

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO JACKOSKI MIGLIORANZA

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE SOLO-
CIMENTO PARA DIFERENTES TEORES DE CIMENTO NA MISTURA**

PATO BRANCO

2023

EDUARDO JACKOSKI MIGLIORANZA

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE SOLO-
CIMENTO PARA DIFERENTES TEORES DE CIMENTO NA MISTURA**

**EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOUR OF SOIL-CEMENT BLOCKS
FOR DIFFERENT CEMENT CONTENT IN THE MIXTURE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa

PATO BRANCO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

EDUARDO JACKOSKI MIGLIORANZA

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE SOLO-
CIMENTO PARA DIFERENTES TEORES DE CIMENTO NA MISTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21/junho/2023

Ney Lyzandro Tabalipa
Doutor em Geologia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

Danilo Rinaldi Bisconsini
Doutor em Engenharia de Transportes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

Paulo Cezar Vitorio Junior
Doutor em Engenharia Civil e Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

**PATO BRANCO
2023**

AGRADECIMENTOS

Tenho tanto a agradecer àqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho.

De início agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa, por ter aceitado o desafio de orientar um trabalho em curso e defendido a proposta do trabalho quando necessário.

Agradeço também a Prof^a. Dra. Flávia Gonçalves Pissinati Pelaquim, por ter iniciado a orientação do trabalho, e ter me auxiliado com sua expertise na hora de definir um tema que fosse condizente com as limitações da pesquisa e com meus interesses.

Ao Prof. Dr. Danilo Rinaldi Bisconsini e ao Prof. Dr. Paulo Cezar Vitorio Junior, membros da banca avaliadora, pelas sugestões que possibilitaram o aprimoramento do trabalho.

A Secretaria do Curso, e a UTFPR – Campus Pato Branco, por ter fornecido o material e equipamentos necessários para a realização da pesquisa.

Aos meus amigos, e familiares, pelas palavras e gestos de apoio nos momentos de maior ansiedade. Em especial, sou grato a meu primo e eterno amigo, Leonardo Nathan Chioquetta, por ter disponibilizado seu tempo livre para auxiliar nas etapas práticas da pesquisa.

Todos foram de suma importância para que o presente trabalho fosse realizado.

RESUMO

Por integrar um conjunto de atividades que aponta diretamente a qualidade de vida da população e infraestrutura de um país, o mercado da construção civil pode ser considerado como um reflexo do desenvolvimento econômico dessa nação. No Brasil, nos últimos anos, é evidenciado um aumento do déficit habitacional, proveniente do aumento dos custos com moradia aliado a queda da economia. Em cima disso, a construção com blocos estruturais de solo-cimento tem se mostrado como uma alternativa mais sustentável ao método convencional, demandando de mais estudos e divulgação acerca do assunto. O presente trabalho tomou como objetivo explorar o comportamento mecânico de tijolos fabricados com diferentes teores de cimento na mistura a partir do solo disponível no Município de Pato Branco - PR. Para a realização da investigação, o solo disponível foi estudado e corrigido quanto a sua granulometria, utilizando duas partes de areia de britagem para uma parte do solo natural. Foram adotados os teores de 6%, 8%, 10%, 12% e 14% de cimento para a estabilização do solo, utilizando prensa manual para a fabricação de blocos de solo-cimento. Os corpos de prova foram ensaiados quanto a sua resistência a compressão simples e absorção de água após 14 dias de cura e, apesar de apenas um dos traços ter atendido todos os requisitos definidos por norma, pôde ser verificado um aumento linear da resistência média a compressão de cada traço conforme o aumento do teor de cimento presente na mistura. Ainda, quando relacionado aos resultados obtidos através do ensaio de absorção, também foi possível observar uma relação direta entre a compactação dos blocos e a sua resistência a compressão. O trabalho foi capaz de evidenciar o comportamento mecânico de tijolos de solo-cimento fabricados com diferentes teores de cimento, contudo, ainda se mostram necessários estudos para avaliar o comportamento dos blocos a partir de demais variáveis, como a compactação, umidade, e correção granulométrica do solo.

Palavras-chave: solo-cimento; construção civil; materiais de construção; sustentabilidade.

ABSTRACT

By integrating a set of activities that can indicate the quality of life of the population and the infrastructure of a country, the civil construction market can be seen as a reflection of the economic development of that nation. In Brazil, in recent years, there has been an increase in the national housing deficit related to the increase in housing costs combined with the downturn in the economy. On top of that, soil-cement construction has proven to be a more sustainable alternative to the conventional masonry method, demanding studies and dissemination on the subject. The present work aimed to explore the mechanical behavior of bricks manufactured with different cement contents in the mixture made from the soil available in Pato Branco - PR. To carry out the investigation, the available soil was researched and had its granulometry rectified, using two parts of crushed sand for one part of the natural soil. The content of 6%, 8%, 10%, 12% and 14% of cement were adopted for soil stabilization, used for the manufacture of soil-cement blocks using a manual press. The bricks were tested for their resistance to simple compression and water absorption after 14 days of curing and, although only one of the traces met all the requirements defined by the local regulations, a linear increase in the average resistance to compression related to the increase of the cement content in each trace was verified. Further, when compared to the results obtained through the absorption test, it was also possible to observe a direct relation between the compaction of the blocks and their resistance to simple compression. The research was able to demonstrate the mechanical behavior of soil-cement bricks manufactured with different cement contents, however, studies are still necessary to evaluate the behavior of the blocks based on other variables, as the compression, humidity and granulometric correction of the soil.

Keywords: soil-cement; civil construction; construction materials; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema do solo: (a) em estado natural; (b) separado em volumes.	16
Figura 2 - Prensa CINVA-RAM.....	22
Figura 3 - Estabilização de talude com solo-cimento ensacado	22
Figura 4 - Alvenaria estrutural em blocos de solo-cimento	22
Figura 5 - Edificação em paredes monolíticas de solo-cimento.....	23
Figura 6 - Tijolo vazado de solo-cimento	24
Figura 7 - Tijolo vazado de solo-cimento	27
Figura 8 - Localização do município de Pato Branco.....	28
Figura 9 - Localização do ponto de coleta de solo	30
Figura 10 - Coleta do solo	31
Figura 11 - Solo armazenado em sacos plásticos	31
Figura 12 - Torrões de argila encontrados nas amostras coletadas	32
Figura 13 - amostra de solo sendo homogeneizada.....	36
Figura 14 - Aparelho para determinação do limite de liquidez	37
Figura 15 - Vista em planta do aspecto da ranhura	37
Figura 16 – Ranhura fechada ao longo de cerca de 13 mm	37
Figura 17 - Teste da Mão – moldagem do bolo	40
Figura 18 - Teste da mão - divisão do bolo	41
Figura 19 - Teste da Mão - queda e desagregação do bolo	41
Figura 20 - Solo destorroado para secagem	42
Figura 21 - prensa manual para fabricação de tijolos de solo-cimento	43
Figura 22 - Tijolo moldado.....	43
Figura 23 - Tijolos armazenados e agrupados por traço.....	43
Figura 24 - Câmara de cura úmida	44
Figura 25 - Blocos de solo cimento cortados	45
Figura 26 - Metades empilhadas com suas faces cortadas opostas.....	45
Figura 27 - Blocos unidos e capeados	46
Figura 28 - Blocos nivelados.....	46
Figura 29 - Corpos imersos em água.....	46
Figura 30 - Corpo de prova no ensaio de compressão	47
Figura 31 - Curva granulométrica da areia de britagem	50

Figura 32 - Gráfico do Limite de Liquidez (LL).....	51
Figura 33 - Gráfico da resistência média x teor de cimento	53
Figura 34 - Comportamento da umidade ótima e da resistência à compressão de solo-cimento para sete e 28 dias de cura.....	54
Figura 35 - Comparação da RCS com a absorção média para diferentes teores de cimento	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos solos de acordo com a dimensão dos grãos	17
Tabela 2 - Teor de cimento para solos siltsos e argilosos	25
Tabela 3 – Teor de cimento para solos arenosos	26
Tabela 4 - Resistência mecânica a compressão simples em diferentes períodos de cura	26
Tabela 5 - Dimensões para tijolos de solo-cimento.....	27
Tabela 6 - Quantidade de amostra para análise granulométrica	32
Tabela 7: Comparação da areia de britagem e solo natural.....	34
Tabela 8: Percentuais passantes calculados para diferentes traços de correção do solo	35
Tabela 9: Granulometria do solo coletado	49
Tabela 10: Granulometria da areia de britagem	49
Tabela 11 - Ensaio de Limite de Liquidez.....	50
Tabela 12 – Resultados do ensaio de limite de plasticidade	51
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de resistência a compressão simples com cura de 14 dias	52
Tabela 14 – Resultados do ensaio de absorção de água	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
1.2	Justificativa.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Solo	16
2.1.1	Índices físicos do solo	16
2.1.2	Classificação dos solos	17
2.1.3	Índices de consistência do solo	18
2.1.4	Solo para confecção de blocos de solo-cimento	19
2.2	Cimento	19
2.3	Estabilização de solos	20
2.4	Construção com solo-cimento	21
2.4.1	Vantagens e desvantagens	23
2.5	Blocos de solo-cimento	24
2.5.1	Traço solo-cimento	24
2.5.2	Umidade ótima de compactação	26
2.5.3	Requisitos técnicos.....	27
2.6	Município de Pato Branco.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Coleta de amostras do solo.....	30
3.2	Caracterização dos materiais iniciais	32
3.2.1	Preparação do solo natural.....	32
3.2.2	Solo natural	33
3.2.3	Areia de britagem	33
3.2.4	Cimento.....	33
3.3	Correção granulométrica do solo	34
3.3.1	Limite de Liquidez.....	36
3.3.2	Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade	38
3.4	Determinação dos traços de solo-cimento para ensaio	38

3.4.1	Cálculo do Índice de Grupo (IG)	39
3.4.2	Obtenção da massa específica aparente seca do solo	39
3.4.3	Traços adotados	40
3.5	Umidade ótima de moldagem	40
3.6	Fabricação de blocos	41
3.7	Ensaio laboratoriais de avaliação de desempenho dos tijolos	44
3.7.1	Ensaio de compressão simples	45
3.7.2	Ensaio de absorção de água	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1	Granulometria dos materiais	49
4.1.1	Solo natural	49
4.1.2	Areia de britagem	49
4.2	Limites de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)	50
4.3	Resistência à compressão simples	51
4.4	Absorção de água	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil surgiu há cerca de 10 mil anos, com o advento da agricultura, a partir da necessidade do homem em desenvolver suas moradas para poder proteger suas colheitas das intempéries. Os primeiros métodos empregados na construção vinham da utilização dos materiais encontrados na natureza, como pedras, galhos e terra (BARBOSA, 2003).

Com o passar dos anos, os processos construtivos evoluíram e refletiram o desenvolvimento tecnológico das diferentes sociedades que surgiram, se adaptando às necessidades organizacionais e ambientais, bem como aos materiais disponíveis (SILVEIRA, 2010).

A partir do século XIX, como decorrência da Revolução Industrial, as construções passaram a empregar cada vez mais materiais industrializados, possibilitando a disseminação de métodos construtivos conhecidos, hoje, como convencionais (BARBOSA, 2003). Com a aplicação cada vez maior dos métodos construtivos convencionais, a Indústria da Construção Civil se tornou um grande consumidor de recursos minerais e energéticos, se tornando um dos setores que mais gera impactos ambientais (JOHN, 2000).

