

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

ENGENHARIA CIVIL

**ADIÇÃO DE PLUMBAGINA EM PÓ EM BLOCOS DE
CONCRETO ESTRUTURAL - ANÁLISE DAS
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

LUANNA OLIVEIRA LIMA

Rio Verde, GO

2022

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
ENGENHARIA CIVIL**

**ADIÇÃO DE PLUMBAGINA EM PÓ EM BLOCOS DE
CONCRETO ESTRUTURAL - ANÁLISE DAS
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

LUANNA OLIVEIRA LIMA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Flávio Hiochio Sato

Rio Verde – GO

2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

LL732a Lima, Luanna
ADIÇÃO DE PLUMBAGINA EM PÓ EM BLOCOS DE CONCRETO
ESTRUTURAL - ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E
MECÂNICAS / Luanna Lima; orientador Flávio Hiochio
Sato . -- Rio Verde, 2022.
50 p.

TCC (Graduação em Engenharia Civil) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Corpo de Prova. 2. Qualidade. 3. Resistência a
Compressão. I. Hiochio Sato , Flávio , orient. II.
Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: | _____ |

Nome Completo do Autor: Luanna Oliveira Lima
Matrícula: 2018102200840203
Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: Como nunca houve estudos neste tema será registrado uma patente e publicado um artigo

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 05/12/2025

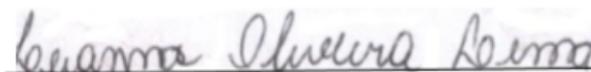
O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 05/12/2022.



Luanna Oliveira Lima

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

FLAVIO HIOCHIO
SATO:06162543854

Assinado de forma digital por
FLAVIO HIOCHIO
SATO:06162543854
Dados: 2022.12.05 09:24:09 -03'00'

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 81/2022 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) 02 dia(s) do mês de dezembro de 2022, às 08 horas e 30 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Flávio Hiochio Sato, Alexsandro dos Santos Felipe e Murilo Santos Peixoto, para examinar o Trabalho de Curso intitulado "ADIÇÃO DE PLUMBAGINA EM PÓ EM BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL - ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS" do(a) estudante Luanna Oliveira Lima, Matrícula nº 2018102200840203 do Curso de Engenharia Civil do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do(a) candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Flávio Hiochio Sato

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Murilo Santos Peixoto

Membro

FLAVIO HIOCHIO
SATO:06162543854

Assinado de forma digital por
FLAVIO HIOCHIO
SATO:06162543854
Dados: 2022.12.05 08:28:50 -03'00'

(Assinado Eletronicamente)

Alexsandro dos Santos Felipe

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Murilo Santos Peixoto**, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO , em 02/12/2022 12:55:24.
- **Flavio Hiochio Sato**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/12/2022 10:34:38.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/12/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 449149

Código de Autenticação: 17fa7abf2a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Monadnock Building.....	14
Figura 2. Alvenaria não armada.....	16
Figura 3. Alvenaria armada ou parcialmente armada.....	17
Figura 4. Alvenaria protendida.....	18
Figura 5. Desenho dos tipos de blocos.....	19
Figura 6. Bloco Vazado simples.....	20
Figura 7. Bloco tipo canaleta.....	21
Figura 8. Bloco compensador.....	21
Figura 9. Estrutura em camadas de plumbagina.....	23
Figura 10. Localização da fábrica.....	25
Figura 11. Máquina hidráulica utilizada na produção dos blocos de concreto.....	26
Figura 12. Curva granulométrica da areia grossa.....	28
Figura 13. Curva granulométrica da areia fina.....	29
Figura 14. Curva granulométrica do pó de pedra.....	30
Figura 15. Curva granulométrica da brita 0.....	31
Figura 16. Produção dos corpos de prova.....	33
Figura 17. Produção dos corpos de prova.....	34
Figura 18. Identificação dos corpos de prova.....	34
Figura 19. Identificação dos corpos de prova.....	35
Figura 20. Processo de imersão do corpo de prova em temperatura de 24° C.....	38
Figura 21. Pesagem do corpo de prova em condição saturado com superfície seca.	39
Figura 22. Corpos de prova com faces de trabalho regularizadas com pasta de gesso e com espessura de 3 mm.....	40

Figura 23. Ensaio de resistência a compressão.....	41
Figura 24. Dimensões características dos corpos de prova.	42
Figura 25. Resistências a compressão médias	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Normas de caracterização de agregado.....	27
Tabela 2. Composição Granulométrica da Areia Grossa.....	27
Tabela 3. Valores característicos da areia grossa.	28
Tabela 4. Composição Granulométrica da Areia Fina.....	29
Tabela 5. Valores característicos da Areia Fina.	29
Tabela 6. Composição Granulométrica do pó de pedra.....	30
Tabela 7. Valores característicos do pó de pedra.....	31
Tabela 8. Composição Granulométrica da brita 0	31
Tabela 9. Curva granulométrica da brita 0.	32
Tabela 10. Tamanho da amostra.....	32
Tabela 11. Composição dos concretos secos para fabricação dos blocos.	33
Tabela 12. Classificação de blocos de concreto vazado.....	36
Tabela 13. Designação por classe, largura e espessura mínima das paredes.....	37
Tabela 14. Requisitos para resistência característica a compressão e absorção.	38
Tabela 15. Análise Dimensional dos corpos de prova.....	43
Tabela 16. Resultados do ensaio de absorção.....	44
Tabela 17. Resultados de resistência a compressão.....	45
Tabela 18. ANOVA, resultados de 28 dias para de resistência a compressão	47
Tabela 19. ANOVA, resultados de 90 dias para resistência a compressão	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Alvenaria Estrutural.....	14
3.1.1	Tipos de alvenaria estrutural.....	15
3.1.2	Tipos de alvenaria estrutural.....	18
3.2	Blocos Vazados de Concreto	20
3.2.1	Concreto seco.....	21
3.3	PLUMBAGINA.....	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Localização e Caracterização Geral da Área de Estudo	25
4.2	Materiais Empregados	26
4.2.1	Cimento.....	26
4.2.2	Plumbagina	26
4.3	Caracterização dos agregados	26
4.3.1	Caracterização da areia grossa.....	27
4.3.2	Caracterização da areia fina.....	28
4.3.3	Caracterização do pó de pedra	30
4.3.4	Caracterização da brita 0.....	31
4.4	Confeção dos corpos de prova	32
4.5	Ensaio Realizados	35
4.5.1	Análise dimensional.....	36
4.5.2	Absorção	37
4.5.3	Resistência mecânica a compressão	39

4.5.4 Tratamento estatístico	41
5 Resultados e Discussão	42
5.1 Análise Dimensional.....	42
5.2 Absorção	44
5.3 Resistência a Compressão.....	44
5.4 Tratamento Estatístico	47
6 Conclusão	49
7 REFERÊNCIAS	50

RESUMO

Alvenaria estrutural é um método construtivo amplamente utilizado, este sistema consiste na utilização das paredes como principal estrutura de suporte das edificações e por onde as cargas são transferidas até as fundações. O principal componente deste método construtivo é o bloco de concreto e é de suma importância que estes atendam requisitos mínimos de qualidade, propostos pela norma técnica NBR 6136 (ABNT 2016), afim de proporcionar segurança. No entanto ainda existem muitas fábricas que devido a vários fatores não produzem blocos que atendam aos requisitos da norma supracitada. Tendo em vista isto, objetivou-se por meio deste estudo, analisar a qualidade dos blocos produzidos em uma fábrica do município de Rio Verde Goiás, e comparar com os resultados encontrados com blocos com adição de plumbagina (PG), um material relativamente barato e de fácil acesso. Foram confeccionados três traços, sendo a primeira referência, com as proporções adotadas originalmente pela fábrica e outros dois, com adição de 0,5 e 1% de PG. Realizou-se ensaios de resistência a compressão axial, análise dimensional e de absorção, que utilizados para classificar os blocos quanto a padrões de qualidade. Comparou-se os índices encontrados para os blocos sem adição com os resultados encontrados os outros traços, a fim de analisar a eficácia das adições de PG e por fim foi realizado-se o teste de Tukey a fim de se comprovar a diferença significativas para os resultados médios encontrados no teste de resistência a compressão. Os resultados mostram que os valores encontrados para análise dimensional e absorção estiveram todos dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 6136 (ABNT 2016), e os valores encontrados mostraram que para estes ensaios os traços não apresentam diferenças significativas entre si. No entanto, para o ensaio de resistência a compressão com 28 dias, foram encontradas as médias de 3,36 MPa para o traço referência (TR); 4,03 MPa para o traço com 0,5% de adição de PG (T0,5) e 3,08 MPa para o traço com 1% de adição (T1). Já para na idade de 90 dias foram encontradas as médias de 3,23 MPa, 4,43 Mpa e 3,59 MPa, para os traços TR, T0,5 e T1 respectivamente, desta forma TR, e T1, atingiram médias que os enquadraram como Classe C, já T0,5, como Classe B. Apesar de ter sido comprovada por meio deste estudo a eficácia da adição de 0,5% na melhoria da resistência mecânica a compressão dos blocos, pode-se verificar também que o aumento do incremento a partir de 1 % de PG reduz os ganhos de resistência mecânica. Novos estudos devem ser realizados a fim de se detectar até onde adição de PG é benéfica aos materiais científicos e os motivos da perda de resistência quando o incremento é utilizado em maiores proporções.

Palavras-chave: Corpo de prova; Qualidade e Resistência a Compressão

1 INTRODUÇÃO

O consumo elevado de cimento Portland pode ser associado a fatores como baixo custo, matéria-prima abundante e resultados satisfatórios relacionados à durabilidade de estruturas constituídas por esse material (RUVIARO 2020). Conforme o Sindicato Nacional da indústria, do Cimento (SNIC), organização responsável pela divulgação e representação legal da categoria econômica “Indústria do Cimento”, entre os anos de 2014 a 2021 só no Brasil foram produzidas quase 490 milhões de toneladas de cimento Portland (SNIC, 2020). Ruviaro (2020) declara que o alto consumo de cimento Portland está vinculado a um grande impacto ambiental, uma vez que a sua produção envolve elevada emissão de gás carbônico (CO₂), e que uma alternativa para a redução das emissões de CO₂ consiste na substituição parcial do cimento Portland por materiais cimentícios suplementares.

