



RANULFO FELIX DA SILVA JUNIOR

**FABRICAÇÃO DE TIJOLOS OU BLOCOS DE SOLO-CIMENTO UTILIZANDO
AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO DA PONTE RODOVIÁRIA
HÉLIO SEREJO – SP/MS.**

**Presidente Prudente – SP
2025**

RANULFO FELIX DA SILVA JUNIOR

**FABRICAÇÃO DE TIJOLOS OU BLOCOS DE SOLO-CIMENTO UTILIZANDO
AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO DA PONTE RODOVIÁRIA
HÉLIO SEREJO – SP/MS.**

Dissertação apresentada como
requisito à obtenção do título de
Mestre à Universidade Estadual
Paulista — Júlio de Mesquita
Filho - Programa de Pós-
Graduação em Ciências e
Tecnologia de Materiais, sob a
orientação da Profa. Dra. Agda
Eunice de Souza Albas

**Presidente Prudente – SP
2025**

- J95f Junior, Ranulfo Felix da Silva
Fabricação de tijolos ou blocos de solo-cimento utilizando agregados reciclados de concreto da ponte rodoviária Hélio Serejo – SP/MS. / Ranulfo Felix da Silva Junior. -- Presidente Prudente, 2025
82 f. : il., tabs., fotos
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientadora: Agda Eunice de Souza Albas
1. Solo-cimento. 2. Tijolos. 3. Resíduos da construção civil. 4. Agregado reciclado de concreto. 5. Sustentabilidade. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE RANULFO FÉLIX DA SILVA JUNIOR, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE.

Aos 03 de novembro de 2025, às 14h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de RANULFO FÉLIX DA SILVA JUNIOR, intitulada **Fabricação de Tijolos ou Blocos de Solo-Cimento Utilizando Agregados Reciclados de Concreto da Ponte Rodoviária Hélio Serejo - SP/MS**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. AGDA EUNICE DE SOUZA ALBAS (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia UnespCâmpus de Presidente Prudente, Profa. Dra. MARIA CRISTINA ADAMI GATTI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Materiais / ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS-USP, Prof. Dr. SILVIO RAINHO TEIXEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física Química e Biologia / Faculdade de Ciências e Tecnologia - Unesp, Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 AGDA EUNICE DE SOUZA ALBAS
 Data: 26/11/2025 15:43:53-0000
 Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Profa. Dra. AGDA EUNICE DE SOUZA ALBAS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sua proteção constante, pela sabedoria concedida e pelas inúmeras oportunidades que se revelaram ao longo desta caminhada. Em momentos de incerteza e cansaço, foi em sua presença que encontrei serenidade, força e motivação para continuar.

À minha família, que é minha base e fonte inesgotável de inspiração, expresso minha eterna gratidão. Aos meus pais, Ranulfo (in memoriam) e Marilene, aos meus irmãos, Roberto (in memoriam), Rodrigo, Juliana e Jéssica, e aos meus filhos, Anna Julia, Vinicius e Yudji, agradeço por acreditarem em mim mesmo nos momentos mais difíceis, por me incentivarem com amor incondicional e por serem a razão pela qual busco ser uma pessoa melhor a cada dia.

À Edna Sato, minha companheira de vida, agradeço profundamente pela paciência, pela cumplicidade e por caminhar ao meu lado com serenidade, seja nos momentos de alegria ou nas adversidades. Sua presença constante e suas palavras de apoio foram fundamentais ao longo desta jornada.

À minha orientadora, Prof. Dr. Agda Eunice de Souza Albas, registro meu sincero agradecimento pela orientação atenta, pela escuta generosa e pelas valiosas contribuições que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, meu respeito e gratidão por cada ensinamento compartilhado e pela disponibilidade em me auxiliar ao longo dessa jornada.

Aos colegas de mestrado, que dividiram comigo tantos momentos de aprendizado, troca e superação, minha gratidão. Em especial ao amigo Matheus, pela constante disposição em ajudar, pelas palavras de incentivo e pela amizade verdadeira.

Ao técnico de laboratório Hélio, e ao professor Bruno, do Instituto Federal de São Paulo - IFSP, Campi de Presidente Epitácio, agradeço pelo apoio técnico e pelas contribuições à pesquisa.

À empresa parceira produtora de tijolos, à Moreno e Cia Construção Civil Ltda. e à Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio, registro meu sincero agradecimento pelo apoio, pela parceria e pelo fornecimento de materiais e recursos que foram essenciais para a viabilização e o desenvolvimento deste estudo.

Por fim, agradeço ao coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, Prof. Tit. Carlos Roberto Grandin - FC/Bauru, e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, por me proporcionarem a oportunidade de realizar este mestrado e por todo o suporte institucional ao longo do percurso.

A cada pessoa que fez parte desta jornada, deixo aqui meu mais sincero e profundo agradecimento.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

SILVA JUNIOR, R.F. Fabricação de tijolos ou blocos de solo-cimento utilizando agregados reciclados de concreto da ponte rodoviária Hélio Serejo – SP/MS. Dissertação de Mestrado. 82 f (2025). Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus de Presidente Prudente, SP.

RESUMO

Este trabalho aborda a fabricação de tijolos de solo-cimento usando resíduos reciclados de concreto (ARC), provenientes da reforma da Ponte Rodoviária Hélio Serejo, que liga os estados de SP e MS. Para isso, foram produzidos dois traços: um de referência (TOE), utilizado comercialmente por uma empresa de tijolos ecológicos, e outro experimental (TARC), no qual parte do solo foi substituída pelo ARC. As amostras de solos foram caracterizadas quanto à textura, composição química e mineralogia. Os tijolos solo-cimento produzidos com ambos os traços (TOE e TARC), foram caracterizados quanto às propriedades físicas e mecânicas, incluindo análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão. Os resultados indicaram que os solos utilizados apresentam predominância de quartzo e caulinita, elevada fração arenosa e teor moderado de argila, características adequadas para a produção de solo-cimento. A incorporação do ARC promoveu leve aumento na absorção de água, associado à maior porosidade do resíduo, porém, manteve os valores abaixo do limite normativo. Embora os valores de resistência tenham permanecido abaixo do mínimo exigido para uso estrutural (4,0 MPa), observou-se ganho de até 12% em relação ao traço convencional. Conclui-se que os tijolos produzidos com ARC são tecnicamente viáveis para aplicações não estruturais, como por exemplo, de vedação, representando uma alternativa sustentável para a valorização de resíduos da construção civil e a redução de impactos ambientais no setor.

Palavras chaves: Agregado Reciclado de Concreto, Resíduo, Reaproveitamento, Solo-cimento

SILVA JUNIOR, R.F. Production of Soil-Cement Bricks or Blocks Using Recycled Concrete Aggregates from the Hélio Serejo Highway Bridge – SP/MS. Master's Dissertation. 82f (2025). São Paulo State University (UNESP) – Presidente Prudente Campus, SP.

ABSTRACT

This study addresses the production of soil-cement bricks using recycled concrete aggregate (RCA) derived from the renovation of the Hélio Serejo Road Bridge, which connects the states of São Paulo and Mato Grosso do Sul, Brazil. Two mixtures were produced: a reference mixture (TOE), commercially used by an ecological brick company, and an experimental mixture (TARC), in which part of the soil was replaced by RCA. The soil samples were characterized in terms of texture, chemical composition, and mineralogy. The soil-cement bricks produced with both mixtures (TOE and TARC) were characterized by physical and mechanical properties, including dimensional analysis, water absorption, and compressive strength. The results showed that the soils are predominantly composed of quartz and kaolinite, with a high sand fraction and moderate clay content, characteristics suitable for soil-cement production. The incorporation of RCA led to a slight increase in water absorption due to the higher porosity of the recycled material; however, the values remained below the normative limit. Although compressive strength values remained below the minimum requirement for structural use (2.0 MPa), an improvement of up to 12% was observed compared with the conventional mixture. It is concluded that bricks produced with RCA are technically viable for non-structural applications, such as partition walls, representing a sustainable alternative for construction waste valorization and the reduction of environmental impacts in the construction sector.