No Brasil, o método construtivo mais comumente adotado é o de estruturas de concreto armado com vedações em alvenaria não estrutural (JOHN, 2000). Tal método é conhecido não apenas pelos impactos ambientais e sociais causados pela sua produção em escala e pela grande quantidade de resíduos gerados, mas também tem mostrado uma eficiência econômica que inviabiliza a construção de moradia para a maioria da população em épocas de baixa na economia do país.

Com o avanço das discussões a respeito da sustentabilidade social, econômica e ambiental, a busca por novas soluções construtivas passou a ser prioridade em diferentes esferas sociais. O Conselho Internacional para Pesquisa e Inovação na Construção – CIB (1999) cita a Reengenharia dos Processos Construtivos como um dos desafios a ser seguido pela indústria para alcançar os objetivos propostos pela Agenda 21, buscando resolver as deficiências da cadeia da construção através da aplicação de sistemas construtivos mais sustentáveis.

A utilização do solo na construção talvez seja uma das técnicas mais antigas conhecidas, tendo sido aplicado ao longo da história por inúmeras civilizações, como

a antiga Mesopotâmia ou a Pré-América, e ainda sendo aplicada na era moderna. Em um aspecto geral, no Brasil o solo como material construtivo pode ser visto em várias edificações do período colonial, no sudeste do país, ou mesmo em casas de baixo custo em regiões mais vulneráveis (REIS, 2004).

Até o século passado, cerca de um terço dos habitantes do planeta viviam em moradias de terra crua (TAVEIRA, 1987). Em contrapartida, nos dias atuais, o senso comum classifica o solo como um “material de pobre”, uma vez que sua utilização incorreta, devida ao baixo conhecimento técnico acerca do assunto, resulta em construções de baixa qualidade e com péssimo aspecto estético (BARBOSA, pg. 17, 2003)

Contudo, a construção com blocos de solo-cimento pode se apresentar como uma solução ideal, uma vez que emprega um baixo consumo de energia na extração da matéria prima, dispensa um processo de fabricação agressivo ao meio ambiente e gera obras com bom desempenho térmico, acústico e mecânico, quando bem aplicada (SEGANTINI; WADA, 2011)

Diante das informações, o presente trabalho aborda os blocos de solo-cimento como objeto de estudo, buscando complementar a literatura existente acerca do seu comportamento mecânico para diferentes traços da mistura, a partir do solo do Município de Pato Branco – Paraná, possibilitando avaliar a viabilidade da aplicação do método construtivo na região.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Verificar o comportamento mecânico de blocos estruturais fabricados com diferentes traços de mistura solo-cimento a partir do solo do Município de Pato Branco, Paraná.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o solo disponível no município de Pato Branco – PR;

- Verificar o comportamento mecânico em ensaios de resistência à compressão simples para diferentes teores de cimento, para o tempo de cura de 14 dias;
- Verificar a absorção de água dos blocos de solo-cimento fabricados com diferentes teores de cimento, para o tempo de cura de 14 dias;
- Analisar os resultados obtidos.

1.2 Justificativa

A construção civil é estreitamente ligada ao desenvolvimento econômico e social de um país. No Brasil e no mundo, ela integra um conjunto de atividades que aponta diretamente a qualidade de vida da população e desenvolvimento econômico do país, sendo o meio responsável por movimentar toda a cadeia industrial, da exploração de insumos à geração de empregos (MONTEIRO FILHA; COSTA; ROCHA, 2010).

Conforme dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2022), no ano de 2021, a construção civil contribuiu com 2,6% de todo o PIB brasileiro, valor que se mostra abaixo da média histórica dos últimos 20 anos, que é de 5,0%. Tal decréscimo é observado a partir do ano de 2013, ano que sucedeu um pico de 6,5%, em 2012, e, desde então, a taxa de participação apresentou uma queda constante.

Em contrapartida, ao final do ano de 2019, estimou-se que, no Brasil, o déficit habitacional, que representa o número de famílias que vivem em condições de moradia precárias ou não possuem moradia, foi de 5.876.699 famílias, com um crescimento de 1,3% em relação ao indicador no ano de 2016 (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2021).

Conforme a Confederação Nacional da Indústria – CNI (2022), o principal problema apontado pela indústria da construção civil é a falta ou alto custo da matéria prima necessária. Em comparação, entre os anos de 2016 e 2019, o índice médio de apontamentos se manteve abaixo dos 10%, enquanto que no segundo trimestre de 2022 o índice atingiu 47,7% dos apontamentos. Tal dado é corroborado pelo SINDUSCON - PR (2022), que aponta que o Custo Unitário Básico – CUB para edifícios multifamiliares de padrão normal no final do segundo trimestre de 2022 apresentou um aumento de 67% em relação ao mesmo período de 2016, sendo que

o salário mínimo vigente, de acordo com o (IPEADATA, 2022), apresentou um aumento de apenas 38%.

A partir disso, surge a necessidade de serem avaliados diferentes sistemas construtivos que sejam capazes de entregar o desempenho esperado em edificações com finalidade residencial com um menor custo de produção e impacto social e ambiental.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS (2014) aponta que a adoção de soluções alternativas mais sustentáveis, tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental, enfrenta a dificuldade da falta de conhecimento técnico referente às especificações de materiais.

A construção com blocos de solo-cimento (ou tijolos prensados de terra crua estabilizados com cimento) apresenta grande potencial como um sistema construtivo de menor custo, uma vez que sua matéria prima principal, o solo, é de fácil extração e seu beneficiamento também ocorre de maneira simplificada, podendo ser realizado em menor escala até mesmo sem a utilização de energia elétrica e por uma mão de obra não especializada. Assim, esse método construtivo se mostra como uma solução capaz de contribuir na melhora das condições de vida no país (BARBOSA, 2003).

Portanto, o presente trabalho visa realizar um estudo acerca dos blocos de solo-cimento, investigando, o comportamento mecânico das peças estruturais com diferentes traços de estabilização da matéria prima, considerando o solo da microrregião de Pato Branco - PR.

Para a execução do trabalho, foram necessários recursos laboratoriais, como equipamentos para caracterização do solo, misturadores, e prensa para os blocos de solo-cimento de acordo com a ABNT NBR 8491 (2012a). Os ensaios técnicos foram realizados pelos laboratórios da UTFPR – Campus Pato Branco, e alguns recursos próprios foram empregados.

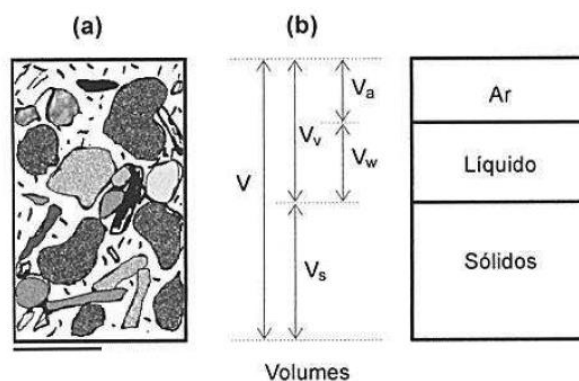
A partir do estudo do comportamento mecânico dos blocos de solo-cimento a partir do solo natural de Pato Branco, é esperado levantar dados que poderão auxiliar estudos futuros de viabilidade técnica e econômica da implementação em larga escala do processo construtivo, em busca de diminuir os impactos socioeconômicos causados pela construção civil na região no método convencional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solo

Os solos têm sua origem ligada a desagregação de rochas minerais por via de ações físicas ou químicas, gerando um aglomerado de partículas sólidas, com estrutura porosa e de livre movimentação. Além das partículas sólidas, o solo também é composto por um volume de ar e de água, o que influencia no seu comportamento mecânico (PINTO, 2006).

Figura 1 - Esquema do solo: (a) em estado natural; (b) separado em volumes.



Fonte: Editado de Pinto (2006)

As propriedades físicas e mecânicas de um solo dependem, principalmente, dos minerais que o compõe (DAS, 2019). A partir disso, é imprescindível que haja um estudo classificatório do material a ser trabalhado para que seja compreendido o seu comportamento mecânico a partir dos seus índices físicos.

2.1.1 Índices físicos do solo

Para identificar o estado do solo, segundo Pinto (2002) empregam-se índices que correlacionam os pesos e os volumes das três fases. Estes índices são os seguintes:

- Umidade: relação entre o peso da água e o peso dos sólidos;

- índice de vazios: relação entre o volume de vazios e o volume das partículas sólidas;
- Porosidade: relação entre o volume de vazios e o volume total;
- Grau de saturação: relação entre o volume de água e o volume de vazios;
- Peso específico dos sólidos (γ_s) - é uma característica dos sólidos. Relação entre peso das partículas sólidas e seu volume;
- Peso específico da água (γ_a) - Embora varie um pouco com a temperatura, adota-se sempre igual a 10 kN/m³;
- Peso específico natural (γ_n) - Relação entre o peso total do solo e seu volume total;
- Peso específico aparente seco (γ_d) - Relação entre o peso dos sólidos e o volume total;
- Peso específico aparente saturado (γ_{sat}) - peso específico do solo se viesse a ficar saturado e se isso ocorresse sem variação de volume;
- Peso específico submerso (γ_{sub}) - é o peso específico efetivo do solo quando submerso. É igual ao peso específico natural menos o peso específico da água.

2.1.2 Classificação dos solos

A forma mais básica de classificação dos solos é de acordo com sua granulometria, que estuda a distribuição dos grãos conforme sua dimensão, podendo passar por um processo de peneiração associado a um ensaio de sedimentação, descritos através da ABNT NBR 7181 (2016a).

A NBR 6502 descreve os tipos de solo de acordo com a dimensão dos grãos presentes em sua composição, que pode ser conferido na Tabela 1 (ABNT, 2022a).

Tabela 1 - Classificação dos solos de acordo com a dimensão dos grãos

Tipo de solo	Dimensão do grão
Matacão	200 mm a 1 m
Pedra	60 mm a 200 mm
Pedregulho	2 mm a 60 mm
Areia grossa	0,60 mm a 2,0 mm

Areia média	0,20 mm a 0,60 mm
Areia fina	0,06 mm a 0,20 mm
Silte	0,002 mm a 0,06 mm
Argila	< 0,002 mm

Fonte: ABNT NBR 6502 (2022a)

A argila e o silte apresentam comportamento parecido, devido ao seu tamanho reduzido e conseqüente grande área de superfície, são vistas como a parte mais ativa do solo, uma vez que apresentam um comportamento plástico quando úmidos e adquirem resistência elevada quando secos.

A areia, por sua vez, é conhecida por ser um material inerte, uma vez que não reage quimicamente com outros materiais, tendo grande aplicação na construção civil como um material de enchimento (GUACELLI, 2010). Sua estrutura é granular simples, sendo que suas partículas se apoiam umas sobre as outras sob a ação da gravidade, dependendo unicamente do seu atrito (VIEIRA, 2017).

Atualmente, dois sistemas de classificação são mais comumente empregados, são eles o *Highway Research Board* – HRB, mais empregado para projetos rodoviários, e o Sistema Unificado de Classificação de Solos, preferível pelos engenheiros geotécnicos (DAS, 2019).

O sistema HRB é fundamentada na granulometria, Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade dos solos, também inserindo o cálculo do Índice de Grupo (IG) para auxiliar na classificação dos solos em 7 grupos principais, divididos em dois outros grupos, de areias e de argilas (BUENO; VILAR, 1980).

2.1.3 Índices de consistência do solo

Apesar da classificação dos solos conforme sua granulometria ser bastante simples e usual, é o tipo e quantidade de argilominerais presentes no solo que determinam as suas propriedades físicas. Para tal, é necessário o estudo dos índices de consistência do material para a interpretação das suas características de plasticidade, que descrevem o comportamento gradual do material conforme a alteração da sua umidade.

