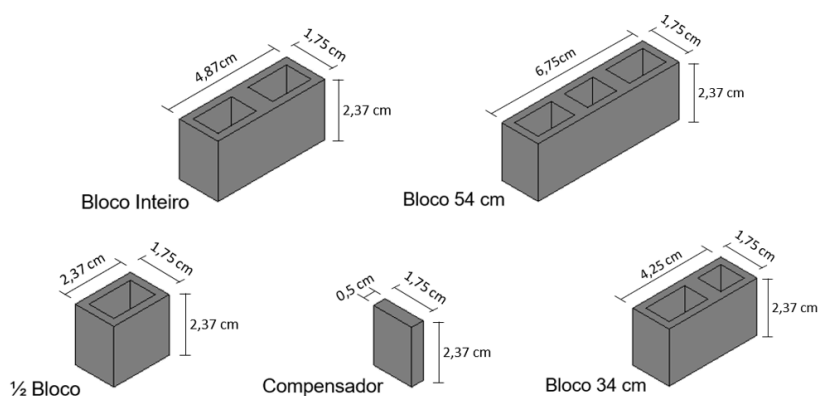
5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados encontrados pelo autor através dos quais foi possível desenvolver e melhorar os protótipos capazes de representar de forma fiel o processo construtivo de blocos de alvenaria estrutural da modulação M-20 da família 15x40 utilizada na construção civil. Para melhor organização, o conteúdo foi estruturado em tópicos: Resultados iniciais; Diretrizes para o desenvolvimento dos blocos; e Resultado final e aplicações.

5.1 Resultados iniciais

Foram realizados estudos de modelagem dos blocos estruturais no Revit com base nas dimensões previstas em norma e convertidos para escala 1:8. Assim, foram modeladas as peças dos blocos inteiros, meio bloco, blocos de 54 cm, blocos compensadores e blocos especiais, conforme podem ser vistos na Figura 17.

Figura 17 - Blocos modelados no Revit com as dimensões de impressão

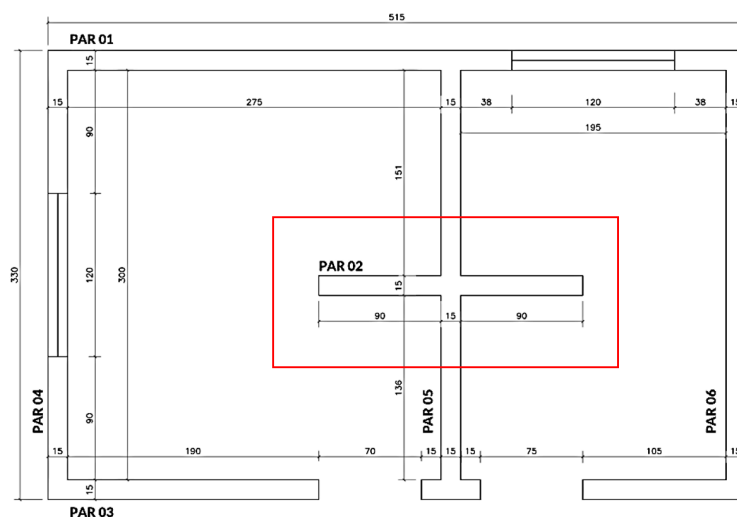


Fonte: Elaborado pelo autor

Como parte dos estudos iniciais, foi verificado se seria possível adaptar o projeto arquitetônico à modulação M-20. Durante essa análise, constatou-se que a planta tinha dimensões e alinhamentos que não se ajustavam aos múltiplos de 20 cm definidos pela modulação escolhida. As adequações foram feitas de maneira a preservar a coerência do arranjo final das paredes e respeitar as exigências da modulação. Além disso, a análise da planta arquitetônica de referência revelou a necessidade de acréscimo de uma parede, com o