Keywords: Recycled Concrete Aggregate, Waste, Reuse, Soil-Cement

Lista de Figuras

Figura 1: Resíduo de concreto proveniente da reforma da ponte rodoviária Hélio Serejo, depositado no bota fora licenciado pelo município de Presidente Epitácio, SP.....	2
Figura 2: Topo da laje do tabuleiro fresado – Ponte Rodoviária Hélio Serejo.....	2
Figura 3: Fluxograma de tratamento e destinação de resíduos da construção e demolição.....	11
Figura 4: Ponte Hélio Serejo.....	13
Figura 5: Topo da laje do tabuleiro fresado – Ponte Rodoviária Hélio Serejo.....	14
Figura 6: Composição do Solo Cimento.....	20
Figura 7: Tijolo Maciço de solo cimento.....	25
Figura 8: Local do bota fora do agregado reciclado de concreto (ARC).....	26
Figura 9: Triturado Queixada QI 300.....	27
Figura 10: ARC 1.....	27
Figura 11: Traço TOE.....	30
Figura 12: Traço TARC1.....	31
Figura 13: Comparativo Traço Original x Traço com ARC 1.....	31
Figura 14: Equipamento de FRX Shimadzu (XRF-7000).....	33
Figura 15: Equipamentos utilizados: (a) Pulverizador Marconi; (b) Difratorômetro de Raios X.....	33
Figura 16: Betoneira de 420 L.....	35
Figura 17: Prensa Hidráulica – Desmoldagem de Tijolo.....	35
Figura 18: Tijolos de Solo Cimento fabricados para a pesquisa.....	36
Figura 19: Paquímetro e Régua Metálica de 60 cm.....	37
Figura 20: Estufa.....	38
Figura 21: Balança de Precisão.....	38
Figura 22: Tijolo imerso em tanque de água por 24 horas.....	39
Figura 23: Ilustração dos corpos de prova preparados a partir de tijolos maciço e vazado com duas metades invertidas superpostas.....	40
Figura 24: Moldagem do Corpo de Prova 1.....	41
Figura 25: Moldagem do Corpo de Prova 2.....	42
Figura 26: Corpo de prova imerso em Água por 6 horas.....	42
Figura 27: Prensa Hidráulica PC 200 CS EMIC.....	43
Figura 28: Fluxograma da Produção e Ensaio dos Tijolos de Solo, Cimento e ARC.....	44

Figura 29: Difrátogramas de Raios X das amostras: (a) saibros amarelo e vermelho; (b) argila orientada em lâmina de vidro.....	47
Figura 30. Difrátogramas de Raios X das amostras: (a) Resíduo ARC 1; (b) Cimento.....	47
Figura 31: Ensaio Dimensional – TOE.....	48
Figura 32: Ensaio Dimensional – TARC 1.....	49
Figura 33: Percentual de Absorção TOE.....	50
Figura 34: Percentual de Absorção TARC.....	50
Figura 35: Compressão Simples – TOE 7 dias.....	51
Figura 36: Compressão Simples – TARC 1 - 7 dias.....	52
Figura 37: Compressão Simples – TOE 28 dias.....	53
Figura 38: Compressão Simples – TARC 1 - 28 dias.....	53
Figura 39: Tensão de compressão das amostras com TOE e TARC1 aos 7 e 28 dias.....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resistência e Absorção aos 28 dias (NBR 8492/2012).....	24
Tabela 2 : Dimensões nominais do bloco.....	25
Tabela 3: Especificações do cimento utilizado.....	28
Tabela 4 : Tolerâncias Dimensionais para Tijolos de Solo-Cimento.....	37
Tabela 5 : Tolerâncias de Absorção de água para Tijolos de Solo-Cimento.....	40
Tabela 6: Análise textural dos solos (saibro amarelo e saibro vermelho) usado na composição dos tijolos com traços TOE e TARC.....	45
Tabela 7: Análise química quali-quantitativa dos solos obtidas via fluorescência de Raios X.....	46
Tabela 8: Resultado do Ensaio Dimensional – TRAÇO ORIGINAL (TOE).....	65
Tabela 9: Resultado do Ensaio Dimensional – TRAÇO COM ADIÇÃO ARC (TARC 1).....	65
Tabela 10: Resultado do Ensaio de Absorção utilizando o traço original (TOE).....	66
Tabela 11: Resultado do Ensaio de Absorção utilizando o traço com adição do ARC (TARC 1).....	66
Tabela 12: resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 7 dias do Traço TOE.....	67
Tabela 13: resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 7 dias do Traço TARC 1.....	67
Tabela 14: resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias do Traço TOE.....	68
Tabela 15: resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias do Traço TARC 1.....	68

Lista de Quadros

Quadro 1 – Classificação e destinação dos resíduos de Construção Civil.....	8
Quadro 2 – RCD Gerados em Diferentes Etapas de uma Obra.....	10
Quadro 3 – Tipos de Cimento Portland.....	17
Quadro 4 – Resistência do Cimento.....	18
Quadro 5 - Características Técnicas da Máquina ECO PREMIUM 2600 CH-MA.....	34
Quadro 6 - Características Técnicas da Prensa PC 200 CS EMIC.....	43

Lista de abreviaturas e siglas

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARC – Agregado Reciclado de Concreto
CEA - Centro de Estudos Ambientais
CO ₂ - Dióxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP - Cimento Portland Composto
CP II-F – Cimento Portland Composto com Fíler
EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
IFSP - Instituto Federal de São Paulo
MPa – Mega Pascal
NBR – Norma Brasileira
ODS – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 12
ONU – Organização das Nações Unidas
PCA - Portland Cement Association
RCC - Resíduos da Construção Civil
RCD – Resíduos da Construção e Demolição
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
TARC – Traço com Agregado Reciclado de Concreto
TOE – Traço Original
UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Sumário

1. Introdução	1
2. Objetivos	4
2.1 Objetivos Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. Revisão Bibliográfica	5
3.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)	5
3.2 Composição dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD)	9
3.3 Objeto de estudo a famosa Ponte Hélio Serejo	12
3.4 O tijolo de Solo Cimento	14
3.5 Materiais constituintes para solo cimento	16
3.5.1 Cimento	16
3.5.2 Água na mistura do solo cimento	18
3.5.3 Agregados na mistura do solo cimento	19
3.5.4 Agregados Reciclados	20
3.6 Legislação Municipal de Presidente Epitácio, SP	21
3.7 Métodos de dosagem	22
3.8 Dimensões	24
4. Metodologia	26
4.1 Materiais e métodos	26
4.1.1 Coleta e Beneficiamento do Resíduo Proveniente da Demolição da Ponte Hélio Serejo	26
4.1.2 Cimento Portland	28
4.1.3 Água	29
4.1.4 Agregado Miúdo	29
4.1.5 Composição do Traço para Tijolo de Solo-Cimento	29
4.1.6 Traço original (TOE)	30
4.1.7 Traço adicionando ARC 1 (TARC 1)	30
4.1.8 Fator água/cimento	31
4.1.9 Caracterizações	32
4.1.9.1 Fluorescência de Raios X	32
4.1.9.2 Difração de Raios X	33
4.1.9.3 Análise Textural	34
4.1.10 Fabricação do Tijolo de Solo Cimento	34
4.1.11 Ensaio Dimensional de Tijolos de Solo-Cimento (NBR 8491 e 8492)	36
4.1.12 Ensaio de Absorção de Água (NBR 8491/8492)	38
4.1.13 Ensaio de Compressão Simples de Tijolos de Solo-Cimento (NBR 8491/8492)	40