Adição de carbono em materiais cimentícios tem sido alvo de estudos com o intuito de tornar possível o seu emprego, pois esse material possui potencial de proporcionar incremento de resistência mecânica e durabilidade. Conforme Divya, Praveenkumar e Tayeh (2022), devido às propriedades elásticas e de tração aprimoradas, os materiais à base de carbono como nanotubos de carbono e grafeno tem sido cada vez mais usados na indústria da construção. O autor acrescenta ainda que a composição do cimento misturado estes materiais apresentam excelentes resultados, pois não só aumenta a propriedade de tração, mas também reduz a quantidade de reforço. Devido à natureza frágil do concreto, a resistência à compressão é melhorada, mas sua natureza de tração é incerta.

Uma alternativa sustentável para otimizar aspectos construtivos é adotando materiais que possuam baixo custo e esteja disponível em grande escala, podendo ser facilmente incorporado a construção civil, dentre os materiais a base de carbono, a plumbagina (PG), além de ser matéria prima para outros tipos de materiais a base de carbono como o grafeno (Dong et al 2022), tem um baixo custo, quando também comparado aos outros tipos de materiais. O PG é um material também derivado do carbono, contém várias camadas de grafeno em sua estrutura, é abundante, apresenta um baixo custo, mas sua aplicação no concreto ainda é pouco explorada (MONTAGNA, 2010)

Tendo em mente melhoramento das propriedades físicas e químicas dos compósitos cimentícios, e o destaque que os produtos à base de carbono têm tomado para neste campo, esta pesquisa tem como objetivo analisar o desempenho mecânico de blocos de concreto estruturais com adição de PG em pó.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é compreender o efeito da adição de dois teores diferentes de plumbagina em blocos de concreto com fins estruturais.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o ensaio de análise dimensional conforme a NBR 12118 (ABNT 2013) e comparar os valores encontrados com os estabelecidos pela NBR 6136 (ABNT 2016);
- Identificar a capacidade de resistência à compressão e de absorção, dos blocos de concreto produzidos em uma fábrica localizada no município de Rio Verde GO, com e sem a adição de plumbagina através de ensaios regidos pelas normas NBR 12118 (ABNT 2013) e comparados com os valores referência da NBR 6136 (ABNT 2016).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Alvenaria Estrutural

Conceitua-se de Alvenaria Estrutural o processo construtivo na qual, os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo os mesmos projetados, dimensionados e executados de forma racional (RAMALHO E CORREA 2003). Conforme Felipe (2010), durante muitos séculos a alvenaria estrutural foi o principal sistema construtivo, visto que proporcionava uma construção relativamente fácil de execução, porém, limitada em bases técnicas de projeto estrutural e fabricação dos componentes da estrutura, muito se fazia de forma empírica ou por técnicas passadas de geração por geração, não havendo o comprometimento de uma formação sólida no assunto, o autor acrescenta que após esse período que foi até meados do século passado, o sistema construtivo foi denominado como alvenaria estrutural “antiga”. Passado a época citada, a alvenaria estrutural entra numa nova fase, denominada “moderna”, cujo conceito pode ser entendido como: o sistema construtivo cujo principal estrutura de suporte de um edifício são as próprias paredes, dimensionadas por meio de cálculos racionais (FELIPE 2010).

Conforme Mohamad (2021) um exemplo marcante de alvenaria estrutural foi construído entre os anos de 1889 e 1891 foi o Monadnock Building, em Chicago, nos Estados Unidos, construção em alvenaria de dezesseis pavimentos e 65 m de altura, com paredes cuja espessura, de 1,80 m no pavimento térreo, diminui nos pavimentos superiores (Figura 1).

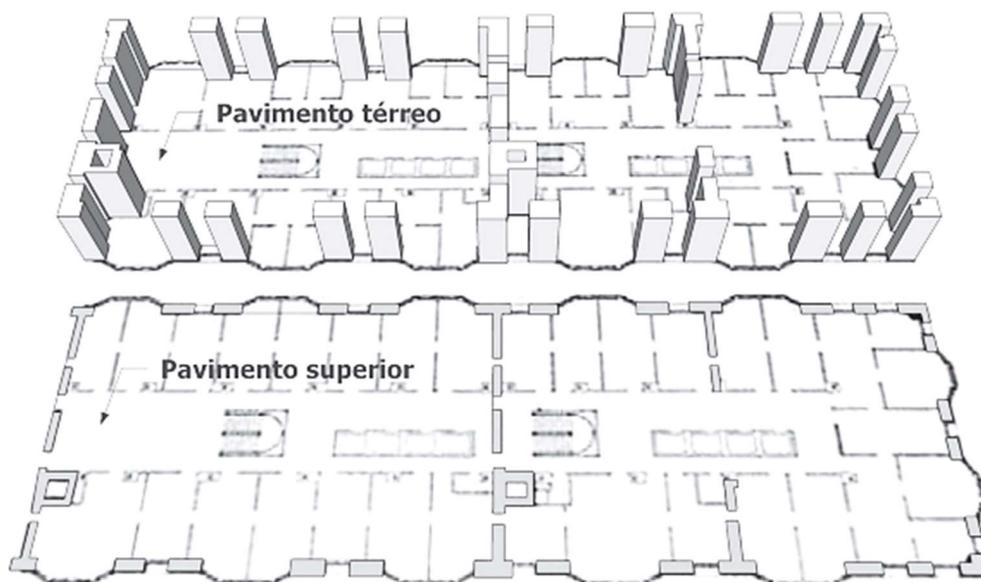


Figura 1. Monadnock Building.
Fonte: MOHAMAD (2021).

Mohamad (2021) ainda diz que a chamada “moderna alvenaria estrutural” teve início com os estudos realizados pelo professor Paul Haller, na Suíça, o qual conduziu uma série de testes em paredes de alvenaria em razão da escassez de concreto e aço causada pela Segunda Guerra Mundial. Durante sua carreira, foram testadas mais de 1.600 paredes de tijolos maciços. Os dados experimentais serviram como base para o projeto de um prédio de dezoito pavimentos, com espessuras de parede que variavam entre 30 e 38 cm. Essas paredes, com espessura muito reduzida para a época, causaram uma revolução no processo construtivo existente. A partir desses estudos, teve início a intensificação e a disseminação do uso da alvenaria estrutural como sistema construtivo, mediante amplos resultados experimentais que proporcionaram a criação de teorias e critérios de projeto aliados ao intenso progresso na fabricação de materiais e componentes apropriados para a execução dessas edificações. MOHAMAD (2021)

No Brasil, a alvenaria estrutural surgiu somente no fim da década de 1960 como uma técnica de construção. O marco inicial do uso do bloco de concreto em alvenarias estruturais armadas se deu no ano de 1966. Neste ano, foi construído em São Paulo o Conjunto Habitacional Central Parque Lapa. Essa obra tinha 4 pavimentos e paredes com espessura de 19 centímetros (MOHAMAD, 2021)

3.1.1 Tipos de alvenaria estrutural

Em alvenaria estrutural não se utiliza pilares e vigas pois as paredes chamadas portantes compõem as estruturas da edificação e distribuem as cargas uniformemente ao longo das fundações (TAUIL E NESE 2010).

De acordo com Mazer (2007), a alvenaria estrutural pode ser classificada de três formas distintas sendo elas:

- **Alvenaria não armada:** Tipo de alvenaria que não recebe graute, mas os reforços de aço (barras, fios e telas) apenas por razões construtivas - vergas de portas, vergas e contravergas de janelas e outros reforços construtivos para aberturas e para evitar patologias futuras: trincas e fissuras provenientes da acomodação da estrutura, movimentação por efeitos térmicos, de vento e concentração de tensões (MAZER 2007).

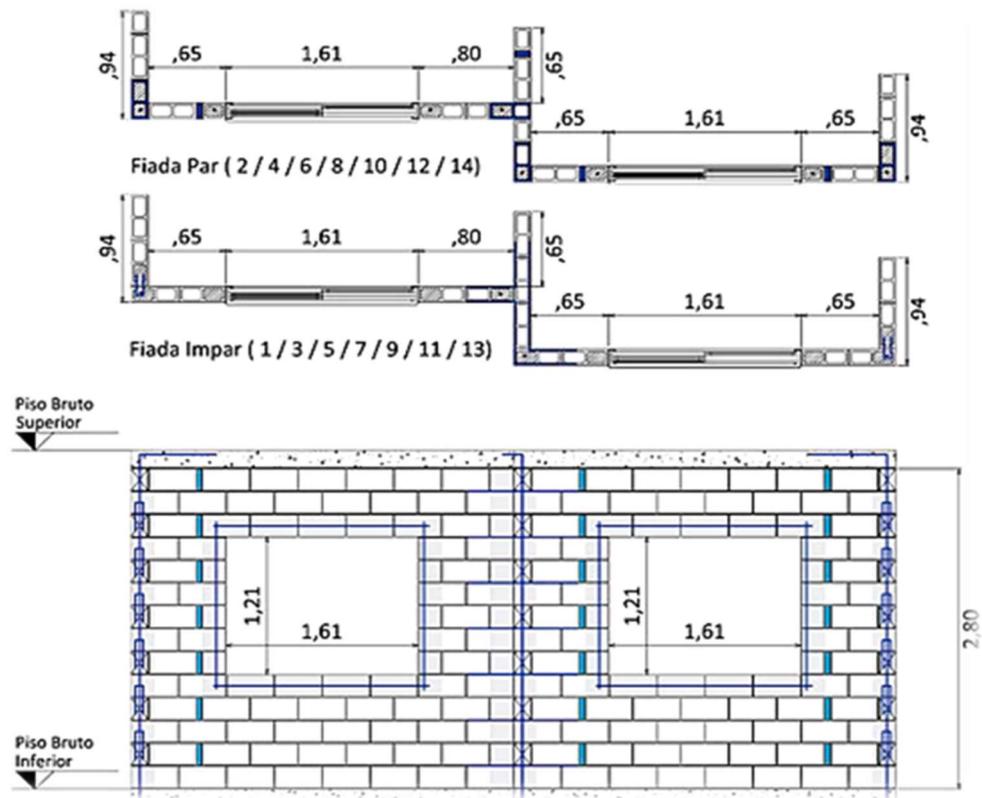


Figura 2. Alvenaria não aramada.