Uma forma de estudar esses índices de consistência é através dos limites de Atterberg, que define o Limite de Liquidez (LL) como a fronteira convencional entre o

estado líquido e o estado plástico do solo, que pode ser obtido pelo ensaio de Casagrande. Já o Limite de Plasticidade (LP) representa a fronteira entre o estado sólido e o estado semi-sólido do material, e o Índice de Plasticidade (IP) como sendo a umidade necessária para que o solo passe do solo plástico ao líquido (BUENO; VILAR, 1980).

2.1.4 Solo para confecção de blocos de solo-cimento

Os principais autores que abordam a utilização do solo-cimento na construção civil destacam diferentes curvas granulométricas do solo ideais para a aplicação da técnica. Contudo, é consenso que solos com teores maiores de areia sejam mais adequados para tal, uma vez que os grãos de areia tem função única de preenchimento do volume, enquanto que os grãos menores, de silte e argila, serão aglomerados com a utilização do cimento (SEGANTINI, 2000).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2004) defende que para a utilização em uma mistura solo-cimento, o solo deve apresentar as seguintes características:

- Diâmetro máximo: 75 mm;
- % de material passando pela peneira nº 4 (4,8 mm) \geq 50%;
- % de material passando pela peneira nº 40 (0,42 mm) entre 15% e 100%;
- % de material passando pela peneira nº 200 (0,075 mm) \leq 50%;
- Limite de liquidez \leq 40%;
- Índice de plasticidade \leq 18%.

Silveira (1966) ainda acrescenta que os solos mais favoráveis para estabilização com cimento são aqueles que contém uma fração de silte e argila entre 10% e 35%, e um teor de matéria orgânica de, no máximo, 2%.

2.2 Cimento

A palavra cimento tem sua origem no latim *Caementum*, que indica um material com propriedades hidráulicas, no caso, um ligante que, ao ser misturado com água, endurece. Foram os romanos os primeiros a misturar cal, areia e pedra com o

objetivo de aplicar em construções, onde grandes monumentos, como o Panteão e o Coliseu, foram construídos a partir dos solos de origem vulcânica obtidos na região de Pozzuoli, de onde foi originado o nome do material pozolana. (VARELA; VIEIRA, 2005).

De acordo com a ABCP (pg. 5, 2002), “o cimento portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água”. A mistura do cimento com água, areia, pedra britada e outros aditivos resulta no concreto, principal material utilizado na construção civil no Brasil.

O cimento é composto pela mistura de clínquer com adições minerais. O clínquer é o componente comum a todos os tipos de cimento portland, enquanto que as adições são responsáveis pela definição das diferentes classes do material (ABCP, 2002).

Hoje, são cinco os principais tipos de cimento que podem ser encontrados no mercado brasileiro, o CP-I, CP-II, CP-III, CP-IV e CP-V ARI, podendo ainda apresentar subtipos devidos a presença de outras adições minerais. O entendimento da composição e de cada tipo do cimento e das suas respectivas propriedades tecnológicas é essencial na combinação com as propriedades do solo para a obtenção de uma mistura de solo-cimento adequada (MIELI, 2009).

Em levantamento realizado por Gusmão et al. (2018), foi observado que os tipos de cimento mais recomendados pelos fabricantes, para a aplicação em estruturas de solo-cimento, são aqueles com adição de pozolana, ou seja, o cimento CP-II-Z, e o cimento CP-IV-RS.

2.3 Estabilização de solos

Quando o solo é tratado como um material de construção, é necessário que as suas características sejam avaliadas e levadas em consideração, uma vez que suas propriedades são complexas e heterogêneas (GRANDE, 2003). O processo de estabilização do solo é responsável por alterar as propriedades do material com o fim de adequá-lo para aplicação na construção civil (MILANEZ, 1957).

Ingles & Metcalf (1972) afirmam que são três os métodos de estabilização do solo: estabilização mecânica, estabilização granulométrica e estabilização química.

De acordo com Grande (2003), quando aplicada uma ação mecânica sobre uma porção de solo, a fim de compactá-lo, sua estrutura é modificada e, como resultado, é obtido um material com densidade, resistência mecânica, compressibilidade, permeabilidade e porosidade alterados.

Por outro lado, a correção granulométrica ocorre através da mistura de um ou mais solos conhecidos com o objetivo de gerar um material com granulometria adequada para a sua finalidade. Um solo bem graduado terá uma proporção ideal de areia, silte e argila, de forma que os espaços entre as partículas maiores são preenchidos com as partículas menores, o que garante melhoramento de características como a coesão unitária e ângulo de atrito interno (SENÇO, 2007).

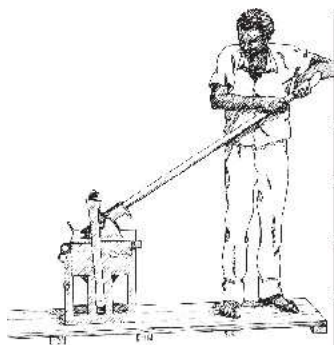
A estabilização química, por sua vez, consiste na adição de um agente químico no solo a fim de alterar as propriedades do material. Nesses casos, o aditivo reage com os minerais existentes no solo, ou com a água presente nos poros, garantindo maior resistência mecânica (SALES; RIBEIRO; NERY, 2017).

2.4 Construção com solo-cimento

O solo-cimento é um produto endurecido proveniente de uma mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções determinadas através de ensaios de laboratório e posteriormente compactada. O estudo dessa técnica de estabilização do solo na construção civil moderna foi iniciado nos Estados Unidos, por volta de 1935 (ABCP, 2004; SILVEIRA, 1966).

Na década de 1940, a ABCP já possuía experiência no uso de paredes monolíticas de solo-cimento e, em 1949, o Hospital Adriano Jorge, em Manaus, foi idealizado e construído com uso exclusivo dessa técnica (GRANDE, 2003).

Na década de 1950, o pesquisador colombiano G. Ramirez concebeu uma prensa manual para fabricação de tijolos de solo-cimento, conhecida como Prensa CINVA-RAM (Figura 2). O estudo mais aprofundado da utilização desse método começou apenas na década de 1980, na França (BARBOSA, 2003).

Figura 2 - Prensa CINVA-RAM**Fonte: Barbosa, 2003**

Hoje, a aplicação desse método de estabilização de solo pode ser vista no reforço de bases e sub-bases para pavimentos rodoviários, revestimento de cursos e reservatórios de água, camadas de fundações, estabilização de taludes (Figura 3), alvenarias de tijolos e blocos prensados (Figura 4), ou painéis monolíticos (Figura 5), com ou sem função estrutural (ABIKO, 1980; SILVEIRA, 1966).

Figura 3 - Estabilização de talude com solo-cimento ensacado**Fonte: Dang Construtora (s.d.)****Figura 4 - Alvenaria estrutural em blocos de solo-cimento****Fonte: Revista AdNormas (2019)**

Figura 5 - Edificação em paredes monolíticas de solo-cimento



Fonte: Estudio Piloti Arquitetura (s.d.)

2.4.1 Vantagens e desvantagens

A construção com solo-cimento é defendido pela ABCP (2000) como um processo vantajoso do ponto de vista econômico, social e ecológico. As suas principais vantagens estão relacionadas a alta disponibilidade de material em todo o território nacional e consequente diminuição de custo de transporte; emprego de equipamentos simples e mão de obra não especializada; e eliminação do consumo de combustíveis, uma vez que dispensam a queima da argila.

Ainda pode-se acrescentar entre as vantagens do método o desempenho térmico e acústico da edificação, a dispensa da necessidade de revestimentos, e a não proliferação de insetos nocivos à saúde (SILVA, 2005). Taveira (1987) também defende que a construção com solo-cimento viabiliza uma obra limpa e com menor quantidade de resíduos e entulhos.

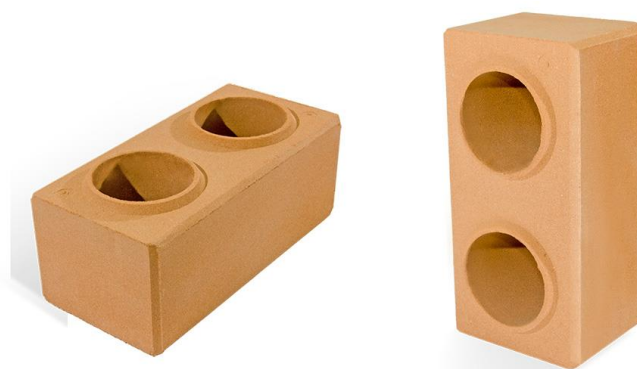
Contudo, uma das principais desvantagens encontradas nesse método é a grande variedade da principal matéria prima, o solo, o que exige emprego de análises e correções específicas para cada região. Também, o aparecimento de patologias devido a reação entre os minerais que compõe o solo e os estabilizantes pode ser apontado como um ponto de atenção sobre o processo construtivo (GRANDE, 2003).

2.5 Blocos de solo-cimento

Os tijolos de solo-cimento, de acordo com a ABNT NBR 8491, são componentes de alvenaria constituídos de uma mistura de solo, cimento Portland e água, que deve ser homogênea, compactada e endurecida. Sua altura deve ser menor que sua largura, e eventualmente pode apresentar demais aditivos ou pigmentos em sua composição (ABNT, 2012a).

Podem ser classificados como tijolos vazados (Figura 6) ou tijolos maciços, o que depende da relação entre seu volume total e volume aparente (medido a partir das dimensões externas da peça). Um tijolo do tipo vazado possui volume total inferior a 85% do volume aparente, contando com furos verticais e espessura especificada em norma (ABNT, 2012a).

Figura 6 - Tijolo vazado de solo-cimento



Fonte: Eco Máquinas (c2022)

2.5.1 Traço solo-cimento

O Centro de Pesquisas e Desenvolvimento - CEPED (1984) analisou o teor de cimento necessário para atender os critérios de resistência e durabilidade e concluiu que o traço de estabilização do solo deve atender um teor de cimento entre 10% e 14% para que a resistência seja atendida, com resistência de compressão maior que 1,0 MPa.

Contudo, a ABNT NBR 8491 (2012a) estabelece que a resistência média a compressão com idade mínima de 7 dias dos blocos não deve ser inferior a 2,0 MPa,

sendo que nenhum bloco pode apresentar valor individual interior a 1,7 MPa (ABNT, 2012a).

A ABCP (2004), com base em suas pesquisas, determinou os teores ideais de cimento, em massa, com base na composição granulométrica, no Índice de Grupo (IG) e no peso específico aparente seco para solos siltsos e argilosos (Tabela 2) e para solos arenosos (Tabela 3).