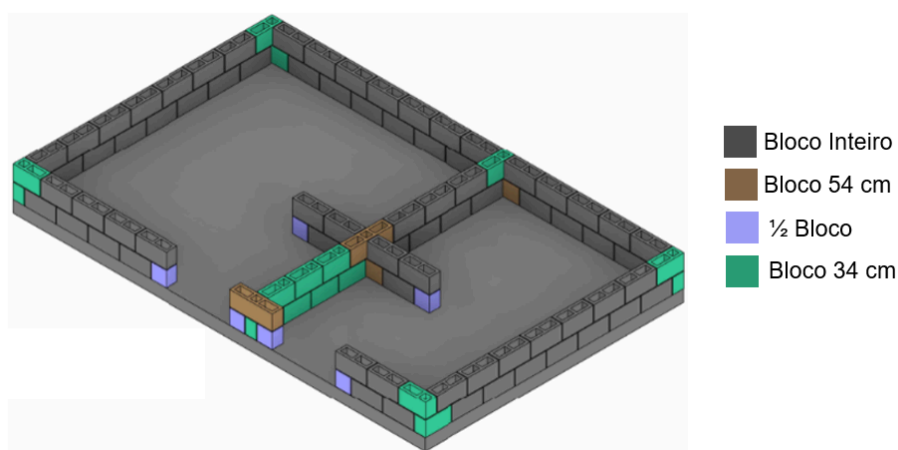
propósito de permitir a demonstração da amarração do tipo “X”. Essa modificação foi considerada no novo projeto, ampliando o potencial pedagógico e permitindo a visualização de todos os diferentes tipos de encontro de paredes. A Figura 18 destaca a nova parede (PAR 02) adicionada ao projeto. Já na Figura 19, é possível ver em perspectiva a adaptação feita com os blocos nas amarrações em “L” e na PAR 05, bem como a adição da nova parede.

Figura 18 - Ajuste na planta arquitetônica existente



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 - Perspectiva do projeto modelado no Revit



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a consolidação do projeto de 1ª e 2ª fiadas no Revit, tornou-se possível quantificar o número total de blocos necessários para a reprodução física em escala reduzida. Essa etapa foi essencial para o planejamento da impressão 3D dos protótipos, pois permitiu

determinar previamente as quantidades de blocos de cada tipo, otimizando o processo de fabricação e evitando desperdício de material.

5.2 Diretrizes para o desenvolvimento dos blocos

Este tópico é a descrição de uma série de problemas encontrados pelo discente durante o desenvolvimento dos protótipos e tem o intuito de explicar quais foram as soluções encontradas para resolver tais problemas.

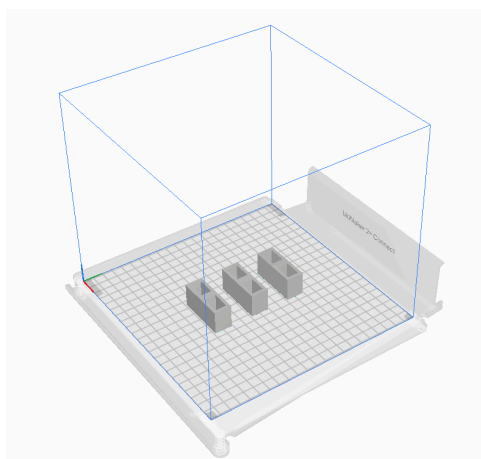
5.2.1 Problemas encontrados durante a criação dos blocos

Para a criação dos blocos, é necessário um conhecimento básico do *software* Revit. Sendo assim, como o protótipo foi desenvolvido em escala reduzida 1:8, recomenda-se que a unidade de medida utilizada seja configurada em milímetros, visto que o *software* da impressora 3D é configurado por padrão nesta unidade. Dessa forma, torna-se possível representar com maior precisão os detalhes da peça.

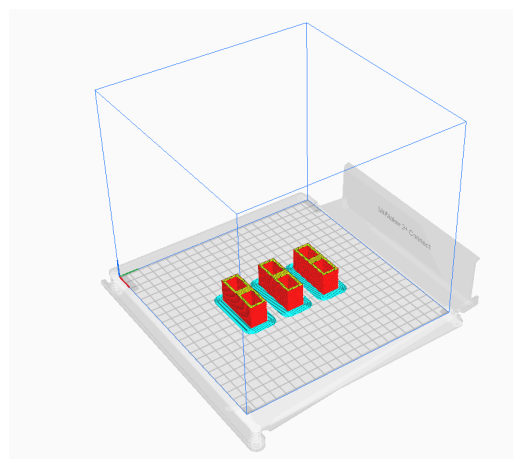
Além disso, surgiu a necessidade de se pensar na produção dos blocos em quantidade relevante de modo a atender ao prazo da pesquisa, respeitando os limites da bandeja de impressão e os suportes necessários para os blocos não deslizarem, evitando assim impressões defeituosas. A Figura 20(a) mostra como as peças foram posicionadas na bandeja para impressão e seu tamanho real. A Figura 20(b) mostra como o arquivo foi processado no *software* Ultimaker Cura.