Fonte: MAZER (2007).

- **Alvenaria armada ou parcialmente armada:** tipo de alvenaria que recebe reforços em algumas regiões, devido a exigências estruturais. São utilizadas armaduras passivas de fios, barras e telas de aço dentro dos vazios dos blocos e posteriormente grauteados, além do preenchimento de todas as juntas verticais (MAZER 2007).

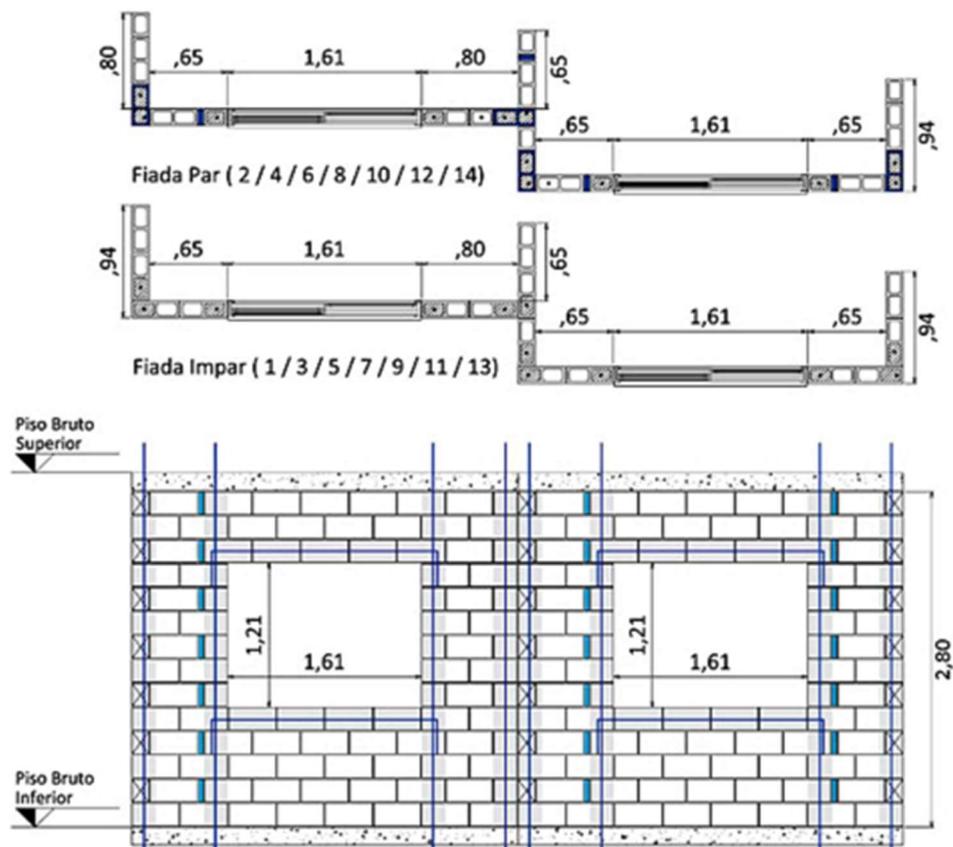


Figura 3. Alvenaria aramada ou parcialmente aramada.
 Fonte: MAZER (2007).

- **Alvenaria protendida:** tipo de alvenaria reforçada por uma armadura ativa (pré tensionada) que submete a alvenaria a esforços de compressão. Esse tipo de alvenaria é pouco utilizado, pois os materiais, dispositivos e mão de obra para a protensão têm custo muito alto para o nosso padrão de construção (MAZER 2007).



Figura 4. Alvenaria protendida

Fonte: MAZER (2007).

3.1.2 Tipos de alvenaria estrutural

Conforme Ramalho e Correa (2003) os principais componentes empregados na execução de edifícios de alvenaria estrutural são as unidades (tijolos ou blocos), a argamassa, o graute e as armaduras (construtivas ou de cálculo). É comum também a presença de elementos pré-fabricados como: vergas, contravergas, coxins, e assessorios, entre outros. Em relação aos componentes o autor apresenta as principais funções e características:

- **Unidades:** As unidades (blocos e tijolos), representados na Figura 5, são os componentes mais importantes que compõe a alvenaria estrutural, uma vez que são eles que comandam a resistência à compressão e determinam os procedimentos para aplicação da técnica da coordenação modular nos projetos. Suas principais funções são aumentar a resistência da parede e propiciar aderência com as armaduras e suas propriedades mais relevantes são a trabalhabilidade (fluidez) e adequada resistência à compressão (RAMALHO E CORREA 2003).

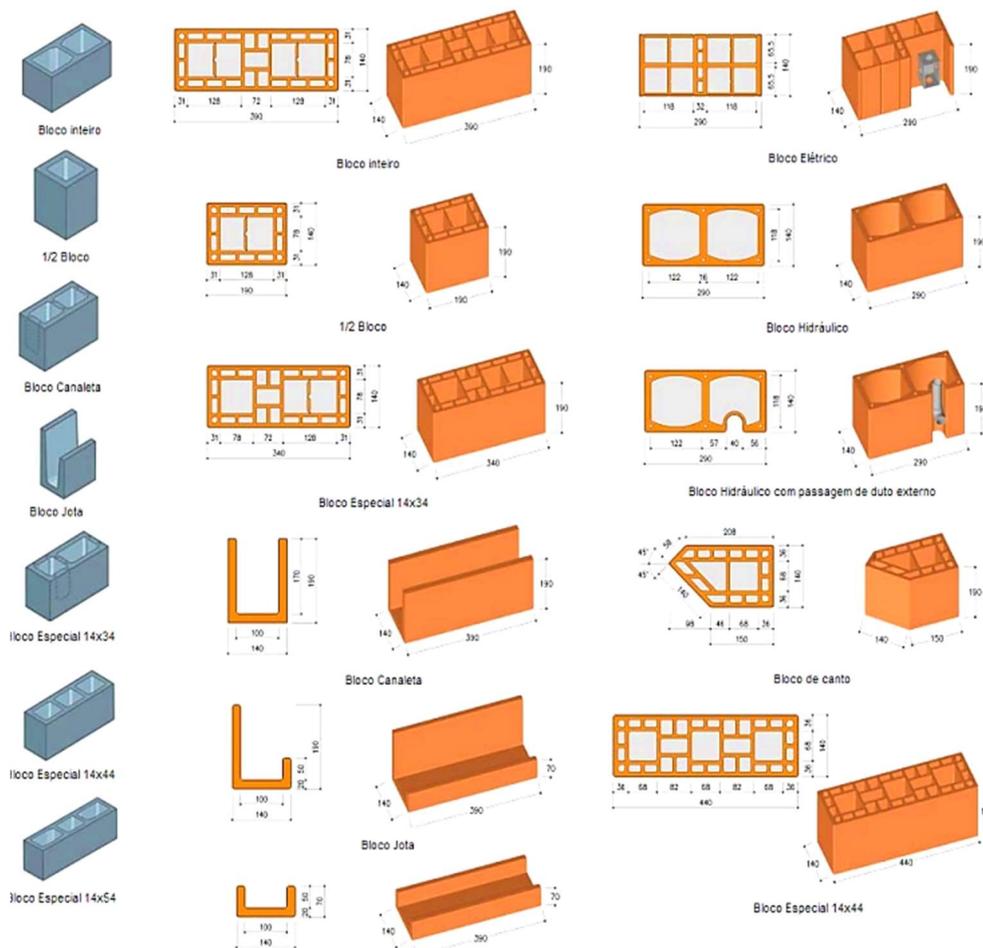


Figura 5. Desenho dos tipos de blocos
 Fonte: RAMALHO E CORREA (2003).

- **Argamassa:** É o componente utilizado na ligação entre os blocos, evitando pontos de concentração de tensões, sendo composta de cimento, agregado miúdo, água e cal, sendo que algumas argamassas podem apresentar adições para melhorar determinadas propriedades. Algumas argamassas industrializadas vêm sendo utilizadas na construção de edifícios de alvenaria estrutural, suas principais funções são unir as unidades, garantir a vedação, propiciar aderência com as armaduras nas juntas e compensar as variações dimensionais das unidades. Suas propriedades mais relevantes são a retenção d'água, conveniente resistência à compressão e a trabalhabilidade (RAMALHO E CORREA 2003).

- **Graute:** O graute consiste em um concreto fino (micro-concreto), formado de cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos de pequena dimensão (até 9,5mm), devendo apresentar como característica alta fluidez de modo a preencher adequadamente os vazios dos blocos onde serão lançados. Suas principais funções são aumentar a resistência da

parede e propiciar aderência com as armaduras. A propriedade mais relevante é a fluidez (RAMALHO E CORREA 2003).

- **Armaduras:** As armaduras empregadas na alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas no concreto armado e estão sempre presente na forma de armadura construtiva ou de cálculo e suas principais funções são absorver esforços de tração e/ou compressão e cobrir necessidades construtivas (RAMALHO E CORREA 2003).

3.2 Blocos Vazados de Concreto

A NBR 6136 (ABNT 2016), é a norma que dispõe sobre as características dos blocos vazados de concreto simples e ainda os classifica e apresenta a diferenciação dos blocos segundo o seu uso. Segundo a norma supracitada os blocos vazados de concreto simples se tratam de um componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75 % da área bruta (Figura 6).

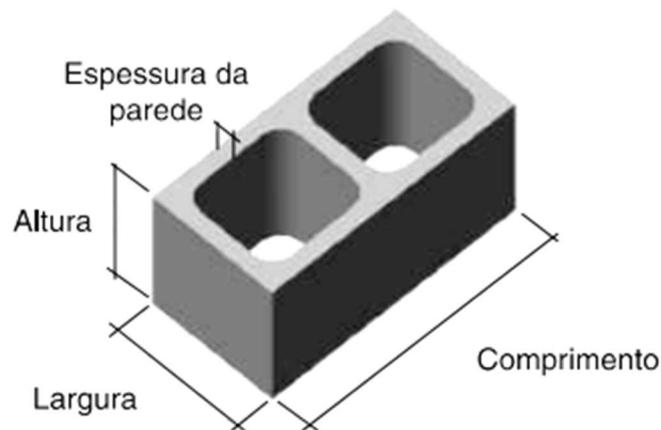


Figura 6. Bloco Vazado simples.