Tabela 2 - Teor de cimento para solos siltsos e argilosos

Índice de grupo	Silte (%)	Peso específico aparente seco máximo (kN/m ³)						
		14,40 a 15,19	15,20 a 15,99	16,00 a 16,79	16,80 a 17,59	17,60 a 18,39	18,40 a 19,19	19,20 ou mais
0 - 3	0 - 19	12	11	10	8	8	7	7
	20 - 39	12	11	10	9	8	8	7
	40 - 59	13	12	11	9	9	8	8
	>60	-	-	-	-	-	-	-
4 - 7	0 - 19	13	12	11	8	8	7	7
	20 - 39	13	12	11	9	9	8	8
	40 - 59	14	13	12	10	10	9	8
	>60	15	14	12	10	10	9	9
8 - 11	0 - 19	14	13	11	9	9	8	8
	20 - 39	15	14	11	9	9	9	9
	40 - 59	16	14	12	10	10	10	9
	>60	17	15	13	10	10	10	10
12 - 15	0 - 19	15	14	13	11	11	9	9
	20 - 39	16	15	13	11	11	10	10
	40 - 59	17	16	14	12	12	11	10
	>60	18	16	14	12	12	11	11
16 - 20	0 - 19	17	16	14	12	12	11	10
	20 - 39	18	17	15	13	13	11	11
	40 - 59	19	18	15	14	14	12	12
	>60	20	19	16	14	14	13	12

Fonte: ABCP (2004)

Tabela 3 – Teor de cimento para solos arenosos

Índice de grupo Silte (%)	Peso específico aparente seco máximo (kN/m ³)						
	16,80 a 17,59	17,60 a 18,39	18,40 a 19,19	19,20 a 19,99	20 a 20,79	20,80 ou mais	
0 - 3	0 – 19	10	9	8	7	6	5
	20 – 39	9	8	7	7	5	5
	40 – 59	11	10	9	8	6	5
4 - 7	0 – 19	10	9	8	6	5	5
	20 – 39	9	8	7	6	6	5
	40 – 59	12	10	9	8	7	6
8 - 11	0 – 19	10	8	7	6	5	5
	20 – 39	11	9	8	7	6	5
	40 – 59	12	11	10	9	8	6

Fonte: ABCP (2004)

O indicado pela ABNT NBR 10833 para determinação de dosagem para os tijolos de solo-cimento com função estrutural, é que sejam desenvolvidos três traços de solo-cimento a partir dos quais os tijolos serão moldados, curados e testados a fim de obter o melhor traço (ABNT, 2012b).

Em estudo realizado a partir de solo argiloso A-7-6, pela classificação AASHTO, Kolling, Trogello e Modolo (2012) avaliaram o desempenho mecânico de blocos produzidos a partir de seis traços diferentes (Tabela 4).

Tabela 4 - Resistência mecânica a compressão simples em diferentes períodos de cura

Traço (Cimento:Solo)	Resistência média (MPa)	
	7 dias	28 dias
1:10	2,91	4,93
1:11	2,32	4,03
1:12	2,22	3,56
1:13	2,44	4,18
1:14	2,61	4,40
1:15	2,52	4,08

Fonte: editado de Kolling, Trogelo e Modolo (2012)

2.5.2 Umidade ótima de compactação

A umidade ótima de compactação também é fator essencial na fabricação de blocos de solo-cimento, uma vez que a alteração da umidade da mistura pode gerar significativos decréscimos na resistência da peça final. Contudo, nos ensaios realizados por Grande (2003), uma mistura com umidade ótima de compactação não representa, necessariamente, a melhor umidade de produção de blocos de solo-

cimento, uma vez que a sua consistência não possibilita o manuseio do material depois da prensagem, destorroando facilmente.

A umidade ótima de compactação é aquela que resulta no maior peso específico aparente de um solo seco, a partir da realização do ensaio de Proctor, normatizado pela ABNT NBR 7182 (2022b).

2.5.3 Requisitos técnicos

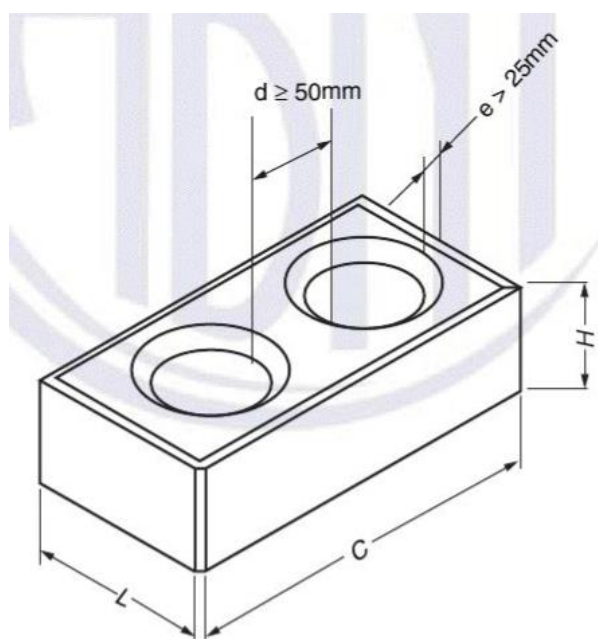
A ABNT NBR 8491 (2012a) estabelece requisitos mínimos que devem ser atingidos por todos os tijolos de solo-cimento para fins estruturais. As suas dimensões devem conferir com um dos tipos estabelecidos na Tabela 5, e com a Figura 7. As dimensões terão tolerância de $\pm 1,0$ mm.

Tabela 5 - Dimensões para tijolos de solo-cimento

Tipos	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: ABNT NBR 8491 (2012a)

Figura 7 - Tijolo vazado de solo-cimento



Fonte: ABNT NBR 8491 (2012a)

Os blocos ainda deverão atender a uma resistência à compressão média mínima de 2,0 MPa, sendo que nenhum valor individual poderá ser inferior a 1,7 MPa. A absorção média de água dos blocos deverá ser de, no máximo, 20%, sendo que nenhum valor individual poderá ser superior a 22%.

2.6 Município de Pato Branco

O município de Pato Branco (Figura 8) é localizado na região Sudoeste do estado do Paraná. Possui uma população estimada de 84 mil habitantes, com um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e Produto Interno Bruto per capita acima da média brasileira (IBGE, 2017).

Figura 8 - Localização do município de Pato Branco



Fonte: Autoria própria (2022)

Em sua maior parte, o solo encontrado em Pato Branco é do tipo Latossolo Vermelho, cujo nome origina da cor consequente da alta presença de óxido de ferro. Esse tipo de solo geralmente tem composição granular argilosa, não sendo ideal para

a utilização em estruturas de solo-cimento sem ter sua granulometria corrigida (BALENA; BORTOLINI; TOMAZONI, 2009; SANTOS; ZARONI, 2021).

No município também são encontradas indústrias de britagem de rocha basáltica, viabilizando a utilização de areia de britagem, subproduto dessas indústrias, no emprego da correção granulométrica do solo natural.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta de amostras do solo

O solo foi coletado na rotatória de acesso ao contorno noroeste de Pato Branco, que esteve recentemente em obras, e está localizado a uma distância, por meio de vias públicas, de 5,9 km do Campus de Pato Branco da UTFPR. Mais precisamente, o local de coleta foi na saída da rotatória com espera para receber novas obras de pavimentação (Figura 9), com coordenadas 26°09'14,77" Sul, 52°42'26,61" Oeste.

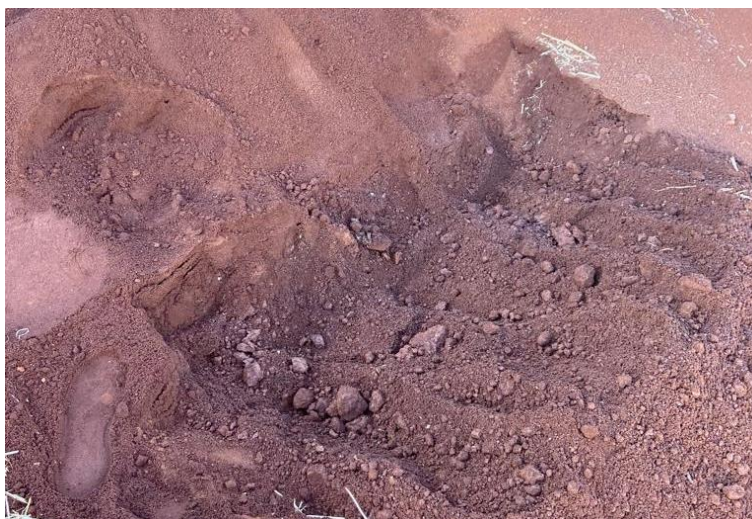
Figura 9 - Localização do ponto de coleta de solo



Fonte: Google (c2022). Disponível em: <http://maps.google.com>

A coleta do solo seguiu como indicado pela ABNT NBR 9604:2016 para a obtenção de amostras deformadas. Assim, as amostragens de solo foram coletadas a partir de uma trincheira com largura mínima de 1 metro (Figura 10). A camada mais superficial foi descartada, com o intuito de evitar a presença de matéria orgânica nas amostras.

Figura 10 - Coleta do solo



Fonte: autoria própria (2022)

As amostras para ensaio foram obtidas a partir do solo escavado, sendo coletadas a cada metro escavado da trincheira, ou sempre que houve alteração de solo. A escavação foi realizada com a utilização de enxada e pá. O solo foi armazenado em sacos de plástico resistentes e lacrados, a fim de manter sua umidade (Figura 11).

Figura 11 - Solo armazenado em sacos plásticos



Fonte: autoria própria (2022)

3.2 Caracterização dos materiais iniciais

3.2.1 Preparação do solo natural

A preparação do solo seguiu conforme indicado na ABNT NBR 6457 (2016b). Para tal, as amostras foram secas ao ar livre até atingirem valor próximo a umidade hidrocópica. Em seguida, os torrões foram desmanchados (Figura 12), sendo evitada a quebra de grãos, até atingir a homogeneidade da amostra. Após, pelo método de quarteamento, as amostras foram reduzidas até obter quantidade suficiente para a realização dos ensaios necessários.

Figura 12 - Torrões de argila encontrados nas amostras coletadas



Fonte: autoria própria (2022)

As amostras a serem utilizadas para análise granulométrica foram peneiradas com a peneira de 76 mm, desprezando o material retido. Do material passado, foi tomado uma amostra de quantidade de 1kg, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, determinadas por observação visual (mm)	Quantidade mínima a tomar (kg)
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

NOTA 1 O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada

NOTA 2 O valor da massa específica dos grãos, a ser utilizado no cálculo da análise granulométrica por sedimentação, é determinado a partir de certa de 500 g de material passado na peneira de 2,0 mm.

Fonte: ABNT NBR 6457 (2016b)

3.2.2 Solo natural

O solo coletado foi inicialmente caracterizado quanto a sua granulometria, de forma a possibilitar uma correção com a areia de britagem. A análise granulométrica foi realizada com a utilização de um granulômetro a laser, uma vez que, para solos lateríticos, o método manual por peneiramento tende a não entregar resultados tão precisos (OLIVEIRA et al., 2016). A análise foi realizada por equipe especializada do Laboratório de Solos do departamento de Agronomia da UTFPR – Campus Pato Branco.

3.2.3 Areia de britagem

Para a correção do solo natural, foi empregada a utilização de areia de britagem, disponível no Departamento de Engenharia Civil da UTFPR. Vieira (2017) afirma que o desempenho de blocos de solo-cimento fabricados com a areia de britagem é similar ao desempenho dos mesmos produtos fabricados a partir da areia natural.

A areia foi caracterizada quanto a sua granulometria através do método de peneiramento, indicado pela ABNT NBR 7181 (2016a). Foram utilizadas as peneiras de 4,8 mm, 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,0075 mm. Para um resultado mais coerente, foram tomadas duas amostras secas com massa de aproximadamente 1 kg.

3.2.4 Cimento

Os tipos de cimento mais indicados para utilização no solo-cimento são os CP II-Z-32 e o CP IV-32-RS, aqueles que apresentam adição de pozolana, que confere maior impermeabilidade ao material final (GUSMÃO et al., 2018). Sendo o cimento do tipo CP II-Z-32 o de maior disponibilidade e menor custo no mercado, ele foi adotado.

Conforme a ABNT NBR 16697 (2018), o cimento do tipo CP II-Z-32 deve apresentar uma classe de resistência de 32 MPa, com teor de clínquer mais sulfatos

de cálcio entre 71% e 94%, teor de material pozzolânico entre 6% e 14%, e teor máximo de material carbonático de 15%.

3.3 Correção granulométrica do solo

A partir da granulometria obtida do solo natural e da areia de britagem, os dois materiais foram misturados em proporções adequadas para obter as características ideais para a utilização no solo-cimento.