5. Resultados e Discussões	44
5.1 Caracterização dos saibros amarelo e vermelho	45
5.2 Ensaio Dimensional.....	48
5.3 Ensaio de Absorção de Água	49
5.4 Ensaio de Compressão Simples.....	51
6. Conclusão	57
 REFERÊNCIAS	 58
 ANEXOS	 65
ANEXO I	65
ANEXO II	66
ANEXO III	67
ANEXO IV	68

1 INTRODUÇÃO

Com base em dados disponíveis, estima-se que os resíduos da construção civil (RCC) representem aproximadamente 58% do total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Essa estimativa é corroborada por estudos que indicam que os RCC correspondem a uma parcela significativa dos resíduos sólidos urbanos, variando entre 50% e 70% do total gerado (ALMEIDA et al., 2020). Em termos absolutos, o país gerou cerca de 45 milhões de toneladas de RCC em 2022, conforme o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023, publicado pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2023). Esse montante representa uma redução de 1,8% em relação ao ano anterior. A gestão adequada dos RCC é fundamental, considerando que a construção civil é responsável por consumir cerca de 75% dos recursos naturais “disponíveis no país”. A destinação incorreta desses resíduos pode acarretar diversos impactos ambientais, como a poluição do solo e da água, além de contribuir para o esgotamento de áreas de disposição final. Visando uma diminuição desses impactos ambientais causados pela disposição inadequada destes resíduos, este trabalho apresentará uma viabilidade de uso do resíduo do setor de construção civil, mais precisamente, aqueles provenientes da reforma da Ponte Rodoviária Hélio Serejo sobre o Rio Paraná, que faz a ligação entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em Presidente Epitácio. Segundo Miranda (2021), estima-se que o volume deste resíduo depositado às margens do rio Paraná, no lado paulista, equivale a 5.488,66 m³. Este resíduo é, referente à remoção do pavimento da ponte Hélio Serejo que passou pela reforma da camada de rolamento no ano de 2010. Devido à grande quantidade de material a ser retirado da ponte e da espessura média do pavimento ser significativa, não foi possível fazer a demolição manual, sendo necessária a utilização de máquinas para execução da demolição e retirada dos materiais do local da obra. Todo esse material proveniente da demolição do pavimento de concreto antigo, foi depositado em um bota-fora licenciado pelo município de Presidente Epitácio/SP. Na época, o município tinha interesse em usar o material, considerado nobre e sem perigo de contaminação ao meio ambiente. Isso, porém, não ocorreu até o presente momento.



Figura 1: Resíduo de concreto proveniente da reforma da ponte rodoviária Hélio Serejo, depositado no bota-fora licenciado pelo município de Presidente Epitácio, SP

Fonte: O autor (2024)



Figura 2: Topo da laje do tabuleiro fresado – Ponte Rodoviária Hélio Serejo

Fonte: Miranda (2012)

Segundo Ângulo (2000) vários são os impactos gerados pela construção civil no meio ambiente, tais como a liberação de gás carbônico na atmosfera durante a fabricação do cimento que é um importante material utilizado no setor, a destruição e modificação do habitat de vários seres vivos através do desflorestamento e alteração da topografia, a disposição dos resíduos de construção e demolição (RCD) gerados em aterros e o desmatamento de grandes áreas para a obtenção de lenha utilizada no cozimento de tijolos cerâmicos.

Uma solução cada vez mais utilizada pela indústria para o gerenciamento de seus resíduos é a reciclagem, porque a mesma apresenta vantagens, como: alternativas à diminuição de áreas necessárias em aterros sanitários e, preservação de recursos naturais, pois os materiais desenvolvidos a partir da reciclagem, passam a substituir outros que antes eram obtidos através de fontes naturais, garantindo proteção ao meio ambiente e colaborando a economia (Zordan, 2004; John, 2004).

Neste caso os tijolos solo-cimento são uma eficaz alternativa que possui sintonia com as diretrizes do desenvolvimento sustentável por precisarem de baixo consumo de energia na extração da matéria-prima, não necessitam do processo de queima em sua confecção e diminuem a necessidade de transporte, pois pode ser produzido com o solo do próprio local da obra (Grande, 2003). Além disso, pode ser empregado em sua fabricação os resíduos da construção e demolição.

O tijolo de solo-cimento consiste em um material obtido a partir da mistura homogênea de solo, cimento e água, no qual o solo é empregado em maiores proporções. A dosagem dos materiais deve ser cuidadosamente definida de modo a possibilitar a redução do consumo de cimento, sem prejuízo às características mínimas de resistência mecânica e durabilidade exigidas pelas normas técnicas brasileiras aplicáveis (JOHN, 2000; ZORDAN, 2004; ABNT, 2012; ABNT, 2019).

A presença de areia grossa e pedregulho, ambos materiais inertes, com função apenas de enchimento, favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerarem os menores. No entanto, é necessário que o solo tenha uma fração mínima fina, pois a resistência inicial do solo-cimento se deve a coesão da fração fina compactada (Segantini, 2000).

Nesta mesma ideia são produzidos os tijolos de solo estabilizado com cimento, no qual a granulometria da mistura é aglomerada com os grãos de resíduos da construção civil triturados, os quais possuem propriedades parecidas com as de uma areia grossa produzindo um resultado favorável em termos técnico e econômico (Ferraz, 2004).

É neste contexto que este trabalho está embasado. Foram produzidos tijolos solo-cimento usando, como uma das matérias-primas, o resíduo gerado pela reforma da ponte Hélio Serejo, na forma de agregado reciclado de concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho técnico de tijolos de solo-cimento fabricados com a substituição parcial de agregados de concreto provenientes da demolição do tabuleiro da ponte rodoviária Hélio Serejo, considerando suas propriedades físicas e mecânicas, bem como a viabilidade de aplicação desses resíduos como alternativa sustentável na construção civil.

2.2 Objetivos Específicos

Para viabilizar o alcance do objetivo geral, foram definidos etapas que orientam a condução metodológica desta pesquisa:

- Realizar a coleta e beneficiamento dos agregados reciclados de concreto coletados no Centro de Estudos Ambientais (CEA), próximo ao Parque da Orla, em Presidente Epitácio – SP;
- Fracionar/triturar os agregados reciclados de concreto em um reciclador de entulho;
- Determinar o traço do solo cimento para fabricação do tijolo, conforme as características dos agregados;
- Fabricar o tijolo de solo cimento por meio de uma prensa hidráulica, substituindo parcialmente o agregado gráúdo natural pelo agregado reciclado de concreto;
- Realizar análise dimensional com os tijolos fabricados com o traço original e traço com agregados reciclado de concreto;
- Realizar o ensaio de absorção de água com os tijolos fabricados com o traço original e traço com agregados reciclado de concreto;
- Realizar o ensaio de resistência à compressão com os tijolos fabricados com o traço original e traço com agregados reciclado de concreto.

3. REVISÃO BIBLOGRÁFICA

3.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)

A crescente preocupação com os impactos ambientais da construção civil tem impulsionado pesquisas voltadas ao uso de materiais alternativos e mais sustentáveis. Nesse contexto, os tijolos de solo-cimento surgem como alternativa viável, por utilizarem solo local e dispensarem a queima, reduzindo assim a emissão de CO₂ (John, 2000).

A contribuição ambiental dessa prática também é significativa. Estudos mostram que a utilização de ARC contribui para a redução do volume de resíduos depositados em áreas urbanas e turísticas, como ocorre nas margens do rio Paraná, no município de Presidente Epitácio, onde parte do entulho da ponte Hélio Serejo foi armazenado. Ao ser incorporado à produção de materiais construtivos, esse resíduo ganha nova função, minimizando impactos negativos e promovendo a reutilização desses recursos (Lima, 2024).

A geração e o descarte de resíduos sólidos provenientes da construção civil, bem como de outras atividades produtivas, representam uma das principais fontes de impactos ambientais, abrangendo aspectos sociais, econômicos e ecológicos (Bernardo, 2014). Nesse contexto, os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) têm recebido atenção especial tanto por seu elevado volume quanto pela complexidade de sua gestão.