Fonte: NBR 6136 (ABNT 2016)

A norma ainda acrescenta que blocos tipo canaleta são componentes de alvenaria, vazados ou não, com conformação geométrica conforme a Figura 7, criados para racionalizar a execução de vergas, contravergas e cintas.

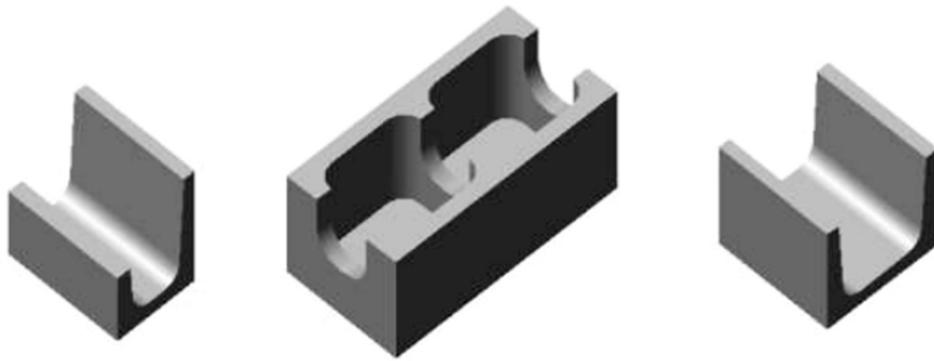


Figura 7. Bloco tipo canaleta.
Fonte: NBR 6136 (ABNT 2016)

Já o bloco compensador ou meio bloco (Figura 8), como é popularmente conhecido, se trata do componente de alvenaria destinado para ajuste de modulação.

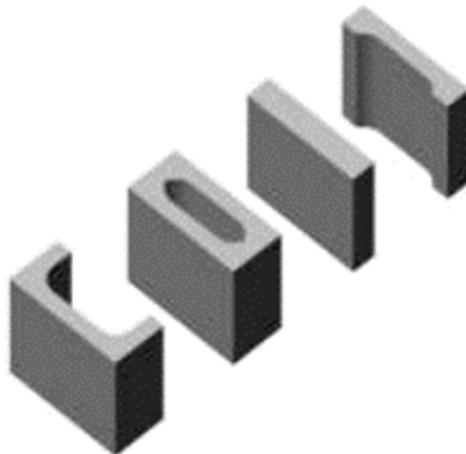


Figura 8. Bloco compensador.
Fonte: NBR 6136 (ABNT 2016)

3.2.1 Concreto seco

Os concretos “secos” são assim chamados porque sua mistura possui características de concreto levemente umedecido. Isto faz com que estes concretos possuam abatimento zero, e há necessidade de que a retirada de ar aprisionado seja feita por máquinas que conferem compactidade às misturas (FRASSON JUNIOR et al. 2000).

Para os concretos “secos” utilizados na produção de blocos, a umidade alcançada nas misturas é fundamental para que possa ser utilizada para a finalidade requerida. Esta umidade gira em torno de 6 a 8% para que as peças possam ser moldadas sem que haja excesso ou falta de água. Para Tango (1994), a quantidade de água de cada mistura deve ser a maior possível, suficiente para que os blocos não se esboroem e não tão grande que faça com que os mesmos

tenham dificuldade de desforma por aderência aos moldes, ou perda do formato adequado. (FRASSON JUNIOR et al. 2000).

Os concretos secos são caracterizados pelo alto consumo de cimento, na faixa de 350 – 400 kg/m³ e baixo teor de partículas finas quando comparados ao concreto plástico (HÜSKEN, 2007). O teor de cimento está intimamente ligado à eficiência de compactação do equipamento, sendo que os equipamentos mais eficientes exigem menores teores de cimento, considerando-se uma mesma dosagem e materiais (MARCHIONI 2012).

No estado endurecido as principais características a serem observadas no concreto seco são a resistência mecânica e a durabilidade. O crescimento da resistência do concreto depende do tipo e do consumo de cimento e ainda do processo de cura utilizado, que devem ser adequados ao processo. A resistência mecânica também é diretamente relacionada à capacidade de compactação do equipamento e ao teor de umidade da mistura, e também a distribuição granulométrica dos agregados. Já a durabilidade está relacionada com a capacidade do concreto em resistir à ação da água e a ataques químicos. Esta característica depende da resistência à penetração de água no material, que está relacionada aos poros do concreto, que por sua vez dependem também do teor de umidade e da compactação da mistura (DOWNSON, 1981).

3.3 PLUMBAGINA

A PG é um derivado do carbono encontrado com certa facilidade e abundância, possui uma estrutura lamelar formada por planos de átomos de carbono arranjados de forma hexagonal (grafeno), essas camadas estão ligadas entre si principalmente pela força de interação fraca (Van der Waals) (MACEDO, 2011). A Figura 9 apresenta a estrutura das camadas de PG e os estados de hibridização de alguns nanomateriais de carbono típicos.

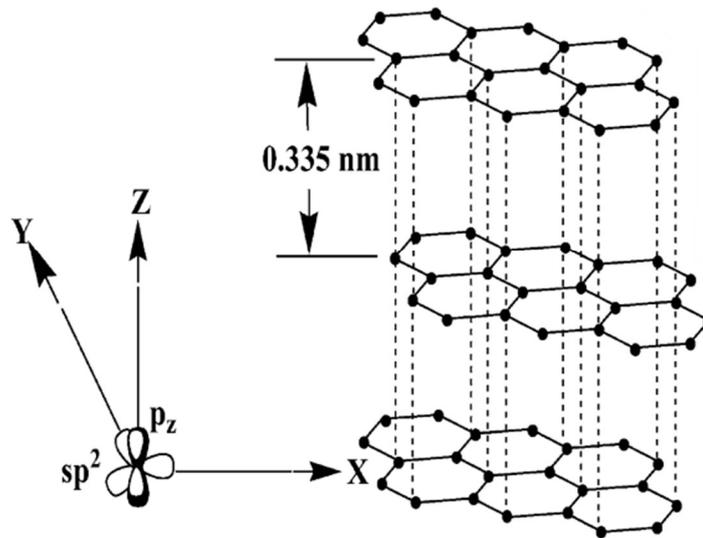


Figura 9. Estrutura em camadas de plumbagina.
Fonte: SENGUPTA (2011).

No estudo de Mendonça (2019), excelentes propriedades de condução foram encontradas para adições de 10% de plumbagina, apresentando também grande estabilidade dos valores de resistividade elétrica após os 28 dias de cura. Peixoto (2020), investigou sobre a adição de PG funcionalizado com ácido oxálico e dopado com cálcio na dosagem de concreto de cimento Portland, e comprovou que as propriedades mecânicas do concreto são melhoradas com a adição de PG, e que a funcionalização do composto orgânico pode maximizar estes resultados.

O impacto de microplaquetas de PG (GNMPs) na resistência à flexão e compressão de compósitos à base de cimento foi explorado por Khalid, et al. (2018), que provaram que a intrusão de GNMPs em 0,05 e 0,1% aumenta a resistência à compressão residual da argamassa endurecida em 165 e 216% respectivamente, isto porque, GNMPs atuam como pontes entre hidratos e obrigam as fissuras a diversificar sua trajetória inibindo a propagação de fissuras até certo ponto. Farhadi (2019) em seu estudo também sobre os efeitos das microplaquetas de plumbagina na estrutura dos materiais de cimento, observaram que os GNMPs agem principalmente como barreiras que retardam o desenvolvimento de hidratos de cimento e mitigar o desenvolvimento de estruturas de silicatos de cálcio hidratados (C–S–H) estendidas. Essas interações também podem impactar o desenvolvimento do gelporos em estruturas C–S–H.

Li et al, (2018) estudou as características aprimoradas de transferência de calor do concreto com PG, foi produzido uma série de concretos, utilizando cimento, areia, água, aditivo

reductor de água e PG em pó nas porcentagens de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. Os autores concluíram com a realização dos experimentos que a adição de PG aumenta o coeficiente de transferência de calor, especialmente para porcentagens acima de 15%.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização e Caracterização Geral da Área de Estudo

A fábrica que sediou este estudo fica localizada na região norte do Município de Rio Verde GO como apresentado na Figura 10, está no mercado desde o ano de 2004, e é referência no município quando se trata da fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes.

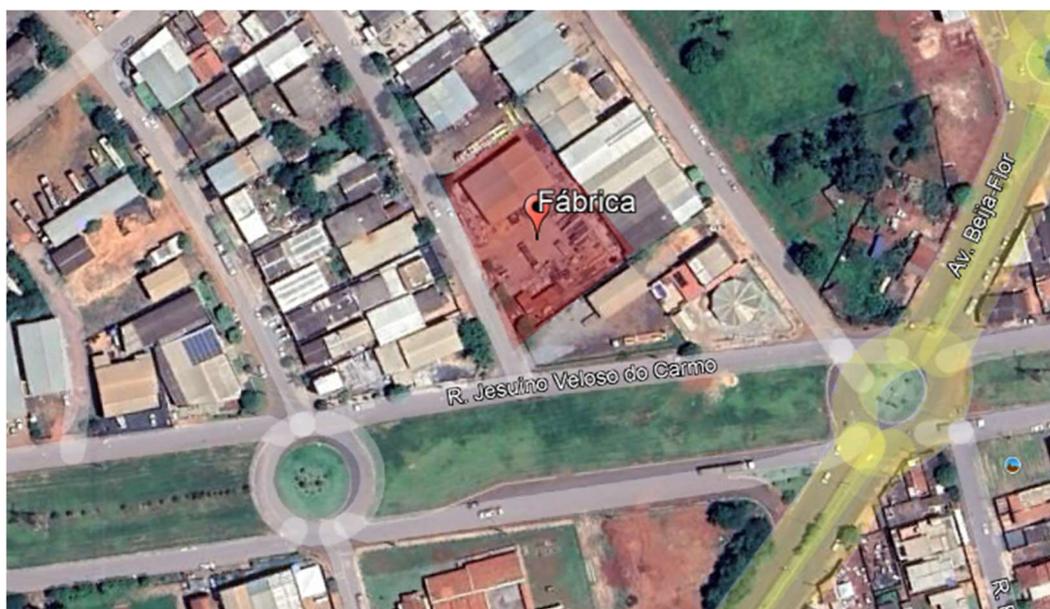


Figura 10. Localização da fábrica.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Os blocos de concreto estruturais são o cargo chefe do estabelecimento, que tem uma demanda diária de em torno de 6.000 unidades distribuídas para os de diferentes dimensões que são confeccionados pela fábrica.