Figura 20 - Blocos no *software* Ultimaker Cura.

(a) Posicionamento das peças para impressão



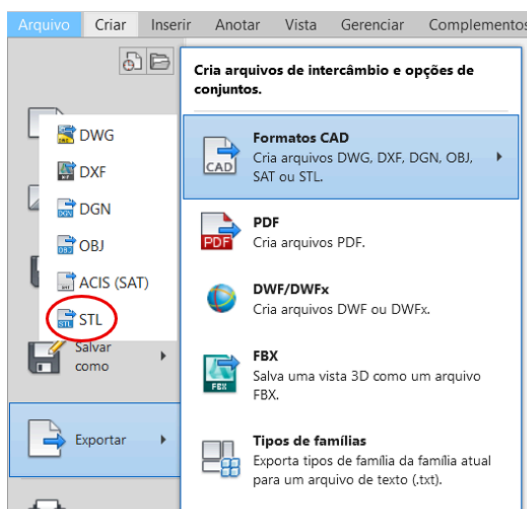
(b) Processamento das peças



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, para que o protótipo desenvolvido no Revit pudesse ser convertido pelo programa Ultimaker Cura, utilizado na impressora 3D, foi necessário realizar a conversão dos arquivos. Enquanto o Revit gera arquivos no formato padrão .RVT, o Ultimaker Cura requer que o modelo esteja em .STL. Com isso, foi necessário exportar todos os arquivos desenvolvidos no formato requerido pela impressora. A Figura 21 mostra como foi realizada a conversão de arquivos dentro do próprio Revit.

Figura 21 - Conversão de arquivos dentro do Revit



Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.2 Procedimentos pré-impressão

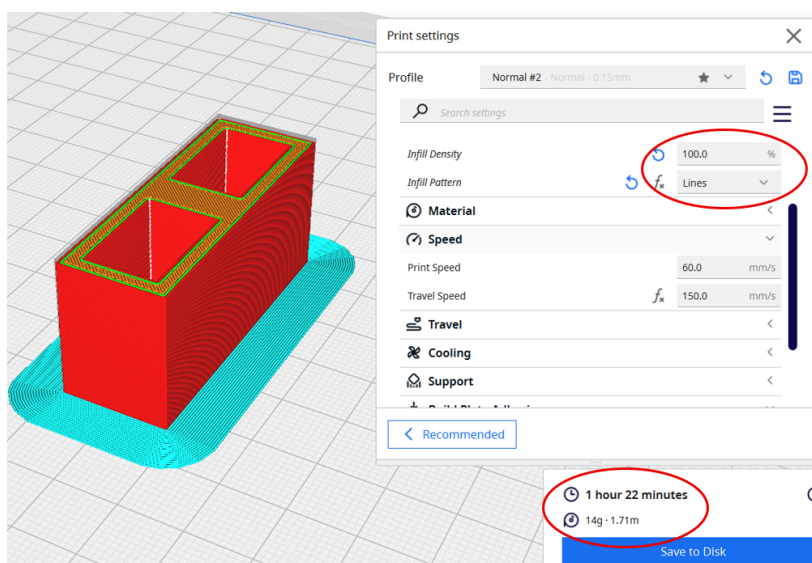
Para que a peça impressa fique o mais fiel possível ao que foi pensado no Revit, é importante que a impressora seja configurada corretamente. Pensando nisso, foram definidos alguns ajustes que ajudam a garantir uma boa qualidade de impressão ao mesmo tempo que evitam o desperdício de material.

Quando se faz o uso da impressão 3D, a peça impressa pode ser totalmente sólida ou ter partes ocas. Tratando-se de blocos que serão manuseados com frequência, é importante que eles tenham uma boa resistência. Uma forma de conseguir isso, sem gastar muito material, é usar estruturas internas chamadas de *infill*. Essas estruturas podem ter diferentes formatos, como, por exemplo, linhas, triângulos, hexágonos e até formas orgânicas, aumentando a rigidez da peça.