Com a consolidação dos princípios da economia circular e o aprimoramento das práticas de gestão de resíduos sólidos urbanos, especialmente aqueles oriundos da construção civil, diversos estudos têm investigado alternativas para o reaproveitamento dos resíduos da construção civil (RCC) na produção de materiais construtivos. Nesse contexto, a incorporação de agregados reciclados de concreto (ARC) em tijolos de solo-cimento tem sido objeto de pesquisas recentes, as quais indicam resultados promissores quanto ao desempenho mecânico e à redução dos impactos ambientais associados ao consumo de matérias-primas naturais e à disposição final de resíduos (JOHN, 2007; ZORDAN, 2004; PACHECO-TORGAL; JALALI, 2011; LEITE, 2001).

Segundo Grande (2003), a utilização de resíduos industriais ou da construção civil em artefatos prensados é viável, desde que os materiais sejam corretamente

caracterizados. Essa caracterização inclui análises granulométricas, de absorção de água e resistência à compressão, elementos fundamentais para assegurar a qualidade dos blocos produzidos.

Estudo realizado por Bonilha (2022), com resíduos oriundos da ponte rodoviária Hélio Serejo, que liga os estados de São Paulo (SP) e Mato Grosso do Sul (MS), demonstrou que o uso de agregado reciclado de concreto na produção de concreto usinado é tecnicamente possível. A pesquisa indica que a substituição do agregado gráudo natural pelo reciclado pode ser viável, desde que os resíduos passem por processo de triagem e britagem adequados.

Além disso, estudos como os de Silva (2005) e Dantas (2020) revelam que a substituição parcial do solo por resíduos de concreto e cerâmica em tijolos de solo-cimento pode aumentar a resistência à compressão, sem ultrapassar os limites de absorção estabelecidos pelas normas da ABNT (NBR 8491:2012; NBR 10834:2019).

Os resíduos de concreto, quando bem processados, possuem características físicas compatíveis com agregados naturais, podendo ser utilizados em traços com substituições (SANTOS; SAMPAIO, 2019). A variação da granulometria e da proporção de cimento são determinantes para o desempenho final dos blocos.

Uma das definições mais amplamente difundidas sobre RCD é apresentada por Skoyles (1987), que os descreve como:

Materiais ou subprodutos do processo de construção, gerados em decorrência de não conformidade com as especificações, uso excessivo de recursos, ou danos a materiais e à infraestrutura. Esses resíduos devem ser removidos do canteiro de obras ou, quando possível, reutilizados no próprio canteiro, ainda que para finalidades distintas daquelas inicialmente previstas no projeto.

Complementando essa conceituação, Shen et al. (2004) definem os RCD como:

Detritos originados de edificações, solos, entulhos, aço, concreto, madeira e materiais mistos, gerados em diversas etapas da obra, incluindo escavações, construção de estruturas, limpeza do canteiro, atividades de demolição, obras viárias e reformas.

Essas definições evidenciam a diversidade de materiais e processos envolvidos na geração dos RCD, reforçando a importância de estratégias adequadas de gerenciamento que envolvam práticas de redução, reutilização e reciclagem, contribuindo assim para a sustentabilidade na construção civil.

A Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece diretrizes para a gestão dos resíduos da construção civil (RCC). Conforme seu Art. 3º, os resíduos da construção civil serão classificados em quatro categorias principais, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

§ 1º No âmbito dessa resolução consideram-se embalagens vazias de tintas imobiliárias, aquelas cujo recipiente apresenta apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulo de resíduo de tinta líquida.

Art. 4º Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota-fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei.

O Quadro 1 resume a origem, tipo de resíduo, sua classificação e destinação adequada, de acordo com a Resolução CONAMA.

Classe	Origem	Tipo de resíduo	Destinação
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	De pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de operações de terraplenagem. Da construção, demolição reformas e reparos de edificações (componentes cerâmicos, tijolos, blocos, telhas e placas de revestimento, concreto e argamassa).	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados à áreas de aterro de resíduos da Construção Civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
B	Resíduos recicláveis com outras destinações.	Plásticos, gesso, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados às áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
C	Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para reciclagem ou reaproveitamento.	Não especificado pela resolução.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Tintas, solventes, óleos, amianto.	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
	Aqueles contaminados, oriundos de demolições, reforma e reparo, enquadrados como classe I na NBR10004.	Clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Quadro 1 – Classificação e destinação dos resíduos de Construção Civil

Fonte: Resolução CONAMA nº 307/2002; nº 431/2011.

3.2 Composição dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD)

Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) têm sido objeto de crescente atenção devido ao seu elevado volume gerado e aos impactos ambientais associados à sua disposição inadequada. A busca por alternativas sustentáveis na gestão desses resíduos é fundamental para promover a sustentabilidade no setor da construção civil.

Segundo Tuladhar, Marshall e Sivakugan (2020), os RCD constituem uma das maiores frações dos resíduos sólidos urbanos e representam um desafio para a gestão de resíduos em áreas urbanas. Os autores destacam que a reciclagem e a reutilização desses materiais, especialmente sob a forma de agregados reciclados em novas aplicações, como concreto e pavimentação, têm apresentado resultados promissores tanto em desempenho técnico quanto em benefícios ambientais. Eles ressaltam que a adoção dessas práticas contribui significativamente para a redução da necessidade de extração de recursos naturais e da quantidade de resíduos depositados em aterros, além de apoiar a transição para uma economia circular no setor da construção civil.

Pacheco (2011) também enfatiza a relevância do reaproveitamento dos resíduos gerados nas atividades de construção e demolição. Em sua análise, o autor identifica que a implementação de processos de triagem, beneficiamento e reciclagem de RCD pode resultar em ganhos econômicos, ambientais e sociais. O autor ressalta a importância da caracterização adequada dos resíduos, uma vez que suas propriedades físicas e químicas determinam a viabilidade de seu uso como matéria-prima na fabricação de novos produtos para a construção civil, tais como blocos, agregados para pavimentação e argamassas.

Poon e Chan (2007), em estudo internacionalmente reconhecido, investigam a utilização de resíduos de concreto reciclado como substituto parcial de agregados naturais em novas matrizes de concreto. Os autores concluem que, desde que devidamente processados e caracterizados, os agregados reciclados de RCD podem apresentar desempenho comparável ao de agregados convencionais em aplicações não estruturais, e até mesmo em certos usos estruturais, especialmente quando há rigoroso controle de qualidade.

Por sua vez, Santos (2007) discute os desafios e as oportunidades para a reciclagem de RCD no Brasil, destacando a carência de políticas públicas eficazes e de incentivos econômicos para o setor. O autor pontua que, embora a legislação brasileira (como a Resolução CONAMA nº 307/2002) tenha estabelecido diretrizes

para a gestão dos resíduos da construção civil, a efetivação dessas normas depende de fiscalização, educação ambiental e desenvolvimento de mercados para os produtos reciclados. Santos (2007) destaca que a integração de ações entre o setor público, privado e a sociedade é essencial para transformar os resíduos da construção e demolição em insumos produtivos, promovendo a sustentabilidade e a economia circular.

Em síntese, os estudos mencionados convergem quanto à importância da gestão adequada dos RCDs e ao potencial de reciclagem e reutilização desses materiais para a redução de impactos ambientais, preservação de recursos naturais e desenvolvimento sustentável da construção civil.