A concreteira em questão, tem no seu sistema de produção uma máquina hidráulica mecanizada, que produz até 4 blocos de vez (Figura 11), equipamento indicado para produção de blocos de concreto de alta qualidade. Devido a sua alta compactação na prensagem, unida a um conjunto de vibração potente, a máquina de bloco hidráulica consegue otimizar a resistência a compressão dos blocos produzidos.



Figura 11. Máquina hidráulica utilizada na produção dos blocos de concreto.
Fonte: Próprio Autor (2022).

4.2 Materiais Empregados

4.2.1 Cimento

A fábrica atualmente utiliza o cimento CP-V ARI com a finalidade de se obter uma alta resistência inicial e diminuir o tempo de cura dos artefatos produzidos, a marca adotada pela fábrica é a GoiásTM. As características do cimento estão descritas na ficha técnica oferecida pelo fabricante.

4.2.2 Plumbagina

O material adotado para a produção do concreto foi a plumbagina em pó da marca GraftsoloTM, o manual do fabricante apresenta suas especificações.

4.3 Caracterização dos agregados

Os ensaios de caracterização dos agregados foram realizados no laboratório de Materiais de Construção civil da Universidade de Rio Verde (UNIRV), campus Rio Verde - GO. A Tabela 1 apresenta as normas adotadas para execução dos ensaios realizados para os agregados miúdos e graúdos.

Tabela 1. Normas de caracterização de agregado

Agregado Miúdo	
Norma	Ensaio
Granulometria	NBR-NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica	NBR-NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária do agregado solto	NBR- NM 45 (ABNT, 2006)
Massa unitária do agregado compactado	NBR- NM 45 (ABNT, 2006)
Agregado Graúdo	
Granulometria	NBR-NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica	NBR-NM 53 (ABNT, 2002)
Massa específica aparente	NBR-NM 53 (ABNT, 2002)
Absorção de água	NBR-NM 53 (ABNT, 2002)
Massa unitária do agregado solto	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Massa unitária do agregado compactado	NBR NM 45 (ABNT, 2006)

Fonte: Próprio Autor (2022).

4.3.1 Caracterização da areia grossa

A composição granulométrica da areia grossa, pode ser vista na Tabela 2, já a Figura 12 apresenta a curva granulométrica da areia grossa.

Tabela 2. Composição Granulométrica da Areia Grossa

Peneiras (mm)	P. Amostra (g)	% Retida	% Ret. Acum.	P. Amostra (g)	% Retida	% Ret. Acum.	%Retida Média	%Ret. Acum. Média
12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,30	9,76	1,96	1,96	9,60	1,93	1,93	2,00	2,00
4,75	10,73	2,16	4,12	11,30	2,27	4,20	2,00	4,00
2,36	21,09	4,24	8,37	22,08	4,44	8,64	4,00	8,51
1,18	46,39	9,33	17,70	47,10	9,47	18,12	9,00	18,00
0,60	103,56	20,84	38,54	102,93	20,70	38,82	21,00	39,00
0,30	210,30	42,32	80,86	209,60	42,15	80,97	42,00	81,00
0,15	85,90	17,29	98,15	84,30	16,95	97,93	17,00	98,00
Fundo	9,22	1,85	100,00	10,30	2,07	100,00	2,00	100,00
Total	496,94			497,21				

Fonte: Próprio Autor (2022).

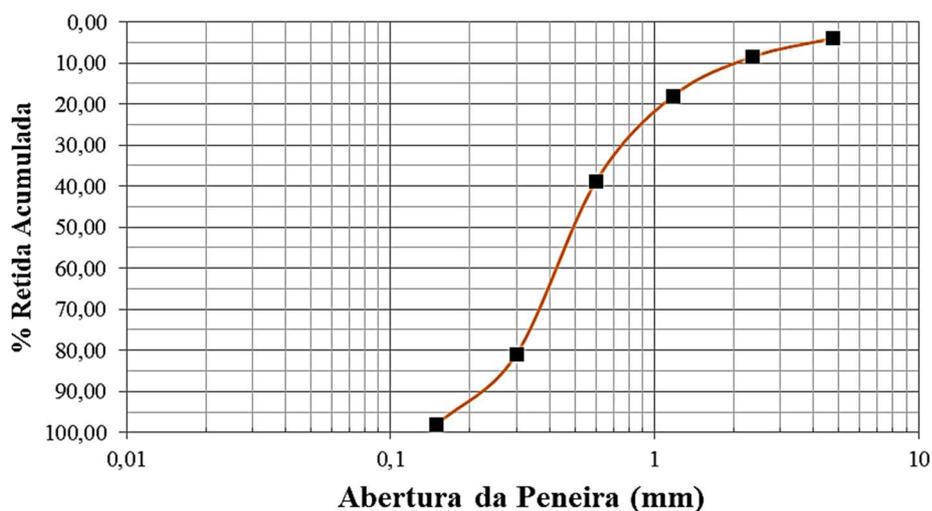


Figura 12. Curva granulométrica da areia grossa.
Fonte: Próprio Autor (2022).

A Tabela 3 apresenta os valores encontrados para os ensaios que definiam o diâmetro máximo das partículas, módulo de finura, massa específica, massa unitária solta e massa unitária compactada da areia grossa que compunha os traços adotados para a produção dos blocos de concreto alvo deste estudo.

Tabela 3. Valores característicos da areia grossa.

Φ máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária solta (g/cm ³)	Massa unitária compactada (g/cm ³)
6,30	2,49	2,604	1,625	1,706

Fonte: Próprio Autor (2022).

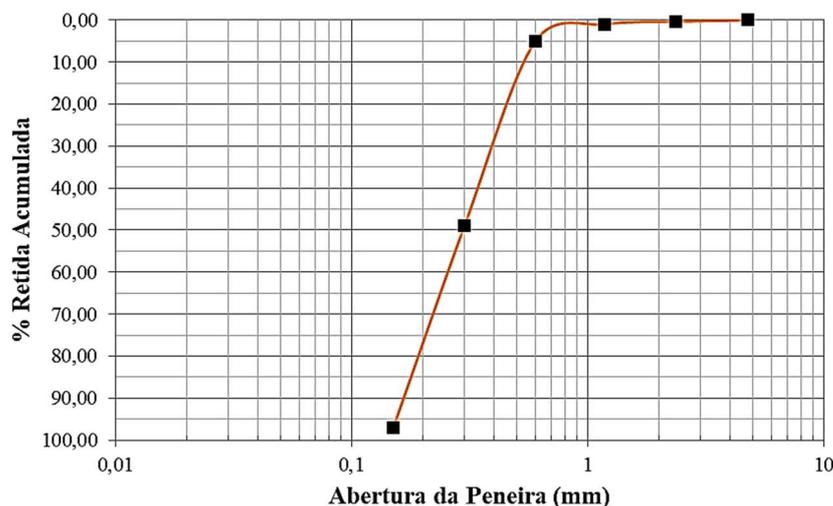
4.3.2 Caracterização da areia fina

A composição granulométrica da areia fina, pode ser vista na Tabela 4. a Figura 13 apresenta a curva granulométrica da areia fina.

Tabela 4. Composição Granulométrica da Areia Fina

Peneiras (mm)	P. Amostra (g)	% Retida	% Ret. Acum.	P. Amostra (g)	% Retida	% Ret. Acum.	%Retida Média	%Ret. Acum. Média
12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,36	1,16	0,23	0,23	2,36	0,47	0,47	0,00	0,35
1,18	4,61	0,93	1,16	5,53	1,11	1,58	1,00	1,00
0,60	16,33	3,28	4,44	15,56	3,12	4,70	3,00	5,00
0,30	221,23	44,47	48,92	220,60	44,21	48,91	44,00	49,00
0,15	238,24	47,89	96,80	239,00	47,90	96,81	48,00	97,00
Fundo	15,90	3,20	100,00	15,90	3,19	100,00	3,00	100,00
Total	497,47			498,94				

Fonte: Próprio Autor (2022).

**Figura 13.** Curva granulométrica da areia fina.

Fonte: Próprio Autor (2022).

A Tabela 5 apresenta os valores encontrados para os ensaios que definiam o diâmetro máximo das partículas, módulo de finura, massa específica, massa unitária solta e massa unitária compactada da areia fina que compunha os traços adotados para a produção dos blocos de concreto alvo deste estudo.

Tabela 5. Valores característicos da Areia Fina.

Φ máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária solta (g/cm ³)	Massa unitária compactada (g/cm ³)
2,36	1,52	2,700	1,52	1,64

Fonte: Próprio Autor (2022).

4.3.3 Caracterização do pó de pedra

A composição granulométrica do pó de pedra, pode ser vista na Tabela 6. A Figura 14, apresenta a curva granulométrica do pó de pedra.

Tabela 6. Composição Granulométrica do pó de pedra

Peneiras (mm)	P. Amostra (g)	% Retida	% Ret. Acum.	P. Amostra (g)	% Retida	% Ret. Acum.	%Retida Média	%Ret. Acum. Média
9,5	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,000	0,000
6,3	0,574	0,11	0,11	0,563	0,11	0,11	0,000	0,000
4,75	22,659	4,53	4,64	21,659	4,35	4,46	4,000	5,000
2,36	164,775	32,91	37,55	163,775	32,86	37,32	33,000	37,435
1,18	110,888	22,15	59,70	108,957	21,86	59,18	22,000	59,000
0,6	61,090	12,20	71,90	62,090	12,46	71,64	12,000	72,000
0,3	53,703	10,73	82,63	51,703	10,37	82,01	11,000	82,000
0,15	37,194	7,43	90,05	37,095	7,44	89,46	7,000	90,000
Fundo	49,798	9,95	100,00	52,549	10,54	100,00	10,000	100,000
Total	500,681			498,391				

Fonte: Próprio Autor (2022).