Antes de iniciar as impressões, foram consultados os registros do projeto de pesquisa, nos quais já haviam sido testadas diferentes configurações para a modulação M-15. A partir

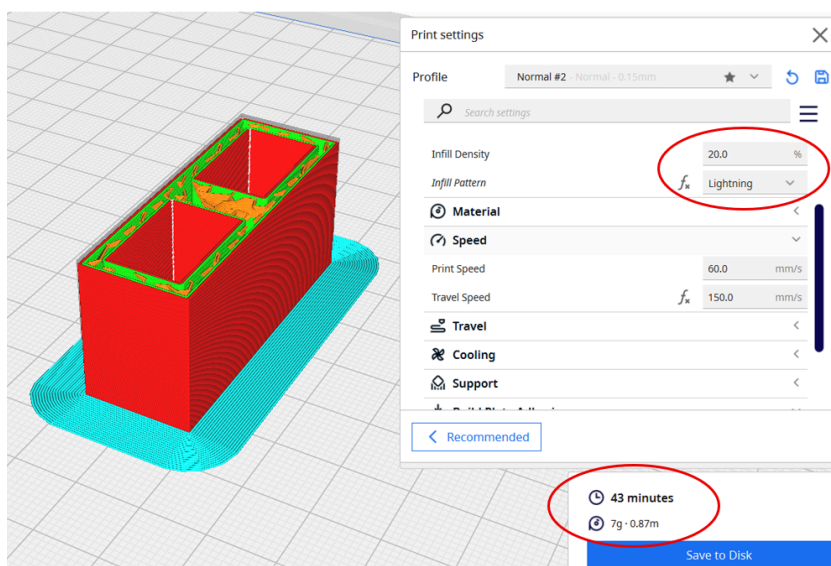
dessas experiências anteriores, verificou-se que o preenchimento interno de 20% no formato *lightning* apresentava bons resultados, pois garantia resistência suficiente para o manuseio das peças e, ao mesmo tempo, reduzia o consumo de filamento e o tempo de impressão. Com base nisso, o mesmo padrão foi aplicado à modulação M-20. Na Figura 22, é possível ver os valores a serem gastos em material e tempo para produzir um bloco maciço e, na Figura 23, a diferença nesses valores quando é alterado o preenchimento interno.

Figura 22 - Bloco com preenchimento maciço



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 - Bloco com preenchimento de 20%



Fonte: Elaborado pelo autor

Outro fator importante a ser definido antes de iniciar a impressão das peças é a velocidade de impressão. No caso da impressora Ultimaker 2+ Connect, a regulagem pode variar entre 30 mm/s e 300 mm/s, permitindo escolher a melhor configuração de acordo com o equilíbrio entre tempo de fabricação, consumo de material e qualidade final do protótipo. Para esse trabalho, optou-se pela velocidade de 60 mm/s, considerada adequada para garantir boa precisão sem comprometer o tempo de produção e aproveitando ao máximo o filamento.

Além disso, foi necessário configurar a extrusora, componente responsável por aquecer o filamento. Para este trabalho, optou-se por não utilizar o filamento original da impressora, mas sim um material de preço mais acessível. Por se tratar de um material diferente do original, foi necessário ajustar as configurações de impressão. Definiu-se, então, a temperatura de extrusão em 240 °C e a mesa aquecida a 70 °C, parâmetros que, com base nas especificações do fabricante e em testes, asseguraram a boa aderência das primeiras camadas da impressão.