Tomando como base as indicações da ABCP (2004), buscou-se obter um solo com as seguintes características:

- Diâmetro máximo do grão: 75 mm;
- % de material passando pela peneira nº 4 (4,8 mm) \geq 50%;
- % de material passando pela peneira nº 40 (0,42 mm) entre 15% e 100%;
- % de material passando pela peneira nº 200 (0,075 mm) \leq 50%;
- % de matéria orgânica $<$ 2%
- Limite de liquidez \leq 40%;
- Índice de plasticidade \leq 18%.

A Tabela 7 compara os limites granulométricos indicados com a granulometria característica da areia de britagem e do solo natural utilizados no estudo.

Tabela 7: Comparação da areia de britagem e solo natural

PENEIRA (mm)	PERCENTUAL RETIDO (%)		LIMITE ABCP (2004)
	AREIA DE BRITAGEM	SOLO NATURAL	
4,8	100	100	\geq 50%
0,42	19,62	99,72	$15\% \leq \% \leq 100\%$
0,075	4,5	98,5	\leq 50%

Fonte: autoria própria (2023)

De acordo com os dados obtidos, o solo natural não apresenta percentual passante na peneira de 0,075 mm dentro dos limites indicados pela ABCP, a sua correção foi realizada tomando o percentual passante pela peneira de 0,075 mm como parâmetro a ser corrigido.

Para tal, foi adotado o limite máximo de 50% e, assumindo um valor unitário para a quantidade de solo natural na mistura, tem-se:

$$\frac{1 \cdot \%_{\text{solo natural}} + X \cdot \%_{\text{areia}}}{1+X} \leq 50\% \quad (1)$$

$$\frac{1 \cdot 98,5\% + X \cdot 4,5\%}{1+X} \leq 50\% \quad (2)$$

Sendo que X representa a quantidade de areia em um traço *solo natural:areia* de 1: X .

Adotando valores de X múltiplos de 0,5, para facilitar o cálculo da correção em grandes quantidades, tem-se os percentuais retidos nas peneiras recomendadas pela ABCP para o solo corrigido calculados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Percentuais passantes calculados para diferentes traços de correção do solo

PENEIRA (mm)	% PASSANTE PARA O TRAÇO 1:X					LIMITE ABCP (2004)
	1:1	1:1,5	1:2	1:2,5	1:3	
4,8	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	≤ 50%
0,42	59,67	51,66	46,32	42,51	39,65	15% > % < 100%
0,075	51,50	42,10	35,83	31,35	28,00	≤ 50

Fonte: autoria própria (2023)

Dessa forma, é visto que a partir do traço de correção do solo de 1:1,5, é observado um bom equilíbrio dentro dos limites definidos pela ABCP, contudo, Silveira (1966) ainda recomenda que a porcentagem de silte + argila presente no solo deve estar contido dentro dos limites de 10% a 35%. Portanto, o traço adotado foi o de 1:2 (solo natural:areia), que se apresenta mais próximo aos limites recomendados pelo autor.

Para garantir que o solo corrigido estivesse atendendo as características da ABCP (2004) e de Silveira (1966), além da mistura com base na granulometria, os ensaios de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP) foram realizados com o solo corrigido.

3.3.1 Limite de Liquidez

O ensaio para determinação do limite de liquidez do solo foi realizado de acordo com a ABNT NBR 6459 (2016c).

A amostra de solo obtida foi acrescida de água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo continuamente durante um período de 20 minutos até a obtenção de uma pasta homogênea (Figura 13), com consistência tal que fossem necessários 35 golpes para fechar a ranhura.

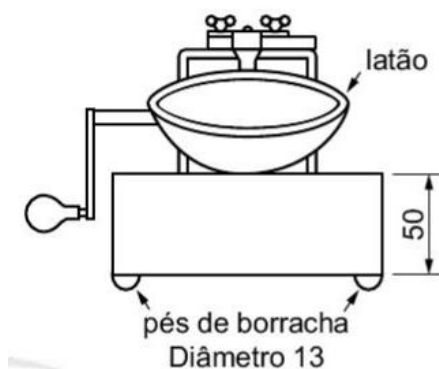
Figura 13 - amostra de solo sendo homogeneizada



Fonte: autoria própria (2023)

A mistura foi transferida para uma concha (Figura 14), moldando-a de forma que a espessura da mistura na parte central fosse de 10 mm. Com o auxílio de um cinzel, foi criada uma ranhura normal ao centro da concha, dividindo o solo em duas partes (Figura 15).

Figura 14 - Aparelho para determinação do limite de liquidez



Fonte: ABNT NBR 6459 (2016c)

Figura 15 - Vista em planta do aspecto da ranhura



Fonte: autoria própria (2023)

A concha foi recolocada no equipamento, e a manivela foi operada de forma a conferir 2 giros por segundo, até que as bordas da ranhura uniram-se em um comprimento de 13 mm (Figura 16). O número de golpes necessários para atingir o primeiro ponto foi anotado e o material no entorno da ranhura foi coletado e transferido para um recipiente adequado para realizar ensaios de determinação de umidade.

Figura 16 – Ranhura fechada ao longo de cerca de 13 mm



Fonte: autoria própria (2023)

O restante do material foi transferido para a cápsula em que o material foi preparado, sendo adicionado mais água destilada, onde a mistura foi homogeneizada por mais 3 minutos. A mistura foi levada ao equipamento, e o ensaio se deu como descrito anteriormente. Os passos foram repetidos até obter 5 pontos de ensaio.

As amostras coletadas foram pesadas úmidas, foram secas com a utilização de estufa, e posteriormente pesadas novamente. A diferença da massa obtida representa a umidade da amostra.

3.3.2 Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade

A determinação do limite de plasticidade seguiu os passos descritos através da ABNT NBR 7180 (2016d).

Inicialmente, uma amostra de 100 g de solo foi transferida para um recipiente de porcelana, onde foi adicionada água destilada aos poucos, e misturada por cerca de 20 minutos, até ser obtida uma pasta homogênea.

Da pasta obtida, foi tomada uma amostra de cerca de 10 g, em formato esférico, que foi transferida para uma placa de vidro e rolada com a palma da mão com pressão suficiente para obter um cilindro. Após o cilindro se fragmentar com um comprimento aproximado de 100 mm, e espessura de 3 mm, conforme gabarito, parte do cilindro foi coletado e sua massa foi aferida úmida e seca, após 24 horas em estufa.

O procedimento descrito foi repetido mais 2 vezes. O Limite de Plasticidade é a umidade média obtida a partir das três amostras coletadas, representado em porcentagem.

O Índice de Plasticidade (IP) é calculado através da Equação 3.

$$IP = LL - LP \quad (3)$$

3.4 Determinação dos traços de solo-cimento para ensaio

Conforme indicado pela ABCP (2004), o traço ideal para a mistura de solo-cimento depende da granulometria do solo, seu Índice de Grupo, e da massa específica do solo.

A partir dos dados obtidos, os valores foram comparados com os dados Tabela 2 e, assim, obteve-se o teor de cimento ideal para a mistura. A partir do teor obtido, foram definidos 5 traços para ensaio, um com teor de cimento igual ao obtido da tabela, um com teor de cimento abaixo do valor da tabela (com intervalo de 2%), e três com teor de cimento acima do valor da tabela (com intervalos de 2%).

3.4.1 Cálculo do Índice de Grupo (IG)

Para obtenção do Índice de Grupo (IG), adota-se a equação:

$$IG = 0,2 \cdot a + 0,05 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d \quad (4)$$

Sendo,

$a = \% \text{ de solo que passa na peneira de malha 200 (ASTM) menos } 35.$

$Se \% < 0, a = 0; Se \% > 40, a = 40$

$b = \% \text{ de solo que passa na peneira de malha 200 (ASTM) menos } 15.$

$Se \% < 0, b = 0; Se \% > 40, b = 40$

$c = \text{Limite de Liquidez do material menos } 40.$

$Se o valor < 0, c = 0; Se o valor > 20, c = 20$

$d = \text{valor do Índice de Plasticidade do material menos } 10.$

$Se o valor < 0, d = 0; Se o valor > 20, d = 20$

Dessa forma, para o solo corrigido, tem-se:

$$a = 35,83 - 35 = 0,83$$

$$b = 35,83 - 15 = 20,83$$

$$c = 47,13 - 40 = 0$$

$$d = 22,9 - 15 = 7,9$$

E assim, o Índice de Grupo calculado para o solo corrigido é de 1,81.

3.4.2 Obtenção da massa específica aparente seca do solo

Para o cálculo da massa específica aparente seca do bloco de solo cimento, foi moldado um bloco teste sem a adição de cimento, com uma umidade conhecida, o qual teve sua massa aferida, e seu volume obtido através da imersão do bloco em um recipiente com água.

A massa específica aparente seca foi obtida através da equação:

$$\rho_d = \frac{\text{Massa úmida}/(1+\text{Umidade})}{\text{Volume}} \quad (5)$$

O peso específico obtido para o bloco fabricado foi de 17,85 kN/m³

3.4.3 Traços adotados

Comparando a massa específica aparente seca obtida com o Índice de Grupo calculado e o percentual de silte calculado para o solo corrigido, o teor de cimento indicado pela ABCP na Tabela 2, para a fabricação de blocos de solo-cimento, é de 8%.

Dessa forma, para os fins do trabalho, foram adotados os teores de 6%, 8%, 10%, 12% e 14% de cimento na mistura solo-cimento para a moldagem dos blocos a serem ensaiados e comparados.

3.5 Umidade ótima de moldagem

Como observado por Grande (2003), o teor de umidade ótima de um solo, obtido através do ensaio de Proctor, pode retornar a maior resistência dos tijolos, contudo, a consistência da massa pode tornar dificultoso o manuseio das peças de solo-cimento após prensadas em prensa manual. Desse modo, foi adotado um método de determinação de umidade empírico chamado Teste da Mão.

Conforme a ABCP (2000), a umidade ideal de compactação, obtida pelo Teste da Mão, é verificada quando é tomada parte da massa já úmida que, após apertada com a mão, deve manter o formato e a marca dos dedos (Figura 17).

Figura 17 - Teste da Mão – moldagem do bolo



Fonte: autoria própria (2023)

Ainda, quando a massa obtida for dividida ao meio, ela deve manter sua forma e não se esfarelar (Figura 18), e quando solta de uma altura de aproximadamente um metro, deve se despedaçar (Figura 19).

Figura 18 - Teste da mão - divisão do bolo



Fonte: autoria própria (2023)

Figura 19 - Teste da Mão - queda e desagregação do bolo



Fonte: autoria própria (2023)

A partir do teste realizado com o solo corrigido em laboratório, com a tomada de três corpos de prova que passaram pelo teste da mão, pesadas úmidas e secas, foi identificada uma umidade ideal de moldagem de 11%.

3.6 Fabricação de blocos

A fabricação dos tijolos de solo-cimento seguiu o procedimento descrito pela ABNT NBR 10833 (2012b) para fabricação com utilização de prensa manual.

Para preparar o solo natural, o material coletado foi destorroado ainda úmido, foi seco até atingir a umidade hidrocópica (Figura 20), e foi peneirado com a utilização de uma peneira com abertura de 6,3 mm, uma vez que foi a peneira para grandes quantidades de material com a menor abertura disponível.

Figura 20 - Solo destorroado para secagem



Fonte: autoria própria (2023)

Em seguida, foram separadas as quantidades necessárias de solo natural, areia de britagem, cimento e água para a fabricação de 15 tijolos de cada traço. A partir de um tijolo teste, foi determinada uma massa básica de 3,150 kg por bloco, utilizada para determinar a massa total da mistura a ser feita, com uma margem de 10% a mais. A mistura dos materiais foi realizada com a utilização de uma betoneira até que atingisse a homogeneidade.