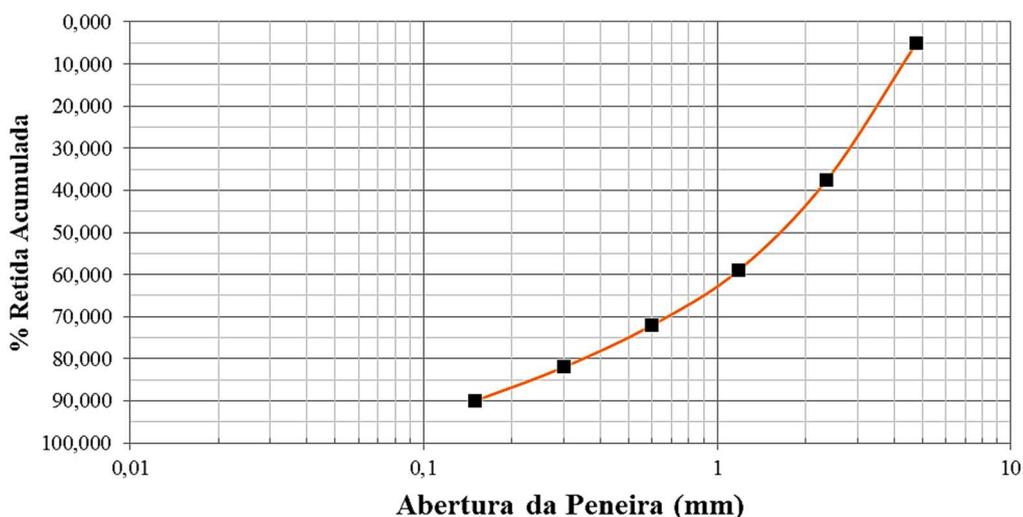


Figura 14. Curva granulométrica do pó de pedra.

Fonte: Próprio Autor (2022).

A Tabela 7 apresenta os valores encontrados para os ensaios que definiam o diâmetro máximo das partículas, módulo de finura, massa específica, massa unitária solta e massa unitária compactada do pó de pedra que compunha os traços adotados para a produção dos blocos de concreto alvo deste estudo.

Tabela 7. Valores característicos do pó de pedra

Φ máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária solta (g/cm ³)	Massa unitária compactada (g/cm ³)
6,3	3,45	2,78	1,78	1,92

Fonte: Próprio Autor (2022).

4.3.4 Caracterização da brita 0

A composição granulométrica da brita 0, pode ser vista na Tabela 8. a Figura 15, apresenta a curva granulométrica da brita 0.

Tabela 8. Composição Granulométrica da brita 0

Peneiras (mm)	P. Amostra (g)	% Retida	% Ret. Acum.	P. Amostra (g)	% Retida	% Ret. Acum.	%Retida Média	%Ret. Acum. Média
25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,50	3,60	0,72	0,72	3,60	0,72	0,72	1,00	1,00
9,50	45,84	9,11	9,83	45,84	9,11	9,83	9,00	10,00
6,30	152,15	30,24	40,07	152,15	30,24	40,07	30,00	40,00
4,75	132,40	26,31	66,38	132,40	26,31	66,38	26,00	66,00
2,36	137,38	27,30	93,69	137,38	27,30	93,69	27,00	94,00
Fundo	31,77	6,31	100,00	31,77	6,31	100,00	6,00	100,00
Total	503,143			503,143				

Fonte: Próprio Autor (2022).

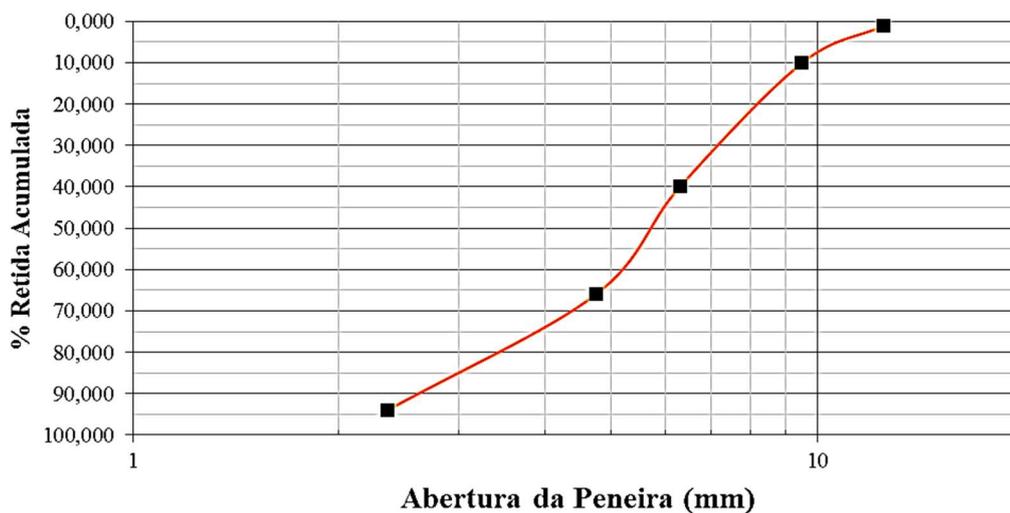


Figura 15. Curva granulométrica da brita 0.

Fonte: Próprio Autor (2022).

A Tabela 9 apresenta os valores encontrados para os ensaios que definiam o diâmetro máximo das partículas, módulo de finura, massa específica, massa unitária solta e massa

unitária compactada da brita zero que compunha os traços adotados para a produção dos blocos de concreto alvo deste estudo.

Tabela 9. Curva granulométrica da brita 0.

Φ máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária solta (g/cm ³)	Massa unitária compactada (g/cm ³)
12,5	5,5	2,75	1,544	1,738

Fonte: Próprio Autor (2022).

4.4 Confeção dos corpos de prova

Para confecção dos corpos de prova levou-se em consideração as recomendações da NBR 6136 (ABNT 2016), Tabela 10, que apresenta a quantidade mínima que deve ser confeccionada levando em consideração a quantidade de blocos produzidas por lote na fábrica.

Tabela 10. Tamanho da amostra.

Quantidade de blocos do lote	Quantidade de blocos da amostra		Quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial		Quantidade de blocos para ensaios de absorção e área Líquida
	Prova	Contraprova	Critério estabelecidoem 6.5.1	Critério estabelecidoem 6.5.2	
Ate 5 000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5 001 a 10 000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
Acima da 10 000	9 ou 13	9 ou 13	10	6	3

Fonte: Próprio Autor (2022).

Como na fábrica tem uma produção inferior a 5000 blocos por lote, foram produzidos vinte corpos de prova de cada amostra, sendo dez para prova e dez para contra prova, a fim de se ter a quantidade mínima para realização dos ensaios.

A composição de controle, (TR) mostrado na Tabela 11 foi escolhido levando em consideração o traço adotado pela fábrica para confecção dos blocos vendidos na empresa. As demais composições tiveram a adição de PG, sendo o T0,5 contendo 0,5% de adição e T01 contendo 1% de adição de PG em peso em relação à massa do cimento.

Tabela 11. Composição dos concretos secos para fabricação dos blocos.

Materiais	Composição em volume		
	TR	TR0,5	TR01
Areia Fina (l)	60	60	60
Areia Grossa (l)	120	120	120
Pó de Pedra (l)	120	120	120
Brita 0 (l)	4	4	4
Plumbagina (%)	0	0,5	1
Água	12	12	12
Relação A/C (kg/kg)	0,2	0,2	0,2

Fonte: Próprio Autor (2022).

A produção foi feita em máquina hidráulica mecanizada, que produziu 4 blocos de vez. Como apresentado na Figura 16.



Figura 16. Produção dos corpos de prova

Fonte: Próprio Autor (2022).

Após o processo de confecção, os blocos foram armazenados em grupos de quatro unidades sobre placas de madeira colocadas diretamente sobre o solo, em ambiente coberto e posteriormente aplicou-se o processo de cura ambiente durante dois dias, como pode ser observado na Figura 17.



Figura 17. Produção dos corpos de prova
Fonte: Próprio Autor (2022).

Após o processo de cura foram colocadas etiquetas nos blocos que indicavam o traço que referia. E transportados para o Instituto Federal Goiano, onde foi realizado parte dos ensaios (Figura 18).



Figura 18. Identificação dos corpos de prova
Fonte: Próprio Autor (2022).



Figura 19. Identificação dos corpos de prova.
Fonte: Próprio Autor (2022).

4.5 Ensaios Realizados

A NBR 6136 (ABNT 2016), é responsável por classificar blocos de concreto vazados simples de acordo com suas características e a partir atribuir suas funções e usos recomendados (Tabela 12).

Tabela 12. Classificação de blocos de concreto vazado.

Classificação	Classe	Recomendações
Com função estrutural	A	- Recomendada para obras de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo. É a classe mais resistente de todas.
	B	- Recomendada para qualquer obra de alvenaria acima do nível do solo
Com ou sem função estrutural	C	- Designadas para edificações de no máximo dois pavimentos.
		- Permite-se o uso de blocos com função estrutural classe C, com largura de 90 mm, para edificações de no máximo um pavimento.
Sem função estrutural	D	- Permite-se o uso de blocos com função estrutural classe C, com largura de 115 mm, para edificações de no máximo dois pavimentos
		- Permite-se o uso de blocos com função estrutural classe C, com larguras de 140 mm e 190 mm, para edificações de até cinco pavimentos
		- Apenas para vedação
		- Os blocos com largura de 65 mm têm seu uso restrito para alvenaria sem função estrutural.

Fonte: Próprio Autor (2022). a partir de dados disponibilizados pela NBR 6136 (ABNT 2016)

4.5.1 Análise dimensional

O ensaio de análise dimensional verifica as dimensões do corpo de prova, como a largura o comprimento, altura, espessura das paredes e dimensões dos furos. Este ensaio seguiu as recomendação da NBR 12118 (ABNT 2013) e os resultados foram comparados com às dimensões constantes na Tabela 13 NBR 6136 (ABNT 2016)

Tabela 13. Designação por classe, largura e espessura mínima das paredes.