5.2.3 Problemas encontrados durante a impressão dos protótipos

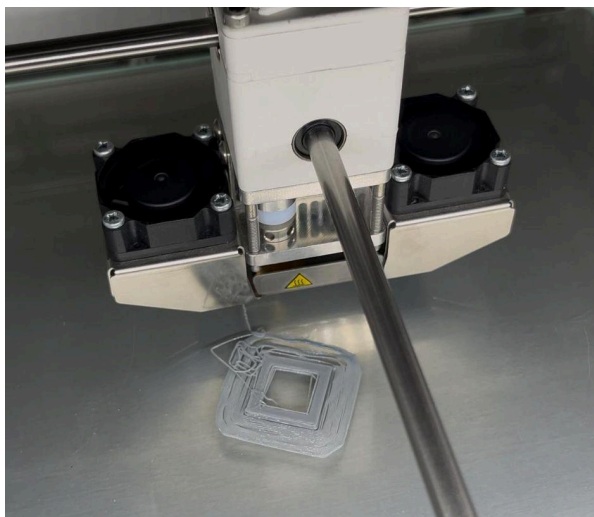
Durante o processo de fabricação dos protótipos, alguns desafios foram enfrentados, os quais exigiram mais tempo de testes e ajustes do que o previsto inicialmente. O primeiro deles esteve relacionado ao uso do filamento que não era o original da impressora. A escolha por um material alternativo foi motivada pelo custo mais acessível, porém, essa decisão trouxe dificuldades, já que o filamento apresenta comportamento diferente durante a extrusão. Isso fez com que fossem necessários diversos testes para encontrar a configuração ideal de temperatura e de mesa aquecida que garantisse uma boa aderência das camadas e, ao mesmo tempo, não comprometesse a qualidade final das peças. Esse processo de ajustes foi fundamental para evitar falhas de impressão, como camadas mal formadas ou deformações nos blocos.

Outro problema enfrentado foi a dificuldade em encontrar filamentos no mercado com diâmetro de 2,85 mm, medida exigida pela impressora utilizada no projeto. A maioria dos filamentos disponíveis segue o padrão de 1,75 mm, que é o mais comum para outros modelos de impressora 3D. Essa limitação reduziu bastante as opções de fornecedores e exigiu mais tempo de busca até encontrar um material compatível, o que também impactou o cronograma previsto para as impressões.

Além disso, houve dificuldades relacionadas à calibração da mesa de impressão, etapa fundamental para garantir que as primeiras camadas do protótipo fossem depositadas

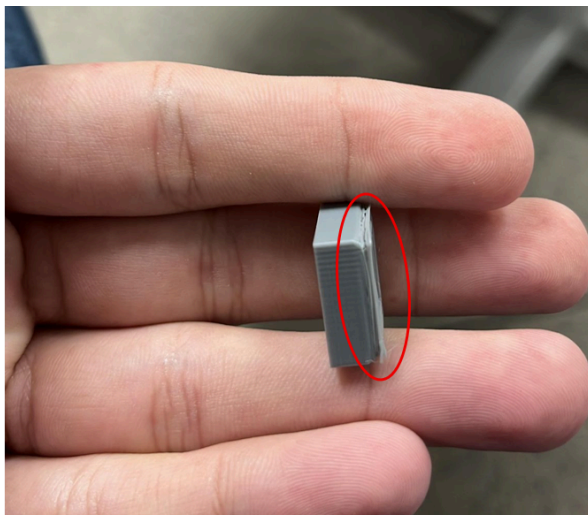
corretamente. Quando a mesa não estava devidamente nivelada, os blocos apresentaram falhas de aderência, resultando em peças desalinhadas e imprecisas em relação ao modelo digital. Esse tipo de problema obrigou a repetir algumas impressões até que o ajuste fosse feito com maior precisão. As Figuras 24 e 25 mostram exatamente os problemas descritos.

Figura 24 - Problema de aderência na mesa de impressão



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25 - Má formação nas primeiras camadas da impressão