Com base em dados adaptados de manuais técnicos de gestão de resíduos, o Quadro 2 apresenta a relação dos principais tipos de RCD gerados em diferentes fases do processo construtivo:

Etapas da Obra	Principais Resíduos Gerados
Implantação do canteiro de obras	Restos de vegetação, solo, madeira, embalagens, plásticos, papelão.
Terraplenagem e escavação	Solo excedente, pedras, raízes, materiais orgânicos.
Fundação	Concreto excedente, madeira (formas), aço, embalagens.
Estrutura	Concreto, aço, madeira (formas), sobras de argamassa.
Alvenaria	Tijolos, blocos cerâmicos ou de concreto, argamassa, embalagens.
Instalações hidráulicas e elétricas	Tubulações plásticas, fios elétricos, sobras de metais, embalagens.
Revestimentos e acabamentos	Cerâmicas, gesso, tintas, plásticos, papéis de proteção, sobras de argamassa.
Cobertura e impermeabilização	Telhas quebradas, manta asfáltica, sobras de concreto e argamassa.
Limpeza e desmobilização do canteiro	Entulhos diversos, resíduos mistos, materiais contaminados ou inutilizados.

Quadro 2 – RCD Gerados em Diferentes Etapas de uma Obra

Adaptado de: CUIABÁ. Prefeitura Municipal. Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Cuiabá, 2012. Disponível em: <<https://www.cuiaba.mt.gov.br>>. Acesso em: 08/03/2025.

Para o tratamento e processamento dos resíduos da construção civil (RCC) já estão disponíveis algumas soluções tecnológicas que variam em função ao tipo de RCC a ser tratado, conforme fluxograma da Figura 3.

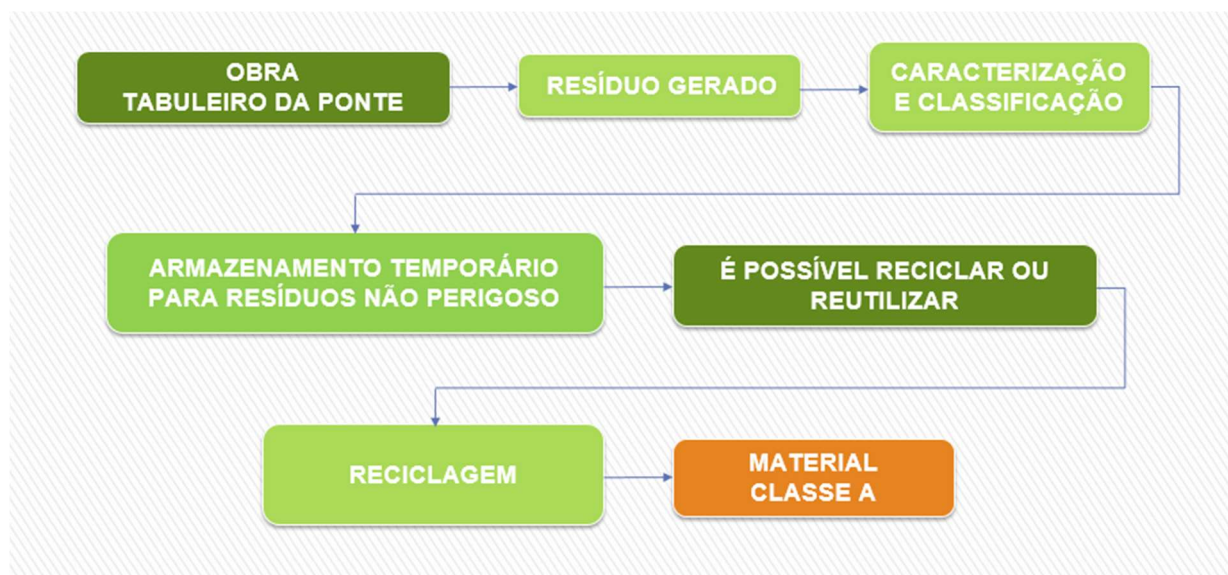


Figura 3: Fluxograma de tratamento e destinação de resíduos da construção civil.

Fonte: Próprio autor.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), conforme relatado em 2000, a utilização de resíduos da construção civil oferece diversos benefícios ambientais, econômicos e sociais. Esses benefícios incluem:

Benefícios Ambientais

- Redução do uso de recursos naturais: A reutilização e reciclagem de materiais de construção diminuem a necessidade de extração de matérias-primas, preservando recursos naturais.
- Diminuição da geração de resíduos: Aproveitar resíduos da construção reduz a quantidade de entulho destinado a aterros sanitários, mitigando os impactos ambientais associados ao descarte inadequado.
- Economia de energia e redução de emissões: Processos de reciclagem geralmente consomem menos energia comparados à produção de novos materiais, resultando em menores emissões de gases de efeito estufa.

Benefícios Econômicos

- Redução de custos operacionais: Empresas podem economizar ao evitar despesas com descarte de resíduos e aquisição de novos materiais, além de potencialmente gerar receita com a venda de materiais reciclados.

- Estímulo à economia local: A indústria de reciclagem de materiais de construção pode criar empregos e fomentar o desenvolvimento econômico regional.

Benefícios Sociais

- Melhoria na gestão de resíduos urbanos: A integração de práticas de reutilização e reciclagem contribui para sistemas de gestão de resíduos mais eficientes e sustentáveis nas comunidades.
- Promoção da sustentabilidade: O uso consciente de resíduos da construção apoia práticas sustentáveis, alinhando-se a objetivos de desenvolvimento sustentável e responsabilidade ambiental.

Neste contexto, a proposta de reutilização de resíduos de concreto proveniente da demolição do tabuleiro da Ponte Hélio Serejo para a fabricação de Tijolo de solo-cimento, vem ao encontro destes benefícios ambientais, econômicos e sociais supracitados. Este estudo, mostra, portanto, um alinhamento direto da viabilidade de uso de RCD na forma de agregado reciclado de concreto (ARC) com objetivos do desenvolvimento sustentável da ONU, mais precisamente o ODS 12 – consumo e produções sustentáveis – que busca reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

3.3 Objeto de estudo: a famosa Ponte Hélio Serejo

A Ponte Rodoviária Hélio Serejo, é uma importante estrutura que liga os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Construída sobre o rio Paraná, a ponte conecta os municípios de Presidente Epitácio (SP) e Bataguassu (MS), integrando a BR-267 com a Rodovia Raposo Tavares (SP-270). Sua inauguração ocorreu em 21 de agosto de 1965, sendo considerada, à época, a maior ponte do Brasil, com 2.550 metros de extensão e 12,30 metros de largura, construída em concreto protendido (IMPARCIAL, 2015), conforme Figura 4.



Figura 4: Ponte Hélio Serejo

Fonte: bataguassuense.com, 2025.

A ponte foi projetada pelo engenheiro Sérgio Marques de Souza e apresenta vãos estruturais de 45 e 112,50 metros, com fundações executadas através de tubulões cravados no leito do rio com ar comprimido. A complexidade da obra foi acentuada pela profundidade do rio Paraná e pela necessidade de garantir a navegabilidade durante a construção (REVISTA OE, 2012).

Entre 2011 e 2012, a ponte passou por uma significativa reforma com investimento aproximado de R\$ 24 milhões, envolvendo a recuperação de pilares e fundações, atualização das juntas de dilatação, substituição do pavimento, instalação de novos guarda-corpos e sinalização, garantindo a segurança e adequação ao tráfego moderno (REVISTA OE, 2012).

Essas melhorias visaram adequar a estrutura às exigências do tráfego moderno e garantir sua longevidade.

Originalmente nomeada em homenagem ao engenheiro Maurício Joppert da Silva, seu nome foi alterado pela Lei Federal nº 12.610, em 2012, para homenagear o jornalista e escritor Hélio Serejo, principal articulador do movimento popular e político que possibilitou a construção da ponte (LEI FEDERAL Nº 12.610, 2012).

Esses resíduos são resultantes especificamente da demolição da camada de rolamento da ponte, medindo (2.550 x 12,30 x 0,175) m, realizada no ano de 2010 (Figura 5). Devido à grande quantidade de material a ser removido e à significativa espessura média do pavimento, a demolição manual tornou-se impraticável, exigindo, assim, a utilização de máquinas especializadas para execução dos serviços de demolição e remoção dos resíduos. O material demolido foi depositado em um local devidamente licenciado pelo município de Presidente Epitácio/SP, utilizado como área oficial de bota-fora.