Classe	Largura mm	Paredes longitudinais a mm	Paredes transversais	
			Paredes a mm	Espessura equivalente b mm/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

a= Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

b= Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: NBR 6136 (ABNT 2016)

A Equação 1 (E1), é utilizada para obtenção da espessura equivalente das paredes dos blocos de concreto.

$$eeq = \left(\frac{\sum eti}{lreal} \right) \quad (E1)$$

No qual: eeq é a espessura equivalente mínima, expressa em milímetros por metro (mm/m), eti se trata da espessura das paredes transversais do bloco, expressa em milímetros (mm) e lreal, é o comprimento real do bloco, expresso em metros (m).

4.5.2 Absorção

O ensaio de absorção verifica a relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa até a constância de massa, expressa em porcentagem. Este ensaio seguiu as recomendação da NBR 12118 (ABNT 2013), que utiliza a E2, para obter os valores para absorção.

$$A = \left(\frac{m2 - m1}{m1} \right) \times 100 \quad (E2)$$

No qual: A represente a absorção total, expressa em porcentagem (%), m1 é a massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas (g), m2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

Os resultados foram comparados com às dimensões constantes na Tabela 14 NBR 6136 (ABNT 2016). Para este estudo considerou-se os valores utilizados para agregado normal.

Tabela 14. Requisitos para resistência característica a compressão e absorção.

Classificação	Classe	Resistência característica a compressão axial a MPa	Absorção %			
			Agregado normal b Individual	Agregado normal b Média	Agregado leve C Individual	Agregado leve C Média
Com função estrutural	A	$F_{bk} \geq 8,0$	≤ 9	$\leq 8,0$		
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	≤ 10	≤ 9	≤ 16	≤ 13
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	≤ 11	≤ 10		

a= Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.

b= Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).

c= Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935).

Fonte: NBR 6136 (ABNT 2016).

A Figura 20 apresenta o processo de imersão do corpo de prova em temperatura de 24° C, a Figura 21 mostra a pesagem do corpo de prova em condição saturado com superfície seca.

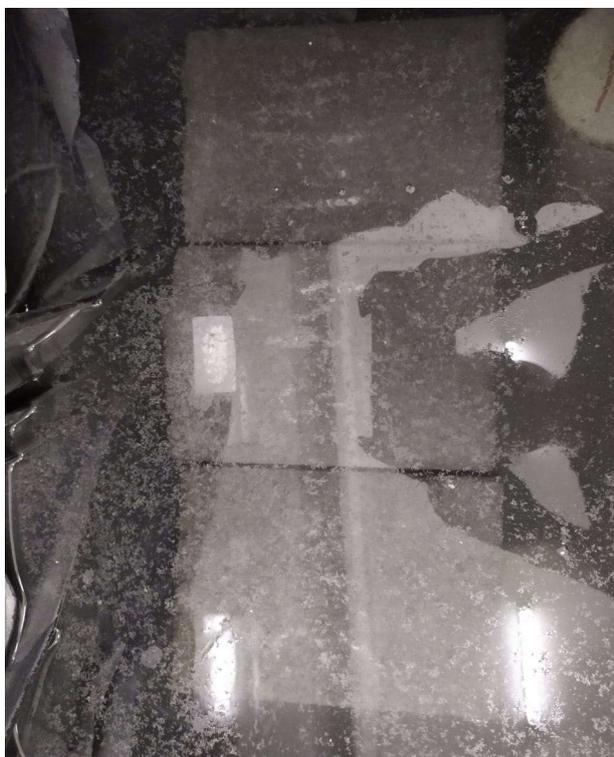


Figura 20. Processo de imersão do corpo de prova em temperatura de 24° C.
Fonte: Próprio Autor (2022).



Figura 21. Pesagem do corpo de prova em condição saturado com superfície seca.
Fonte: Próprio Autor (2022).

4.5.3 Resistência mecânica a compressão

O ensaio de resistência mecânica a compressão se trata da relação entre a carga de ruptura e a área bruta do corpo de prova, área da seção perpendicular dos eixos dos furos, sem o desconto das áreas dos vazios, quando submetido ao ensaio de compressão axial. Este ensaio seguiu as recomendações da NBR 12118 (ABNT 2013) e os resultados foram comparados com às dimensões constantes na Tabela 14 da NBR 6136 (ABNT 2016). O ensaio de resistência mecânica a compressão foi realizada com a prensa hidráulica da marca INSTRON™, com capacidade de carga de 300 kN. A equação E3 apresenta o cálculo utilizado para obtenção da resistência a compressão de cada amostra.

$$\sigma_c = \frac{f_c}{A} \quad (E3)$$

No qual σ_c é a resistência a compressão em megapascals (MPa), f_c a carga aplicada verticalmente axialmente ao corpo de prova em newtons (N), e A é a área bruta do bloco.

A Figura 22 apresenta os corpos de prova com faces de trabalho regularizadas com pasta de gesso e com espessura de 3 mm.



Figura 22. Corpos de prova com faces de trabalho regularizadas com pasta de gesso e com espessura de 3 mm.
Fonte: Próprio Autor (2022).

A figura 23 apresenta os corpos de prova colocados na prensa de modo que o centro de gravidade coincidia com o eixo de cargas dos pratos da prensa.



Figura 23. Ensaio de resistência a compressão.
Fonte: Próprio Autor (2022).

4.5.4 Tratamento estatístico

A fim de se verificar se havia diferença significativa entre os resultados encontrados para resistência a compressão dos três traços estudados, foi feito através do software SISVARTM, o teste Tukey que foi utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre as médias dos tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Dimensional

Analisando os corpos de prova, foi possível verificar que os blocos objeto deste estudo são da família 15 x 40, com dimensões características representadas na Figura 24.

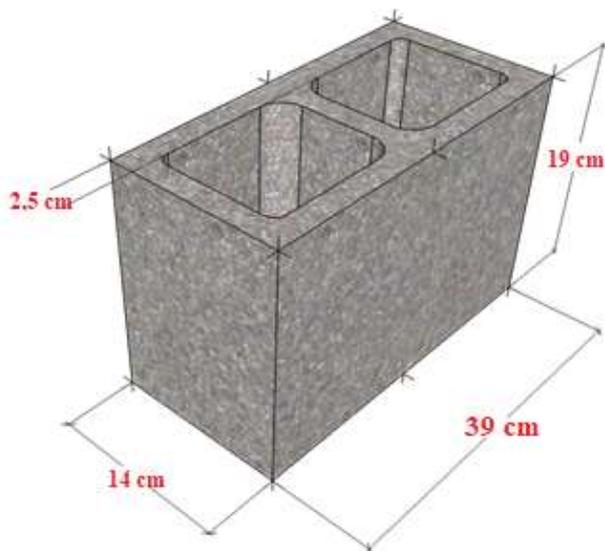


Figura 24. Dimensões características dos corpos de prova.
Fonte: Próprio Autor (2022).

A Tabela 15 apresenta os resultados obtidos na análise dimensional dos seis corpos de prova de cada um dos traços analisados e para suas respectivas médias.

Tabela 15. Análise Dimensional dos corpos de prova

Traço	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Paredes longitudinais a (mm)	Paredes transversais	
					Paredes (mm)	Espessura equivalente (mm/m)
TR	139,00	390,00	190,00	25,00	25,00	192,00
	141,00	390,00	190,00	25,00	24,00	187,00
	140,00	390,00	191,00	24,00	26,00	195,00
	141,50	390,00	189,50	26,00	25,00	195,00
	142,00	390,00	190,00	25,00	25,00	192,00
	140,50	390,00	190,00	25,00	24,00	187,00
Média	140,67	390,00	190,00	25,00	24,83	191,00
T 0,5	141,00	390,00	192,00	25,00	24,00	187,00
	140,50	390,00	190,00	25,00	26,00	197,00
	142,00	390,00	191,00	24,00	25,00	190,00
	140,00	390,00	190,00	26,00	25,00	195,00
	141,80	390,00	190,00	25,00	25,00	192,00
	140,00	390,00	190,00	25,00	26,00	197,00
Média	140,88	390,00	190,50	25,00	25,17	193,00
T1	140,00	390,00	190,00	25,00	25,00	192,00
	139,00	390,00	190,00	24,00	24,00	187,00
	141,00	390,00	191,00	25,00	25,00	195,00
	140,50	390,00	189,50	26,00	25,00	195,00
	140,00	390,00	190,00	25,00	25,00	192,00
	141,00	390,00	190,00	25,00	25,00	187,00
Média	140,25	390,00	190,00	25,00	24,83	191,00

Fonte: Próprio Autor (2022).

O traço referência (TR) apresentou uma média de 140,67 mm para largura 390 mm para o comprimento, 190,17 mm de altura, e de 25 e 24,67 para paredes longitudinais e transversais respectivamente. O traço (T0,5) apresentou uma média de 140,88 mm para largura 390 mm para o comprimento, 190,5 mm de altura, e de 25 e 25,17 respectivamente para paredes longitudinais e transversais respectivamente.

O traço (T1) apresentou uma média de 140,25 mm para largura 390 mm para o comprimento, 190,08 mm de altura, de 25 e 24,83 respectivamente para paredes longitudinais e transversais respectivamente. Todos os blocos tanto o traço referência quanto os correspondes aos traços T0,5 e T1 podem ser enquadrados nas classes A ou B, no que se refere as dimensões. Sendo que os valores encontrados tanto para os resultados das amostras individuais,

apresentadas na Tabela 13, quanto para suas respectivas médias estão dentro da tolerância permitida pela NBR 6136 (ABNT 2016).

5.2 Absorção

O ensaio de absorção de água foi realizado nos blocos de concreto para os traços TR, T0,5 e T1. Os resultados obtidos na determinação da absorção de água foram calculados de acordo com as prescrições da NBR 12118 (ABNT 2013) e são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Resultados do ensaio de absorção

Traço	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	Absorção
TR	10,20	10,70	4,90%
	9,98	10,66	6,81%
	10,15	10,80	6,40%
Média			6,04%
T0,5	10,20	10,75	5,39%
	10,15	10,70	5,42%
	9,97	10,65	6,82%
Média			5,88%
T1	10,00	10,75	7,50%
	10,15	10,64	4,83%
	9,99	10,65	6,61%
Média			6,31%

Fonte: Próprio Autor (2022).