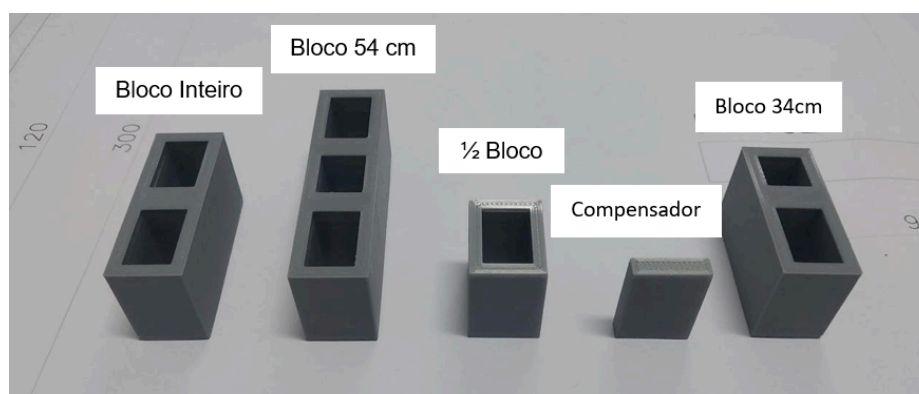
Fonte: Elaborado pelo autor

Esses desafios, embora tenham gerado retrabalho, foram importantes para aprimorar o processo, já que permitiram compreender melhor o funcionamento da impressora e as especificidades do material.

5.3 Resultado final e aplicações

Após a realização de todos os ajustes, foi possível obter blocos em escala reduzida que apresentaram qualidade satisfatória para os objetivos da pesquisa. As peças impressas demonstraram boa precisão dimensional, mantendo a proporcionalidade da modulação M-20 em relação ao modelo digital desenvolvido no Revit. Além disso, os blocos apresentaram resistência adequada para o manuseio em atividades práticas, o que permitiu sua utilização em diferentes dinâmicas de ensino sem que ocorressem quebras ou deformações significativas. A Figura 26 mostra o resultado final da impressão dos blocos em 3D.

Figura 26 - Resultado final dos blocos impressos em 3D



Fonte: Elaborado pelo autor

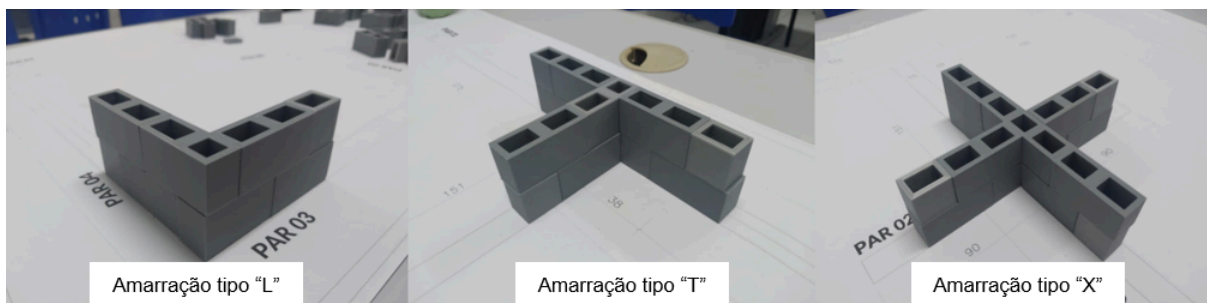
No aspecto visual, as peças impressas reproduziram com clareza as principais características dos blocos estruturais, o que favoreceu a assimilação dos conceitos de modulação pelos estudantes. Ainda que apresentem limitações naturais devido ao processo de impressão, os blocos em miniatura podem cumprir plenamente sua função didática.

As aplicações dos protótipos ocorreram em sala de aula, em conjunto com o professor da disciplina de Alvenaria Estrutural. Os blocos foram utilizados como recurso de apoio para demonstrar na prática o conceito da modulação M-20 da família 15x40. Esse contato direto com os protótipos contribuiu para que os alunos assimilassem melhor os conteúdos, já que puderam manipular os blocos, montar as fiadas e perceber, de forma prática, aspectos que antes ficavam restritos apenas a representações gráficas ou explicações teóricas.

Os protótipos também permitiram ilustrar aos discentes como a disposição dos blocos varia conforme o tipo de interseção entre paredes. Conforme pode ser visto na Figura 27, as amarrações em “T” mostraram como ocorre o encontro de uma parede transversal com uma longitudinal, as amarrações em “L” destacaram o fechamento adequado de cantos, enquanto

que as amarrações em “X” possibilitaram compreender a junção de quatro paredes e a importância da modulação para manter o prumo e o encaixe entre todas as direções.