Figura 5: Topo da laje do tabuleiro fresado – Ponte Rodoviária Hélio Serejo

Fonte: Miranda (2021)

3.4 O Tijolo de Solo-Cimento

O solo-cimento consiste em um material formado pela mistura de solo natural, cimento Portland e água, em proporções adequadas, sendo posteriormente compactado para a obtenção de um produto com resistência mecânica e durabilidade satisfatórias, amplamente empregado na fabricação de tijolos, blocos, pavimentos e na estabilização de solos em obras de engenharia civil (ABCP, 2001; JOHN, 2007; ABNT, 2012; ABNT, 2019).

Segundo Milani (2005):

Solo-cimento é uma técnica de estabilização do solo pela adição de cimento Portland, promovendo ganho de resistência e durabilidade através da hidratação do cimento, sendo aplicável a diversos tipos de solo.

Segundo Cordeiro et al. (2004):

É um material sustentável que dispensa o processo de queima, como nos tijolos cerâmicos, e pode ser fabricado com o reaproveitamento de solos locais e até resíduos, o que contribui para a redução dos impactos ambientais.

Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2025).

Solo-cimento é a mistura homogênea de solo, cimento e água, que após compactação e cura, resulta em um material rígido, com boa resistência mecânica, durabilidade e estabilidade dimensional, sendo utilizado para a fabricação de blocos, paredes monolíticas, pisos e estradas.

Essas definições destacam o solo-cimento como um material versátil e ecologicamente correto, adequado para diversas aplicações na construção civil.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o resultado final de um estudo de dosagem do solo-cimento baseia-se na definição de três variáveis fundamentais: a quantidade de cimento, a quantidade de água e a massa específica aparente seca a ser atingida após a compactação. No entanto, as duas últimas variáveis (teor de água e massa específica) estão sujeitas a pequenas variações, em função das oscilações naturais nas características do solo em campo. Por esse motivo, essas variáveis passaram a ser consideradas como parâmetros de controle, enquanto o foco principal da dosagem passou a ser a determinação da proporção ideal de cimento a ser utilizada.

Nesse contexto, o solo disponível na natureza deve ser previamente avaliado quanto às suas características físicas, químicas e granulométricas e, quando necessário, submetido a tratamentos adequados para sua utilização como matéria-prima na fabricação de tijolos de solo-cimento. Solos com elevado teor de matéria orgânica não são recomendados para aplicações na construção civil, uma vez que a presença de microrganismos decompositores pode comprometer a durabilidade do material ao longo do tempo. Para minimizar esse efeito, recomenda-se a remoção da camada superficial do solo, priorizando a coleta de material proveniente de camadas inferiores, menos suscetíveis à decomposição orgânica. A escavação deve ser realizada de forma vertical e a uma profundidade suficiente para assegurar a qualidade do solo empregado (ABCP, 2001; ABNT, 2012; ABNT, 2019; NEVES et al., 2009).

Segundo a NBR 10833, item 4.1.1, o solo deve atender as seguintes características:

- a) % passando na peneira 4,8 mm (nº 4).....100%
- b) % passando na peneira 0,075 mm (nº 200).....10% a 50%
- c) limite de liquidez..... $\leq 45\%$
- d) índice de plasticidade..... $\leq 18\%$

Após a coleta das amostras qualitativas de solo, estas devem ser encaminhadas a um laboratório de mecânica dos solos, onde será realizada a análise da proporção de argila, areia e silte presentes. Com base nesses resultados, procede-se à dosagem para solo-cimento, que consiste na determinação da quantidade ideal de água, cimento e solo necessária para estabilizar a mistura.

Os resultados dos estudos de dosagem do solo-cimento são, usualmente, expressos em termos de teor de cimento, definido pela relação entre a quantidade de cimento empregada e a massa de solo seco. Embora esse parâmetro seja comumente determinado em base mássica, ele pode ser convertido em traço volumétrico para facilitar a aplicação prática em obras. Nessa condição, são frequentemente adotadas proporções típicas da ordem de 1 parte de cimento para 12 a 15 partes de solo, em volume, a depender das características do solo e do desempenho requerido (ABCP, 2001; NEVES et al., 2009; ABNT, 2012; ABNT, 2019).

Entre as principais vantagens associadas ao uso da tecnologia do solo-cimento, estão o baixo consumo de energia na produção dos blocos, a facilidade de transporte e manutenção, bem como a possibilidade de uso de mão de obra não especializada, uma vez que o processo não exige alta qualificação técnica. No entanto, ressalta-se que a durabilidade é um aspecto fundamental nesse tipo de construção, sendo necessários cuidados especiais durante a execução (CORDEIRO et al., 2004).

3.5 Materiais constituintes para o solo-cimento

3.5.1 Cimento

O cimento é um dos materiais mais importantes da construção civil, utilizado como aglomerante em concretos, argamassas e pastas. Sua origem remonta ao Egito Antigo e ao Império Romano, onde já se utilizavam misturas à base de cal e

pozolanas. O cimento Portland, tal como é conhecido hoje, foi patenteado em 1824 por Joseph Aspdin, na Inglaterra (ABCP, 2025).

O cimento Portland é obtido a partir da moagem do clínquer, o qual resulta da queima controlada de calcário e argila em fornos a elevadas temperaturas. Durante o processo de moagem, adiciona-se gesso com a finalidade de regular o tempo de pega do cimento. As propriedades mecânicas do material estão diretamente associadas aos principais compostos químicos presentes no clínquer, destacando-se o silicato tricálcio (C_3S), o silicato dicálcio (C_2S), o aluminato tricálcio (C_3A) e o ferroaluminato tetracálcio (C_4AF) (ABCP, 2018; ABNT, 2018; ISAIA, 2010).

Segundo a ABNT NBR 16697:2018, existem diversos tipos de cimento Portland, que variam conforme os materiais adicionados ao clínquer, como mostrado no Quadro 3.

Sigla	Tipo de Cimento	Características Principais
CP I	Cimento Portland comum	Sem adições – uso geral
CP I-S	Com adição de escória	Melhora durabilidade e resistência a sulfatos
CP II-E	Com escória de alto-forno (6–34%)	Aumenta impermeabilidade e resistência química
CP II-Z	Com pozolana (6–14%)	Resistência a ambientes agressivos
CP II-F	Com filer calcário (6–10%)	Custo-benefício, bom rendimento
CP III	Alto-forno (35–70% de escória)	Alta durabilidade e baixa hidratação
CP IV	Pozolânico (15–50% de pozolana)	Alta durabilidade, baixo calor de hidratação
CP V-ARI	Alta resistência inicial	Indicado para obras rápidas ou pré-moldados
RS	Resistente a sulfatos	Uso em ambientes agressivos, como esgoto ou fundações
BC	Cimento branco	Estética, utilizado em elementos arquitetônicos

Quadro 3 – Tipos de Cimento Portland

Fonte: ABNT NBR 16697:2018

A resistência à compressão dos cimentos Portland é classificada conforme a ABNT NBR 16697:2018, que estabelece três classes principais: 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa, medidas aos 28 dias de cura, conforme o método de ensaio da ABNT NBR 7215:2019. No Quadro 4 estão listados os principais tipos de cimento, suas respectivas classes de resistência e características, conforme as normas brasileiras.