Durante a mistura do primeiro traço, foi percebido que a umidade obtida em laboratório, corrigida com a umidade hidrocópica do solo e da areia, não se mostrava ideal para a moldagem dos blocos, sendo ainda muito alta e não atendendo os critérios do Teste da Mão, devida a adição do cimento à mistura.

Desse modo, o Teste da Mão foi realizado para cada um dos traços durante o processo de mistura, sendo observado que, para cada um dos traços, um teor de umidade diferente era necessário. De maneira aproximada, a umidade de moldagem variou entre 6%, para o traço com teor de 6% de cimento, e 10%, para o traço com 14% de teor de cimento.

Após homogeneizada, a mistura foi transferida para a prensa manual para blocos de solo-cimento com dimensões de 12,5 cm x 25 cm (Figura 21) e moldada buscando aplicar a mesma força de alavanca para todos os blocos. Como forma de

manter uma homogeneidade nos blocos moldados, foi utilizado o dosador próprio do equipamento a fim de utilizar a mesma quantidade de material para cada tijolo.

Figura 21 - prensa manual para fabricação de tijolos de solo-cimento



Fonte: autoria própria (2023)

Os tijolos moldados (Figura 22) foram removidos do equipamento, identificados quanto ao seu teor de cimento e armazenados em pilhas com no máximo 1,50 m de altura (Figura 23).

Figura 22 - Tijolo moldado



Fonte: autoria própria (2023)

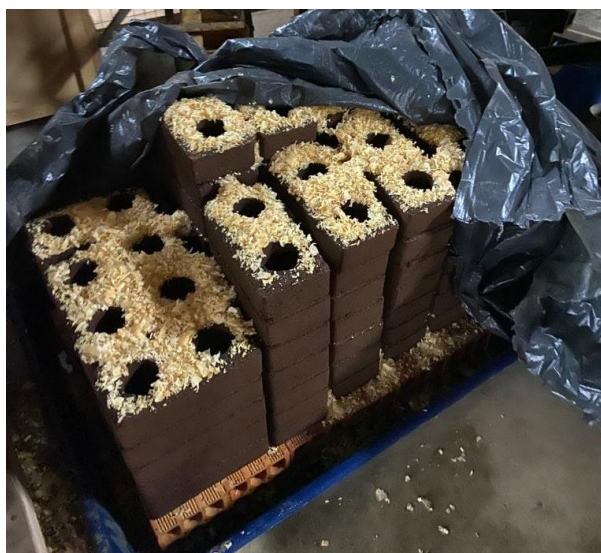
Figura 23 - Tijolos armazenados e agrupados por traço



Fonte: autoria própria (2023)

Para garantir a cura úmida dos blocos, foi utilizada uma caixa masseira com dimensão suficiente para comportar os blocos, sobre a qual foram dispostos blocos cerâmicos de forma a conferir uma base elevada para que os tijolos moldados não ficassem em contato direto com o fundo. Após, foi colocado água na caixa com altura inferior à altura blocos cerâmicos e foi adicionada uma camada de serragem úmida sobre os tijolos moldados para auxiliar na manutenção da umidade. Os tijolos foram borrifados com água a cada 2 dias, e uma lona foi utilizada para manter o sistema úmido isolado no restante do tempo (Figura 24). A cura úmida foi realizada por um período de 7 dias.

Figura 24 - Câmara de cura úmida



Fonte: autoria própria (2023)

3.7 Ensaios laboratoriais de avaliação de desempenho dos tijolos

Os tijolos foram ensaiados conforme estabelecido pela ABNT NBR 8492 (2012c). Após 14 dias de cura, sendo 7 dias de cura úmida, e 7 dias de cura seca, uma amostra aleatória de 10 tijolos, dos 15 produzidos de cada traço, foi utilizada para os ensaios laboratoriais.

3.7.1 Ensaio de compressão simples

Para o ensaio de compressão simples, dos 10 tijolos amostrados, 7 foram preparados. Para tal, o tijolo foi cortado ao meio, em sentido perpendicular à sua maior dimensão (Figura 25). As suas faces maiores foram sobrepostas, com suas superfícies cortadas invertidas, ou seja, viradas para lados opostos (Figura 26).

Figura 25 - Blocos de solo cimento cortados



Fonte: autoria própria (2023)

Figura 26 - Metades empilhadas com suas faces cortadas opostas



Fonte: autoria própria (2023)

As metades dos blocos foram unidas com a utilização de uma camada de 3 mm de pasta de cimento Portland pré-contraída (repousada por 30 min). Com a mesma pasta, os blocos foram capeados (Figura 27) de modo a conferir duas faces planas e paralelas (Figura 28).

Figura 27 - Blocos unidos e capeados

Fonte: autoria própria (2023)

Figura 28 - Blocos nivelados

Fonte: autoria própria (2023)

Os blocos foram capeados com a utilização de uma camada de no máximo 3 mm de espessura de pasta de cimento Portland, de modo a conferir duas faces planas e paralelas.

Após o endurecimento da pasta de cimento, os corpos foram identificados e imersos em água por um período de 18 horas (Figura 29). Para o ensaio, os corpos foram retirados da água, e imediatamente enxugados com um pano úmido.

Figura 29 - Corpos imersos em água

Fonte: autoria própria (2023)

Para o ensaio de compressão, o corpo de prova foi colocado centralizado sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão (Figura 30). A configuração

de ensaio utilizada foi a mesma para o ensaio de compressão simples de corpos de prova de concreto, com a deformação de 1 mm por segundo até a ruptura do corpo de prova.

Figura 30 - Corpo de prova no ensaio de compressão



Fonte: autoria própria (2023)

O equipamento retornou a força aplicada no momento da ruptura dos corpos em quilogramas-força (kgf) que, transformada em uma força em Newtons (N), e dividida pela área do corpo de prova, retornou a resistência dos corpos em Megapascal (MPa).

3.7.2 Ensaio de absorção de água

Para o ensaio de absorção de água, os três blocos restantes da amostra inicial foram secos em estufa, com temperatura entre 105 °C e 110 °C, até constância da massa. A massa, em gramas, do bloco seco representa m_1 .

Após atingirem a temperatura ambiente, os blocos foram imersos em um tanque de água durante um período de 24 h. Após retirados do tanque de água, dentro de um intervalo de 3 minutos, os blocos foram enxugados com um pano úmido, e tiveram sua massa aferida. A massa, em gramas, do corpo de provas saturado representa m_2 . A absorção de água (A), expressa em porcentagem foi obtida por:

$$A(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (6)$$

A absorção característica do traço foi obtida pela média simples dos 3 valores obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Granulometria dos materiais

4.1.1 Solo natural

A Tabela 9 apresenta a granulometria do solo coletado, obtida através do ensaio de granulometria a laser. O solo natural, como esperado, não se mostra adequado para a fabricação de blocos de solo-cimento, uma vez que apresenta um elevado percentual de silte + argila.

Tabela 9: Granulometria do solo coletado

Diâmetro dos grãos	Nomenclatura	Percentual (%)
< 0,002 mm	Argila	82,0
0,002 a 0,06 mm	Silte	16,5
0,06 a 2,0 mm	Areia	1,5

Fonte: autoria própria (2023)

4.1.2 Areia de britagem

A Tabela 10 apresenta a granulometria da areia de britagem, obtida através do método de peneiramento.

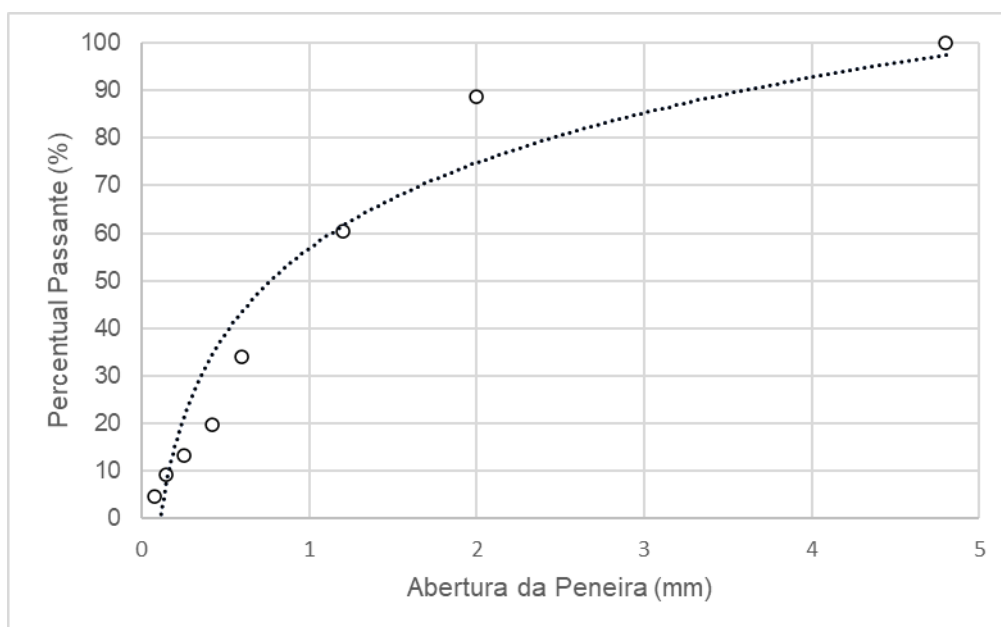
Tabela 10: Granulometria da areia de britagem

PENEIRA (mm)	PERCENTUAL RETIDO (%)	PERCENTUAL RETIDO ACUMULADO (%)	PERCENTUAL PASSANTE (%)
4,8	0	0	100,00
2,0	11,32	11,32	88,68
1,2	28,16	39,48	60,52
0,6	26,53	66,01	33,99
0,42	14,37	80,38	19,62
0,25	6,52	86,90	13,10
0,15	3,86	90,76	9,24
0,075	4,74	95,50	4,50
Fundo	4,5	100,00	0

Fonte: autoria própria (2023)

A Figura 31 apresenta a curva granulométrica da areia de britagem, nela podemos visualizar uma curvatura acentuada por volta da abertura de 1 mm da malha, o que pode representar uma descontinuidade da faixa granulométrica do material, podendo resultar em vazios no bloco de solo-cimento, se não combinada com um material que os preencham.

Figura 31 - Curva granulométrica da areia de britagem



Fonte: autoria própria (2023)

4.2 Limites de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)

Os resultados obtidos através do ensaio de Limite de Liquidez são exibidos na Tabela 11. A partir da reta traçada entre os pontos obtidos (Figura 32), o teor de umidade, expresso em porcentagem, que esteja associado ao número de 25 golpes é o LL do solo. Nesse caso, o Limite de Liquidez do solo é de 37,13%.