Pode-se observar que os traços TR, T0,5 e T1., utilizados na confecção dos blocos de concreto, apresentaram absorções de água que atendem as especificações da NBR 6136 (ABNT 2016), por apresentarem absorção média inferiores à 8% e absorções das amostras individuais inferiores a 9%, sendo este, o valor máximo exigido pela norma para blocos estruturais classe A.

5.3 Resistência a Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados nos blocos de concreto para o traço sem adição de plumbagina TR (traço referência), e para os traços com adição de plumbagina T0,5 e T1. Tabela 17 e Figura 25 apresentam os resultados obtidos para a propriedade mecânica de resistência a compressão.

Tabela 17. Resultados de resistência a compressão

Traço	Repetição	Resistência a compressão aos 28 dias (MPa)	Resistência a compressão aos 90 dias (MPa)
TR (Traço Referência)	TR-1	3,16	3,10
	TR-2	3,57	2,90
	TR-3	3,21	3,29
	TR-4	3,08	3,88
	TR-5	3,30	2,98
	TR-6	3,84	3,24
	SD	0,29	0,35
	Média	3,36	3,23
T0,5 (Traço com adição de 0,5% de PG)	T0,5-1	4,03	4,45
	T0,5-2	3,71	3,89
	T0,5-3	3,85	4,91
	T0,5-4	4,66	4,45
	T0,5-5	4	4,06
	T0,5-6	3,95	4,79
	SD	0,33	0,40
	Média	4,03	4,43
T1 (Traço com adição de 1% de PG)	T1-1	2,42	3,78
	T1-2	3,80	3,47
	T1-3	3,15	3,68
	T1-4	3,52	3,37
	T1-5	2,77	3,86
	T1-6	2,80	3,38
	SD	0,52	0,21
	Média	3,08	3,59

Fonte: Próprio Autor (2022).

Com base na Tabela 17, pode-se visualizar que o menor valor encontrado de resistência a compressão obteve o valor de 2,42 MPa pertencente ao traço com 1% de adição de PG (T1), e a amostra com maior resistência atingiu 4,91 MPa, e pertence ao traço com adição de 0,5% de adição de PG (T,5). O maior desvio padrão encontrado foi de $\pm 0,52$ MPa referente a T1 com 28 dias, no entanto para testes com até seis corpos de prova a NBR 6136 (2016) estabelece um desvio padrão máximo de $\pm 0,89$ MPa, como nenhum dos traços atingiu este desvio padrão seus resultados de médias para resistência a compressão podem ser aceitos. A Figura 23, apresenta a variação das médias de resistência das diferentes composições e idades.

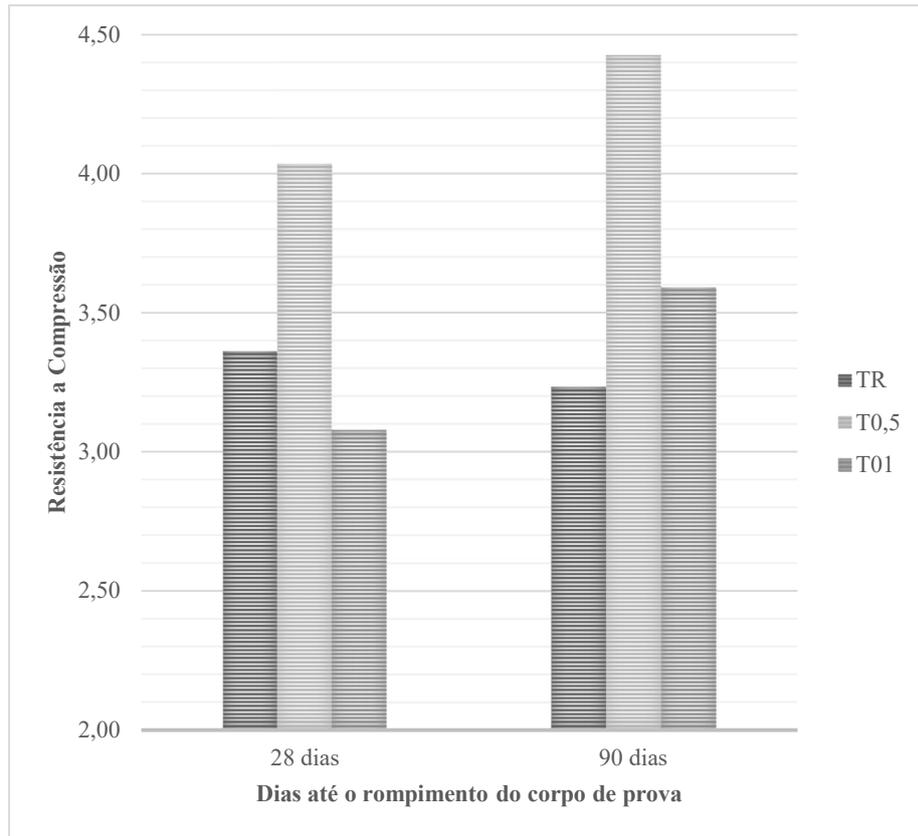


Figura 25. Resistências a compressão médias
 Fonte: Próprio Autor (2022).

Com base na Figura 25, pode-se visualizar o aumento de resistência no decorrer da cura nos traços com adição de PG, quando comparados ao concreto controle TR. Destaca-se a composição T0,5 pela maior resistência mecânica à compressão, apresentando melhoria de 20,03 % da resistência em comparação ao traço referência aos 28 dias e de 36,92 % aos 90 dias. Sobretudo pode-se verificar também que o aumento do incremento a partir de 1 % de PG, reduz os ganhos de resistência mecânica, como é visto para a composição T01, que aos 28 dias apresentou a menor média encontrada ($3,08 \pm 0,52$ MPa), 8,43 % menor que o valor encontrado para o traço referência na mesma idade.

Apenas a composição T0,5 apresentou resistências mecânicas mínimas para se enquadrar nos blocos estruturais classe B, podendo ser recomendados para qualquer obra de alvenaria acima do nível do solo. Já os blocos de composição TR e T0,1 tendo em base os valores médios encontrados para sua resistência, conforme a NBR 6136 (2016) são classificados como blocos estruturais classe C, sendo permitidos para edificações de no máximo cinco pavimentos.

5.4 Tratamento Estatístico

A Tabela 18 apresenta os resultados de 28 dias para a propriedade mecânica de resistência a compressão.

Tabela 18. ANOVA, resultados de 28 dias para de resistência a compressão

FV	Gl	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Amostra	2	2,897	1,448	9,512	0,0021
Erro	15	2,285	0,152		
CV (%) =	11,18				
Média Geral:	3,49		Nº de obs:	18	
Teste Tukey para propriedade mecânica de resistência à compressão aos 28 dias					
Tratamentos	Médias	Resultados do teste			
TR	3,076667	a1			
T1	3.360.000	a1			
T0,5	4.033.333	a2			

Fonte: Próprio Autor (2022).

No qual: SQ é a soma de quadrados, gl o grau de liberdade QM o quadrado médio CV o coeficiente de variação e F a variação entre médias da amostra / variação dentro das amostras

Analisando a Tabela 17 pode-se verificar que estatisticamente, pelo teste Tukey, formaram-se 2 grupos com médias equivalentes que se diferenciam entre si, a2 com maior média (composição T0,5) apresenta maior resistência mecânica a compressão na idade de 28 dias, o segundo grupo (a1) formado pelas composições TR e T1 apresentam médias semelhantes entre si e que não podem ser considerados distintos e apresentam resistência inferior.

A Tabela 19 apresenta os resultados da análise estatística para a propriedade mecânica de resistência a compressão aos 90 dias

Tabela 19. ANOVA, resultados de 90 dias para resistência a compressão

FV	G	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Amostra	2	4,499	2,249	20,733	0
Erro	15	1,627	0,108		
CV (%) =	8,79				
Média Geral:	3,7988		Nº de obs:	18	
Teste Tukey para propriedade mecânica de resistência à compressão aos 90 dias					
Tratamentos	Médias	Resultados do teste			
TR	3,231667	a1			
T1	3,590000	a1			
T0,5	4,425000	a2			

Fonte: Próprio Autor (2022).

Com a análise da Tabela 18 pode-se verificar que a composição T0,5 apresentou maiores valores de resistência mecânica à compressão aos 90 dias de idade, e os traços TR e T1 também apresentarem-se sem diferença significativa e média inferior ao traço T,0,5 assim como no teste aplicado para os 28 dias. Com a análise estatística, verificou-se que a composição T0,5 apresentou melhor desempenho para a propriedade mecânica de resistência.

6 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que para os ensaios de análise adimensional, todos os blocos foram considerados aptos para a alvenaria estrutural, pois configura as medidas da norma, os valores para todos os traços não aparentaram diferença significativa.

Tratando-se do ensaio de absorção, os blocos de concreto que tiveram adição de PG não apresentaram significativas mudanças dos valores encontrados para os blocos sem adição. Contudo, todos os blocos ficaram dentro das especificações técnicas descritas pela ABNT NBR 6136 (ABNT 2016). Pode-se dizer então, que os blocos de concreto produzidos neste estudo possuem impermeabilidade suficiente para que não ocorra problemas de aderência de argamassas.

Entre os valores encontrados para a resistência a compressão destacaram-se a composição T0,5 pela maior resistência mecânica à compressão, apresentando melhoria de 20,03 % da resistência em comparação ao traço referência aos 28 dias e de 36,92 % aos 90 dias. Sobretudo pode-se verificar também que o aumento do incremento a partir de 1 % de pumlagina reduz os ganhos de resistência mecânica. Apenas a composição T0,5 apresentou resistências mecânicas mínimas para se enquadrar nos blocos estruturais classe B.

Já os blocos de composição TR e T0,1 tendo em base os valores médios encontrados para sua resistência, conforme a NBR 6136 (ABNT 2016) são classificados como blocos estruturais classe C. O teste de Tukey, tanto para 28 dias como para 90 dias, verificou que não existe uma diferença significativa entre os tratamentos TR e T1, já o traço T0,5 apresentou melhor desempenho para a propriedade mecânica de resistência. Novos estudos devem ser realizados a fim de compreender melhor o desempenho do PG e seu comportamento em materiais cimentícios. Este estudo será utilizado pela fábrica a fim de conhecer melhor a característica dos blocos lá produzidos e também poderá ser utilizado como acervo científico.