Tipo de Cimento	Classe de Resistência (MPa)	Características
CP I (Comum)	25	Sem adições, uso geral
CP I-S (Com adição)	25	Até 5% de material pozolânico, menor permeabilidade
CP II-E (Com escória)	25, 32, 40	6–34% de escória granulada de alto-forno, maior durabilidade
CP II-Z (Com pozolana)	25, 32, 40	6–14% de pozolana, resistência a ambientes agressivos
CP II-F (Com filer)	25, 32, 40	6–10% de material carbonático, bom rendimento
CP III (Alto-forno)	25, 32, 40	35–70% de escória, alta durabilidade e baixa hidratação
CP IV (Pozolânico)	25, 32	15–50% de pozolana, ideal para ambientes agressivos
CP V-ARI (Alta resistência inicial)	≥14 MPa em 1 dia	Alta resistência inicial, indicado para pré-moldados

Quadro 4 – Resistência do Cimento
Fonte: ABNT NBR 16697:2018

3.5.2 Água na mistura do solo-cimento

A água exerce um papel essencial na produção do solo-cimento, sendo responsável tanto pela viabilidade da mistura quanto pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas do material. De acordo com Cordeiro et al. (2004), a função primária da água é promover a hidratação do cimento Portland, ou seja, desencadear reações químicas entre os compostos do clínquer (C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF) e a água, resultando na formação de produtos cimentantes, como o gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), responsável pela resistência do material.

Além disso, a água atua como agente de lubrificação, facilitando a mistura homogênea entre solo e cimento, o que favorece a moldagem e a compactação da massa. Para garantir um bom desempenho, o teor de umidade ideal na mistura geralmente varia entre 10% e 12%, o que permite alcançar resistência mecânica adequada e baixa absorção de água.

Durante o processo de cura, a presença contínua de água é indispensável para permitir a continuidade das reações de hidratação. Segundo o mesmo autor, a cura úmida evita o ressecamento precoce e contribui diretamente para a durabilidade e integridade dos blocos ou tijolos de solo-cimento. O controle rigoroso da quantidade de água é fundamental, pois o excesso pode causar porosidade e diminuição da resistência, enquanto a insuficiência dificulta a moldagem e compromete a hidratação.

3.5.3 Outros Agregados na mistura do solo-cimento

Os agregados exercem papel relevante na composição do solo-cimento, sobretudo no que se refere à melhoria da estabilidade dimensional, da trabalhabilidade e da resistência mecânica do material. De modo geral, o agregado mais comumente empregado na mistura é o próprio solo, de natureza arenoso-argilosa. Entretanto, outros materiais granulares, como areia natural, escória, pó de pedra e resíduos reciclados, podem ser incorporados ao traço, desde que atendam aos requisitos técnicos de granulometria, limpeza e isenção de materiais deletérios, conforme recomendações técnicas e normativas aplicáveis (ABCP, 2001; NEVES et al., 2009; ABNT, 2012; ABNT, 2019).

Segundo Milani (2005), a adição de agregados, principalmente materiais com maior teor de areia, tem como função principal reduzir a retração volumétrica, que é comum em solos com alto teor de argila, e, aumentar a compacidade da mistura, proporcionando melhores condições de moldagem e compactação. Isso contribui diretamente para o desempenho estrutural e a durabilidade dos tijolos ou blocos de solo-cimento.

Ademais, a utilização de agregados bem graduados, constituídos por partículas de diferentes dimensões, favorece o preenchimento dos vazios da matriz do solo-cimento, contribuindo para a redução da porosidade e o aumento da resistência à compressão. A adequada seleção do tipo e da proporção dos agregados influencia, ainda, os valores de absorção de água e o comportamento do material durante o processo de cura. Contudo, deve-se evitar o emprego de agregados contaminados por matéria orgânica, sais ou partículas expansivas, uma vez que tais impurezas podem comprometer a qualidade da mistura. Dessa forma, o controle granulométrico e a realização de ensaios preliminares de compactação mostram-se fundamentais para assegurar o desempenho do solo-cimento produzido (ABCP, 2001; NEVES et al., 2009; ABNT, 2012; ABNT, 2019).

A Figura 6 ilustra a distribuição da composição de um material solo-cimento, baseado nos constituintes solo, cimento e água.

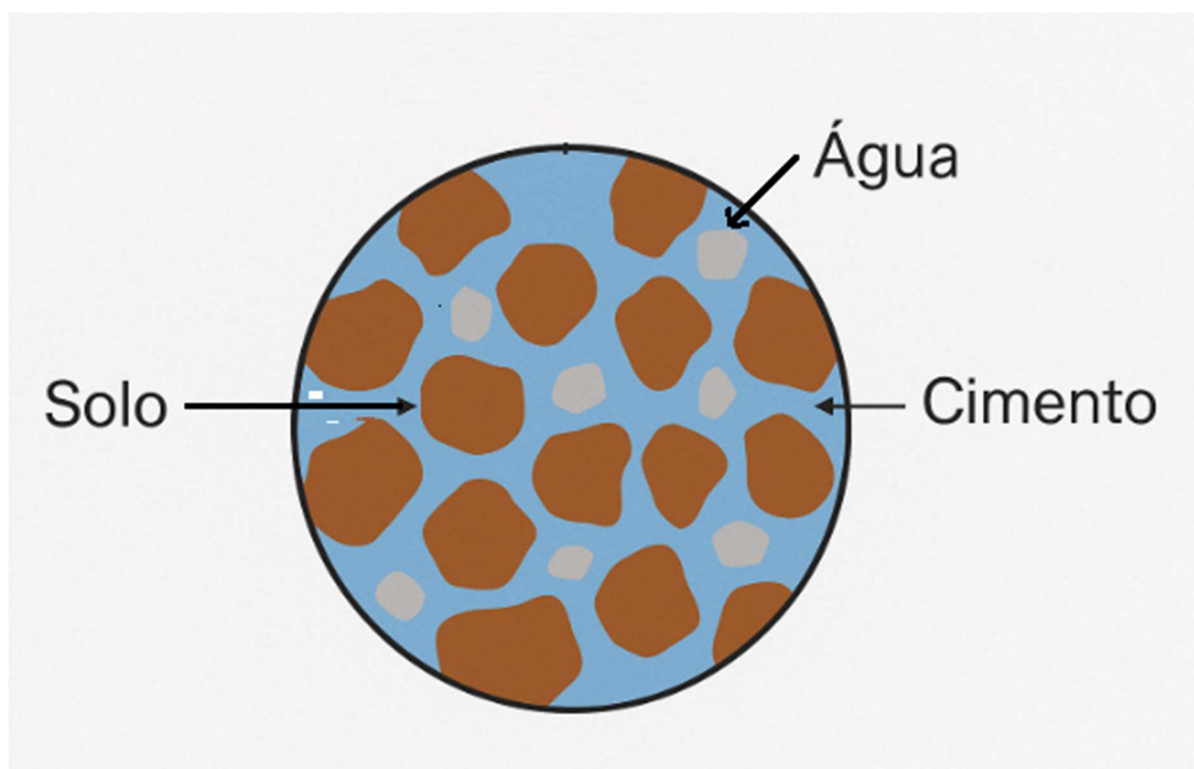


Figura 6: Composição do solo-cimento

Fonte: O Autor

3.5.4 Agregados Reciclados

Diversos estudos têm sido realizados sobre a utilização de resíduos da construção civil (RCC), também conhecidos como resíduos de construção e demolição (RCD), na produção de concreto. Quando esses resíduos são provenientes da demolição de estruturas à base de cimento, geralmente são triturados para serem reutilizados em uma nova matriz cimentícia, passando a ser considerados agregados reciclados de concreto (ARC). A maioria dos trabalhos que utilizam RCD ou ARC conclui que, quando comparado ao uso de agregados naturais, o consumo de cimento tende a aumentar, o que compromete a viabilidade econômica da proposta. Assim, o principal atrativo permanece sendo o benefício ambiental. Apenas em casos específicos, como demolições de grande porte, a exemplo de estádios ou viadutos, em que o volume de material reciclado é significativo e controlado, há maior viabilidade de aplicação. Ainda assim, esses resíduos frequentemente apresentam contaminações por argila, fragmentos cerâmicos, gesso, cal ou outras impurezas, o que reduz sua qualidade e comprometem sua eficiência no solo e cimento (ÂNGULO et al., 2011).