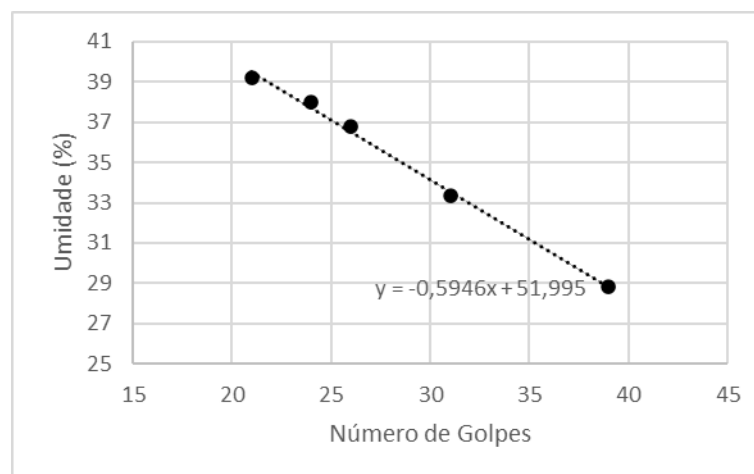
Tabela 11 - Ensaio de Limite de Liquidez

Nº DE GOLPES	MASSA ÚMIDA (g)	MASSA SECA (g)	UMIDADE (%)
20	6,695	4,809	39,22
24	5,74	4,16	37,98

29	6,142	4,491	36,76
32	5,7	4,274	33,36
35	2,83	2,197	28,81

Fonte: autoria própria (2023)

Figura 32 - Gráfico do Limite de Liquidez (LL)



Fonte: autoria própria (2023)

O ensaio de Limite de Plasticidade retornou três valores de umidade (Tabela 12), a partir da média simples, foi encontrado um LP de 22,90% para o solo corrigido em estudo.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de limite de plasticidade

AMOSTRA	MASSA ÚMIDA (g)	MASSA SECA (g)	UMIDADE
1	3,810	3,110	22,51 %
2	3,827	3,112	23,06 %
3	2,512	2,045	23,14 %

Fonte: Autoria própria (2023)

O Índice de Plasticidade, obtido a partir do Limite de Liquidez (LL) e do Limite de Plasticidade (LP), calculado foi de 14,23%, se mostrando próximo do limite de 18%, mas ainda dentro dos parâmetros esperados.

4.3 Resistência à compressão simples

A Tabela 13 apresenta os valores de compressão verificados através do ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS). Como pode ser verificado, apenas o traço com 12% de teor de cimento apresentou resistência capaz de atender

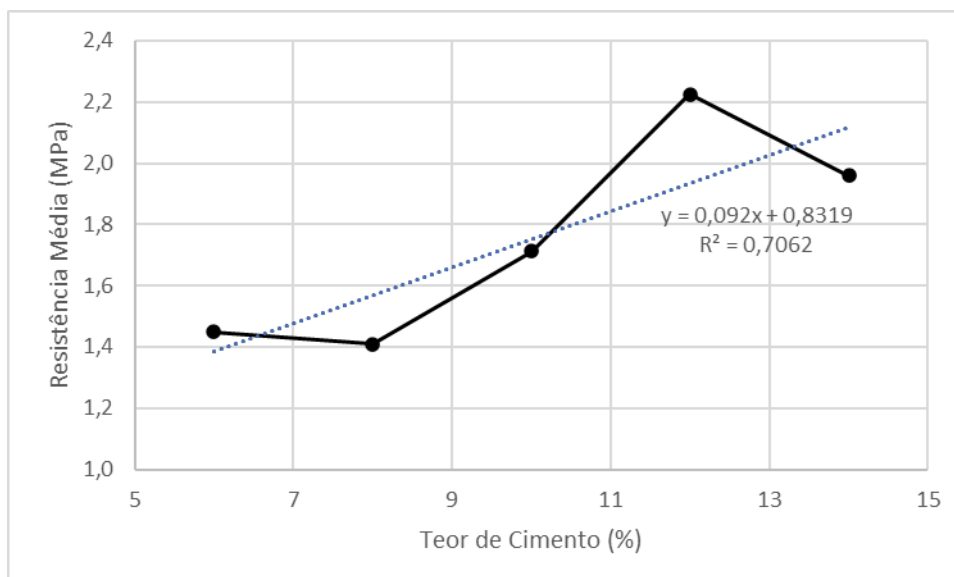
aos requisitos definidos pela NBR 8491 (2012a), atingindo uma resistência média de 2,26 MPa, maior que os 2,0 MPa exigidos pela norma, e nenhum valor de resistência inferior a 1,7 MPa.

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de resistência a compressão simples com cura de 14 dias

	TEOR DE CIMENTO (%)	FORÇA (kgf)	ÁREA (m ²)	RCS (MPa)	RESISTÊNCIA MÉDIA DO TRAÇO (MPa)
1		2310,31	0,015625	1,479	
2		2263,29	0,015625	1,449	
3		2028,23	0,015625	1,298	
4	6	2437,91	0,015625	1,560	1,449
5		2193,14	0,015625	1,404	
6		2201,23	0,015625	1,409	
7		2418,50	0,015625	1,548	
8		2128,97	0,015625	1,363	
9		2061,81	0,015625	1,320	
10		2276,73	0,015625	1,457	
11	8	2189,42	0,015625	1,401	1,409
12		2193,23	0,015625	1,404	
13		2253,14	0,015625	1,442	
14		2303,32	0,015625	1,474	
15		1692,43	0,015625	1,083	
16		2068,53	0,015625	1,324	
17		2518,50	0,015625	1,612	
18	10	3183,39	0,015625	2,037	1,713
19		3231,08	0,015625	2,068	
20		2835,62	0,015625	1,815	
21		3203,53	0,015625	2,050	
22		2793,86	0,015625	1,788	
23		3801,26	0,015625	2,433	
24		4916,12	0,015625	3,146	
25	12	2770,32	0,015625	1,773	2,226
26		2931,45	0,015625	1,876	
27		3115,73	0,015625	1,994	
28		4021,33	0,015625	2,574	
29		2256,58	0,015625	1,444	
30		2538,65	0,015625	1,625	
31		3566,20	0,015625	2,282	
32	14	2417,76	0,015625	1,547	1,835
33		2753,29	0,015625	1,762	
34		3674,87	0,015625	2,352	
35		2857,93	0,015625	1,829	

Fonte: autoria própria (2023)

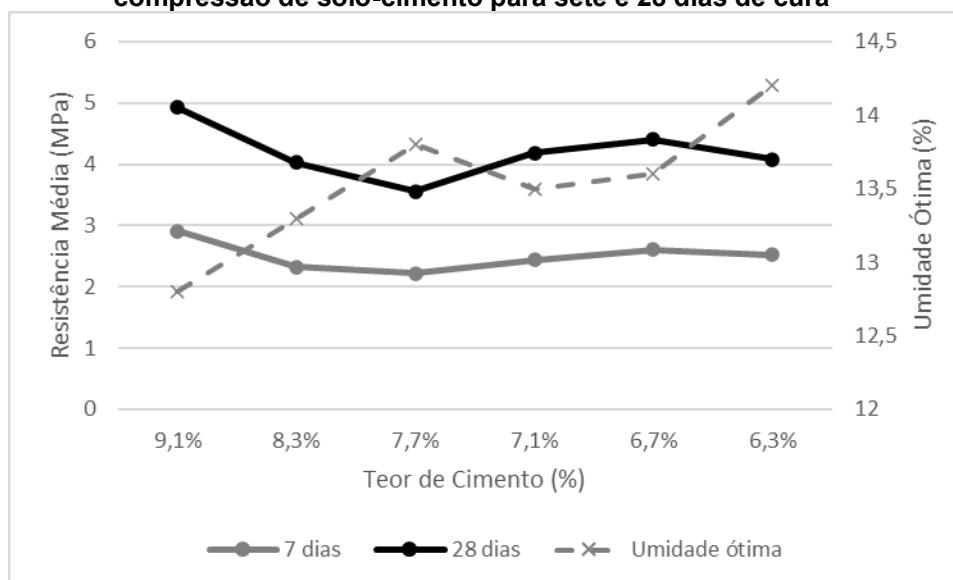
Tais resultados podem evidenciar que houve falha na confecção dos blocos de solo-cimento, seja nos materiais empregados, como na correção do solo, ou no procedimento adotado para preparação, mistura ou prensagem do material. Contudo, como pode ser visualizado na Figura 33, apesar de apresentar um desvio padrão entre os traços avaliados, é possível traçar uma linha de tendência que indica um aumento de resistência proporcional ao teor de cimento presente na mistura solo-cimento.

Figura 33 - Gráfico da resistência média x teor de cimento

Fonte: autoria própria (2023)

Se tomados os resultados obtidos no trabalho de Kolling, Trogello e Modolo (2012), exibidos na Figura 34, é percebido que, para na pesquisa realizada a partir de solo similar ao empregado no presente estudo, mas com a utilização de corpos de prova cilíndricos compactados com a umidade ótima de compactação e com a mesma energia de compactação, os corpos de prova já apresentaram resistência a compressão simples superior a 2,0 MPa no teste realizado com 7 dias de cura. Ademais, os resultados do trabalho também apresentam uma tendência de aumento da resistência com o aumento do teor de cimento, mas sem uma linearidade no comportamento. Dessa forma, é evidenciado que o comportamento mecânico os corpos de solo-cimento são influenciados tanto pelo teor de cimento presente na mistura, quanto pela granulometria do material utilizado e pela compactação atingida através do método de moldagem.

Figura 34 - Comportamento da umidade ótima e da resistência à compressão de solo-cimento para sete e 28 dias de cura



Fonte: editado de KOLLING, TROGELLO, MODOLO (2023)

Já Vieira (2017), em estudo realizado comparando a utilização da areia de britagem com a areia natural para a fabricação de tijolos de solo-cimento a partir do solo de Pato Branco, utilizando uma correção granulométrica do solo natural e método de moldagem dos blocos similares aos adotados no presente projeto, com teor de cimento fixado em 10%, alcançou uma resistência média de 3,54 MPa com 14 dias de cura dos blocos. Contudo, o ensaio de compressão simples realizado pelo autor não seguiu o método indicado pela ABNT NBR 8492 (2012c), sendo que a diferença dos métodos utilizados para o ensaio de compressão, de acordo com Fonseca et al. (2019), ocasiona uma significativa diferença nos resultados obtidos a partir do ensaio, podendo apresentar uma variação de até 560% da resistência média de compressão, quando comparada com o método normatizado.

4.4 Absorção de água

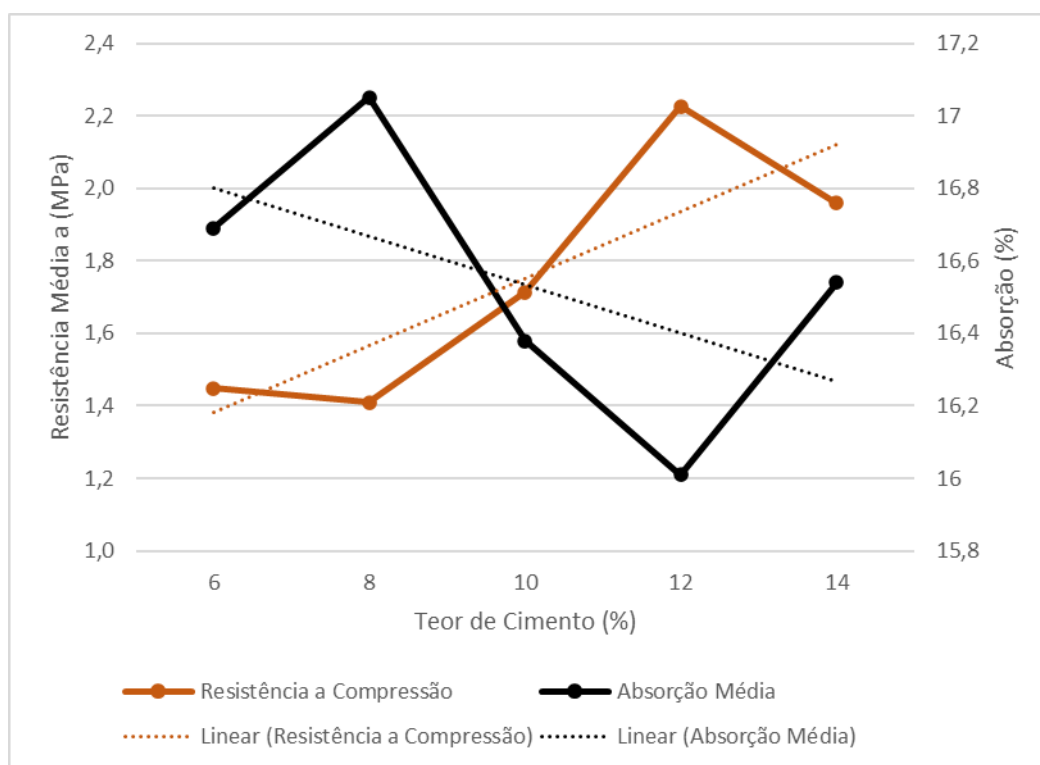
Já no ensaio de absorção de água dos tijolos fabricados, todos os traços apresentaram resultados dentro do limite de 22% definido pela NBR 8491 (2012a), como observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados do ensaio de absorção de água