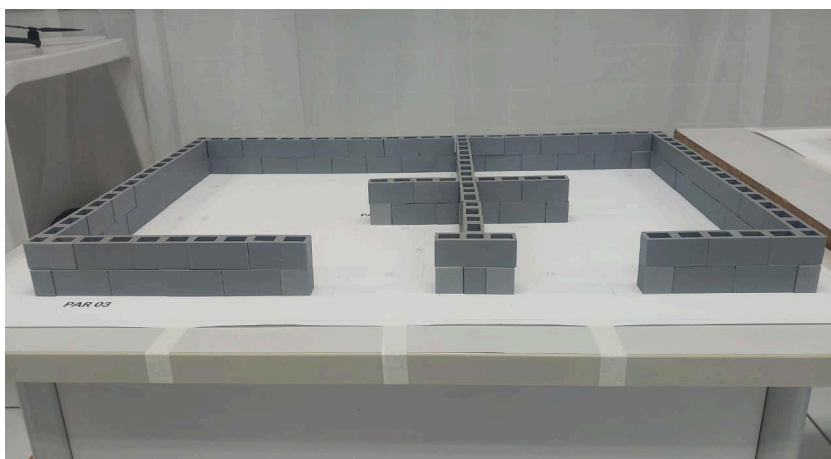
Figura 27 - Aplicação dos protótipos em sala de aula



Fonte: Elaborado pelo autor

Além das montagens isoladas das amarrações, também foi montada a planta completa apresentada anteriormente com a primeira e a segunda fiadas. Essa montagem final teve como objetivo representar o arranjo geral das paredes, evidenciando a aplicação conjunta dos diferentes tipos de amarrações ao longo de toda a edificação. A Figura 28 apresenta o resultado dessa composição final, na qual é possível observar a disposição dos blocos, o alinhamento das fiadas e as variações de amarração.

Figura 28 - Montagem final



Fonte: Elaborado pelo autor

De maneira geral, a aplicação dos protótipos mostrou-se bastante positiva para o ensino, pois facilitou a compreensão de conceitos fundamentais, estimulou a participação dos estudantes durante as aulas e tornou o processo de aprendizagem mais interativo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo a modelagem e a fabricação de protótipos de blocos de alvenaria estrutural da modulação M-20 da família 15x40, por meio do uso de impressão 3D, com a finalidade de apoiar o ensino da disciplina de Alvenaria Estrutural do curso de Engenharia Civil da UFERSA, Campus Angicos.

Os resultados obtidos demonstraram que, apesar dos desafios enfrentados durante a impressão, como a limitação de opções no mercado para diâmetros compatíveis com a impressora e as dificuldades na calibração da mesa de impressão, foi possível produzir protótipos de qualidade satisfatória. As peças impressas apresentaram boa resistência adequada ao manuseio e fidelidade às características da modulação M-20, cumprindo os requisitos estabelecidos para sua aplicação didática.

A utilização dos protótipos em sala de aula, junto ao professor responsável, mostrou-se extremamente positiva. Os blocos impressos em 3D possibilitaram maior interação dos alunos com o conteúdo, tornando o processo de aprendizagem mais dinâmico. A manipulação dos protótipos permitiu visualizar de maneira clara a lógica modular da alvenaria estrutural, o arranjo das fiadas, amarrações e a importância dos blocos complementares, contribuindo para a compreensão de aspectos que, até então, eram abordados principalmente de forma teórica.

Como toda pesquisa, este trabalho também apresenta limitações. O tempo de impressão relativamente elevado e a dificuldade de obtenção de insumos compatíveis com a impressora foram fatores que exigiram ajustes e representaram obstáculos durante a execução. Entretanto, essas limitações não comprometeram o alcance do objetivo principal, mas indicam caminhos para trabalhos futuros.

Nesse sentido, recomenda-se a continuidade da pesquisa com a exploração de novos materiais de impressão e a realização de estudos comparativos entre diferentes configurações de impressão. Além disso, sugere-se a produção de blocos do tipo canaleta, utilizados para a execução de vergas, contra vergas e cintas de amarração, permitindo ampliar a representatividade do modelo. Propõe-se também a integração dessa tecnologia em outras disciplinas do curso de Engenharia Civil, de modo a expandir o uso da impressão 3D como ferramenta pedagógica e estimular metodologias de ensino mais interativas.