Teor de cimento (%)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	Absorção (%)	Absorção média do traço (%)
6	2,999	3,479	16,01	16,69
	3,041	3,589	18,02	
	2,910	3,377	16,05	
8	3,047	3,613	18,58	17,05
	3,050	3,552	16,46	
	3,102	3,602	16,12	
10	2,934	3,388	15,47	16,38
	2,977	3,457	16,12	
	3,004	3,531	17,54	
12	3,066	3,541	15,49	16,01
	3,141	3,623	15,35	
	3,098	3,631	17,20	
14	3,032	3,510	15,77	16,54
	3,075	3,572	16,16	
	3,017	3,551	17,70	

Fonte: autoria própria (2023)

Uma vez que a absorção de água de uma peça de solo-cimento está diretamente ligada ao seu grau de compactação, os resultados obtidos indicam que houve uma variação da energia de compactação entre os diferentes traços fabricados. Quando comparado com o comportamento da resistência média para os diferentes traços da mistura (Figura 35), pode-se observar uma ligação entre a absorção média de água de cada um dos traços com a resistência média a compressão simples. É visto que, a partir das linhas de tendência de cada uma das variáveis em estudo, quando há um afastamento da absorção média do traço, esse afastamento é mimetizado na resistência média a compressão simples, ou seja, quanto menor a absorção do traço, e conseqüente maior compactação dos tijolos, maior é a sua resistência a compressão simples.

Figura 35 - Comparação da RCS com a absorção média para diferentes teores de cimento

Fonte: autoria própria (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atual situação socioeconômica do Brasil tem colocado em questão o aumento do déficit habitacional, que pode ser parcialmente justificado pelo aumento do Custo Unitário Básico em oposição ao aumento do salário mínimo, e do PIB nacional. Tal problemática levanta a necessidade de estudar e divulgar processos construtivos alternativos, que possam se mostrar mais sustentáveis do ponto de vista social, econômico e ambiental.

Em vista disso, a construção com solo-cimento se apresenta como uma opção, mas que tem sua viabilidade intimamente relacionada ao solo disponível no local e ao método de aplicação do material.

O presente trabalho adotou como objetivo geral verificar o comportamento mecânico de blocos estruturais de solo-cimento fabricados com diferentes teores de cimento na mistura a partir do solo do Município de Pato Branco, Paraná. Com isso, é esperado obter uma noção mais completa dos custos envolvidos

Uma vez que o solo argiloso disponível na área de estudo não é recomendado para a aplicação no método construtivo, ele foi corrigido quanto a sua granulometria com a utilização de areia de britagem, disponível na região. A correção adotada, de duas partes de areia para uma parte de solo natural, foi aquela que retornou uma curva granulométrica dentro dos limites indicados com a aplicação da menor quantidade de areia.

A partir de um tijolo moldado para teste, comparando com tabela da Associação Brasileira de Cimento Portland, o teor de cimento mais indicado para a mistura a ser estudada é de 8%, a partir do qual foram adotados outros 4 teores de cimento para serem testados, sendo eles de 6%, 10%, 12% e 14%.

A fabricação dos blocos de solo-cimento evidenciou uma dificuldade em padronizar a umidade da mistura para compactação com a utilização de prensa manual, uma vez que qualquer diferença da umidade ideal impossibilitava o manuseio dos tijolos prensados.

Os blocos foram testados após uma cura de 14 dias, sendo 7 deles em cura úmida. O ensaio de resistência a compressão simples seguiu os passos indicados pela ABNT NBR 8492 (2012c), sendo que 7 tijolos de cada traço foram cortados ao

meio, tiveram suas metades empilhadas e unidas, e foram capeados de maneira a ficarem com suas faces niveladas.

Os resultados do ensaio de resistência a compressão simples indicaram que apenas um dos cinco traços testados atendeu todos os requisitos indicados pela ABNT NBR 8491 (2012a). A linha de tendência traçada a partir das resistências médias obtidas evidenciou que o teor de cimento gerou um aumento linear da resistência dos blocos.

Os resultados do ensaio de absorção de água indicam que todos os traços foram moldados de forma a atender o parâmetro de absorção máxima indicada pela norma. Contudo, ao assumir que a absorção é um reflexo da compactação dos blocos de solo-cimento, pode-se perceber que a compactação dos blocos se mostrou intimamente associada à resistência a compressão, mostrando gerar maior influência se comparado a variação do teor de cimento.

Em vista disso, pode-se afirmar que, afim de encontrar o traço com resistência suficiente para atender os parâmetros normatizados, tanto o teor de cimento quanto as demais variáveis envolvidas na fabricação dos tijolos devem ser equilibradas afim de entregar resultados mais concisos. Assim, é sugerido que trabalhos futuros abordem a influência dessas outras variáveis, como a correção granulométrica, a utilização de prensa hidráulica com energia de compactação padronizada, variação da umidade de compactação, e aplicação de demais materiais estabilizantes.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A. K. **Tecnologias apropriadas: Tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento**. Dissertação de Mestrado—São Paulo: Universidade de São Paulo, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. **Revista Atual**, v. 1, n. 3, p. 16, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. ed. São Paulo: [s.n.].
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo: ABCP, 2004. Disponível em: <https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/ET-35_Solo_cimento_Normas_dosagem_metodos_ensaios.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8491: Tijolo de solo-cimento - requisitos**. [s.l.] ABNT, 2012a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento**. São Paulo: ABNT, 2012b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8492: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181: Solo - análise granulométrica**. São Paulo: ABNT, 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459: Solo - determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180: Solo - determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697: Cimento Portland - requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502: Solos e rochas - Terminologia**. São Paulo: ABNT, 2022a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182 - Solo: Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022b.

BALENA, R.; BORTOLINI, E.; TOMAZONI, J. C. Caracterização dos tipos de solos do município de Pato Branco através de técnicas de geoprocessamento. **Synergismus scyentífica**, v. 4, n. 1, 2009.

BARBOSA, N. P. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. Em: **Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional**. 1. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2003. v. 2p. 13–39.

BUENO, B. DE S.; VILAR, O. M. **Mecânica dos solos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980.

CBCS. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: Subsídios para a promoção da Construção Civil Sustentável**. São Paulo: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, nov. 2014. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/>>. Acesso em: 27 ago. 2022.

CBIC. **Boletim Estatístico**. Brasília: Câmara Brasileiro da Indústria da Construção, 13 out. 2022. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/indicadores-economicos-gerais/boletim-estatistico>>. Acesso em: 10 set. 2022.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. **Manual de construção com solo-cimento**. 3. ed. São Paulo: ABCP, 1984. v. 1

CIB. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam: Conselho Internacional para Pesquisa e Inovação na Construção - CIB, 1999. Disponível em: <www.civworld.nl>. Acesso em: 20 set. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Sondagem da indústria da construção**. Brasil: CNI, 2022. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondagem-industrial/>>. Acesso em: 10 set. 2022.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 9. ed. São Paulo: Cengage, 2019.

ECO MÁQUINAS. **Modelo de blocos e tijolos. Eco Máquinas**, c2022. Disponível em: <<https://www.ecomaquinas.com.br/modelos-de-blocos-e-tijolos/>>. Acesso em: 20 nov. 2022

FONSECA, B. F. et al. Comparação de metodologias de ensaio de compressão de tijolos de solo-cimento. **Encontro Anual de Extensão Universitária**, v. 1, n. 2, 2019.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional e Inadequação de Moradias no Brasil**. [s.l.] FJP, 2021. Disponível em: <<http://fjp.mg.gov.br/deficit-habitacional-no-brasil/>>. Acesso em: 10 set. 2022.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem natural com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação de Mestrado—São Carlos: Universidade de São Paulo, 2003.

GUACELLI, P. A. G. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado—Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2010.

GUSMÃO, A. C. et al. **Solo-cimento: determinação do tipo de cimento**. . Em: 15º CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Poço de Caldas: IFPR, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Censo Paraná - Pato Branco**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IPEADATA. **Salário Mínimo Vigente**. Ipeadata, 19 jan. 2022. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/exibeserie.aspx?stub=1&serid1739471028=1739471028>>. Acesso em: 10 set. 2022

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2000.

KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; MODOLO, A. J. Avaliação da resistência mecânica de diferentes traços de solo-cimento estabilizados com areia. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, n. 3, p. 185–191, 2012.

MIELI, P. H. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MILANEZ, A. **Casa de Terra: As técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Saúde, 1957. v. 1

MONTEIRO FILHA, D. C.; COSTA, A. C. R. DA; ROCHA, É. R. P. DA. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**: BNDES Setorial. Rio de Janeiro: BNDES, 2010. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1311>>. Acesso em: 10 set. 2022.

OLIVEIRA, T. G. DE et al. **Análise comparativa entre o granulômetro a laser e o método convencional de granulometria por sedimentação**. O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas. **Anais...** Em: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. Minas Gerais: ABMS, 2016.

PINTO, C. DE S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

REIS, A. **O solo como material de construção**. **Revista HABITARE**, 2004. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/conteudoget.aspx?cd_conteudo=262>. Acesso em: 23 out. 2022

SALES, A. W.; RIBEIRO, D. D.; NERY, K. D. **Efeitos da adição de cimento e de cal em um solo da região de Curitiba para fins de pavimentação**. Trabalho de Conclusão de Curso—Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

SANTOS, H. G. DOS; ZARONI, M. J. **Latossolos Vermelhos**. Embrapa, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelhos>>. Acesso em: 11 nov. 2022

SEGANTINI, A. A. DA S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira - SP**. Tese—Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2000.

SEGANTINI, A. DA S.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology.**, v. 33, n. 2, p. 179–183, 2011.

SENÇO, W. DE. **Manual de técnicas para pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. v. 1

SILVA, S. R. DA. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. Dissertação de Mestrado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SILVEIRA, A. **Estabilização de solos com cimento**. São Paulo: USP, 1966.

SILVEIRA, F. B. DA. **O uso de materiais em obras expressivas na arquitetura - da pré história à contemporaneidade**. Monografia—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

SINDUSCON-PR. **Evolução do CUB-PR - NBR 12.721/2006**. Curitiba: Sinduscon-PR, 2022. Disponível em: <<https://sindusconpr.com.br/tabela-completa-370-p>>. Acesso em: 10 set. 2022.

TAVEIRA, E. S. N. E. **Construir, morar, habitar: o solo-cimento no campo e na cidade**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1987.

VARELA, N.; VIEIRA, F. S. **Cimento: uma matéria-prima essencial no fabrico de argamassas**. Em: APFAC - 1º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO. Lisboa: 2005. Disponível em: <https://www.apfac.pt/congresso2005/9000_25.htm>. Acesso em: 10 nov. 2022

VIEIRA, G. H. V. **Avaliação de blocos de solo-cimento utilizando o solo de pato branco corrigido com areia natural ou areia de britagem**. Trabalho de Conclusão de Curso—Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.