Por fim, conclui-se que a impressão 3D aplicada ao ensino da alvenaria estrutural representa uma inovação importante no campo acadêmico, unindo tecnologia e didática de maneira eficiente. O trabalho alcançou seu objetivo de propor o uso de protótipos como recurso didático, contribuindo para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

COSTA, Iara; NETO, Alcino. **A pedagogia da construção de maquetes no aprendizado dos conceitos da engenharia: Maquete para o estudo de fundações rasas**. COBENGE, Fortaleza, 2019. Disponível em:

<https://admin.abenge.org.br/dados/COBENGE19/COBENGE19_00089_00002223.pdf>

Acesso em: 25 out. 2025.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing**. 2. ed. New York: Springer, 2021.

GIL, Antonio C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**, 7ª edição. Rio de Janeiro: Atlas, 2019.

GOMES, M. J.; OSÓRIO, A. J.; & VALENTE, L.: Aprender nas nuvens – Learning the clouds – Atas da X Conferencia Internacional de TIC na Educação. BRAGA: Centro De Competência TIC Na Educação Do Instituto De Educação Da Universidade Do Minho. 2.º EDIÇÃO, 2017

MACHADO, Erick; SOUSA, Syllas; CAPIBARIBE, Augusto. **Abordagens metodológicas no ensino de Engenharia Civil com impressão 3D**. Revista FT, Rio de Janeiro, 2024.

Disponível em:

<<https://revistaft.com.br/abordagens-metodologicas-no-ensino-de-engenharia-civil-com-impressao-3d/>>. Acesso em: 25 out. 2025.

MAMEDE, Fabiana. **UTILIZAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, [S. l.], 2001.

MELO, M. **Modulação**. São Paulo: Soluções Engenharia, 2020.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em alvenaria estrutural**. 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2024. p.377. ISBN 9788521225041.

MOHAMAD, G. et al.. **Desenvolvimento de uma nova concepção geométrica para os blocos de concretos não modulares para alvenaria estrutural**. Ambiente Construído, v. 15, 2015. Acesso em: 23 out. 2025

OLIVEIRA, Márcio Sequeira. Maquete Estrutural: Um instrumento para o ensino de estrutura em escolas de arquitetura. 2008. Disponível em:
<[https://www.abcem.org.br/construmetal/2006/arquivos/Maquetes%20Estrutura is.pdf](https://www.abcem.org.br/construmetal/2006/arquivos/Maquetes%20Estrutura%20is.pdf)>
Acesso em: 25 out. 2025.

PAVERTECH (SP). **Blocos de Concreto**. São Paulo, 2020. Disponível em:
<https://pavertech.com.br/blocos-concreto/>. Acesso em: 22 out. 2025.

PEDRO, Q. C. D. E. L. et al. **Geração de resíduos na construção civil: comparativo entre edificação de bloco estrutural e convencional**. Journal of Exact Sciences – JES, v. 19, p.5. 2018.

PINTO, Aparecida Marcianinha. **As novas tecnologias e a educação**. Anped Sul, Curitiba, PR, v. 6, p. 1-7, 2004. Disponível em: <
<https://pt.scribd.com/document/126065590/04-53-48-as-Novas-Tecnologias-e-a-Educacao>>
Acesso em: 28 ago. 2025.

PIRES, Eduarda dos Santos. **Impressão 3D: Recurso para concepção de material didático para educandos com necessidades educativas especiais na visão**. 2019. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019. Disponível em:
<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24082/1/PG_COLIC_2019_2_06.pdf>.
Acesso em: 28 ago. 2025.

PRIBERAM. Dicionário da Língua Portuguesa, 2025. Disponível em:
<<https://dicionario.priberam.org>> Acesso em: 25 out. 2025.

PUPO, Regiane; CELANI, Gabriela. **Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades**. XIV Convención Científica de Ingeniería Y Arquitectura, Cuba, p. 1-6, 2008.

RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 1ª Edição. São Paulo: Pini, 2003.

VIZIOLI, Simone Helena Tanoue; VEIGA, Jonas. **Processo criativo digital: do croqui à impressão 3D**. Blucher Design Proceedings, Florianópolis, SC, v. 2, n. 3, p. 771-775, 2015. ISSN 2318-6968, Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/despro-sigradi2015-sp30241>. Acesso em: 13 dez. 2025

VOLPATO, Neri (org.). **Manufatura Aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. 385 p.