Outro aspecto a ser considerado é que o custo de beneficiamento do RCD, somado ao consumo adicional de cimento e à menor resistência do produto final, aliado a possíveis variações de cor, torna o material menos atrativo do ponto de vista comercial. Como apontam Leite (2001) e Maia et. al. (2021), o uso de RCD se justifica, principalmente, sob uma óptica ambiental e social, como em projetos de blocos de vedação destinados a creches ou habitações populares de baixo custo.

Em estudo mais recente, Strieder et al. (2022) demonstraram a possibilidade de empregar ARC como substitutos, parciais ou totais, dos agregados naturais na produção de concreto permeável. Os testes laboratoriais e de campo comprovaram que os concretos formulados com os agregados reciclados atenderam aos requisitos normativos nacionais e internacionais. Ainda assim, os autores recomendam a realização de estudos complementares para avaliar o desempenho desses pavimentos em longo prazo.

A contaminação dos agregados é uma preocupação recorrente. Esses contaminantes incluem materiais estranhos à mistura, como folhas, raízes, torrões de argila, pedras de maior granulometria, entre outros. Além de comprometerem o desempenho do produto final, tais impurezas podem danificar os equipamentos de mistura e afetar negativamente a aparência das peças, especialmente no que diz respeito à uniformidade da cor. Conforme observado por Algarvio (2009), o ideal, na presença de agregados potencialmente contaminados, é empregar um sistema de peneiramento eficiente, capaz de remover esses corpos estranhos e preservar as propriedades desejáveis do material.

3.6 Legislação Municipal de Presidente Epitácio, SP

De acordo com as disposições da Lei Complementar Municipal nº 192, de 27 de maio de 2021, que regulamenta o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos e seus respectivos componentes, o município de Presidente Epitácio (SP), classificado como estância turística, estabeleceu diretrizes para o gerenciamento municipal de resíduos da construção civil. Essa legislação está alinhada à Resolução CONAMA nº 307/2002, que trata da gestão de resíduos da construção civil em âmbito nacional, e também à Lei Municipal nº 2.589, de 10 de março de 2015, que institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Tais normas têm como objetivo regulamentar as ações dos

geradores e transportadores de resíduos, promovendo a destinação ambientalmente adequada desses materiais no território municipal.

Apesar de sua entrada em vigor em maio de 2021, a Lei Complementar nº 192 não foi aplicada de forma efetiva no que se refere à destinação final e regularizada dos resíduos da construção e demolição (RCD) oriundos da reforma da ponte rodoviária Hélio Serejo. A ineficácia da aplicação da legislação por parte da administração municipal evidencia a ausência de soluções práticas e estruturadas para o descarte adequado, bem como para a reciclagem desses resíduos.

Diante desse cenário, a proposta deste trabalho de reaproveitar os RCD provenientes da reforma da ponte Hélio Serejo, dispostos à céu aberto num bota-fora, localizado na orla turística do município de Presidente Epitácio, poderá trazer uma alternativa viável para cumprir as leis municipais supracitadas. Dependendo dos resultados obtidos, este estudo sugere possibilidades práticas e sustentáveis de utilizar estes resíduos na fabricação de materiais que possam ser empregados em obras urbanas de interesse público municipal, como escolas, praças e até mesmo na pavimentação de vias no município de Presidente Epitácio. Tal proposta busca aliar a responsabilidade ambiental à inovação técnica, contribuindo para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado desses resíduos.

No caso do estudo, o descarte foi adequado pois ocorreu com a aprovação dos órgãos competentes.

3.7 Métodos de dosagem de solo-cimento

A dosagem consiste no processo de definição do traço do concreto, especificando as quantidades de cimento, agregados, água, adições e, eventualmente, aditivos necessários (DANTAS, 2004).

O estudo técnico da ABCP também apresenta uma descrição detalhada das normas de dosagem de solo-cimento estabelecidas pela *Portland Cement Association* (PCA). Essas normas incluem tanto uma versão geral quanto uma versão simplificada dos métodos de dosagem. Os procedimentos, validados desde 1932, possuem comprovação prática em inúmeros projetos realizados com solos de diferentes características e em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil, a partir de 1939.

Conforme a ABCP (2025), a norma geral de dosagem pode ser sintetizada nas seguintes etapas: identificação e classificação do solo; escolha do teor de cimento para os ensaios de compactação; execução dos ensaios de compactação; definição dos teores de cimento para os ensaios de durabilidade; moldagem dos corpos de

prova para os testes de durabilidade; realização dos ensaios de durabilidade por molhagem e secagem; e, por fim, escolha do teor de cimento mais adequado com base nos resultados obtidos.

A dosagem do solo-cimento conforme a norma geral apresenta uma desvantagem prática relevante: o extenso tempo necessário para a execução de determinados ensaios, especialmente os de durabilidade, que demandam, aproximadamente, 40 dias. Em função disso, buscou-se estabelecer correlações entre os resultados desses ensaios e os de outros métodos com tempo de execução mais reduzido, a fim de agilizar o processo de avaliação.

A PCA propõe uma norma simplificada de dosagem, que contempla as seguintes etapas: realização de ensaios preliminares do solo; ensaio de compactação do solo-cimento; determinação da resistência à compressão simples aos 7 dias; e comparação entre a resistência média obtida nesse intervalo e a resistência admissível para o solo-cimento produzido com o solo em estudo.

Segundo a ABCP (2025), o fundamento deste método, comprovado por ensaios experimentais, é a constatação de que solos arenosos, desde que apresentem determinada granulometria e massa específica aparente seca máxima, tendem a requerer, com base no critério de perda de massa no ensaio de durabilidade, o mesmo teor de cimento indicado para atingir resistência à compressão aos 7 dias.

Este método, no entanto, aplica-se apenas a solos com até 50% de partículas com diâmetro inferior a 0,05 mm (fração silte + argila) e, preferencialmente, com no máximo 20% de partículas com diâmetro inferior a 0,005 mm (fração argila).

Embora o método de dosagem possa ser rigoroso, isso não garante, por si só, a obtenção de uma mistura de alta qualidade. Outros fatores fundamentais também influenciam o desempenho final, como o tipo e teor de umidade da mistura, os processos de mistura e compactação, bem como o tempo e as condições de cura.

Para um traço fixo, a quantidade de água ideal deve ser aquela que proporcione blocos com massa adequada, verificada por pesagem após a moldagem. A maior compactação é geralmente obtida com menor teor de água possível, sendo esse limite atingido quando os blocos começam a perder coesão ou dificultam a desmoldagem, aderindo às formas (FERREIRA JÚNIOR, 1995).

É possível fabricar blocos de boa aparência com baixos teores de cimento, adotando traços mais pobres (como 1:6) até os mais ricos (1:1,5 ou 1:2). A escolha do traço ideal deve ser feita com base na resistência desejada, considerando que,

quanto maior a resistência, maior deve ser o teor de cimento (FERREIRA JÚNIOR, 1995).

O objetivo principal da dosagem de concreto para blocos é a escolha do traço que assegure, de forma econômica e eficiente, um produto com desempenho satisfatório. Isso implica atender aos requisitos de resistência e absorção de água, conforme as exigências normativas (TANGO, 1984; DANTAS, 2004).

Geralmente, os critérios mínimos se referem à resistência à compressão e à absorção de água. A norma NBR 7173 (ABNT, 1982) estabelece que a resistência à compressão seja avaliada diretamente, enquanto a resistência à compressão indireta pode ser estimada por meio do ensaio de absorção de água (TANGO, 1984, apud DANTAS, 2004).

Para a produção de blocos, tijolos ou paredes monolíticas de solo-cimento, a dosagem dos materiais deve atender aos requisitos mínimos de desempenho estabelecidos pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012), especialmente no que se refere à resistência à compressão e à absorção de água. Os valores exigidos por essa norma são apresentados na Tabela 1.

Valores – limite (aos 28 dias)	Média	Individual
Resistência à compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de água (%)	$\leq 20,0$	$\leq 22,0$

Tabela 1 – Resistência e Absorção aos 28 dias (NBR 8492/2012)

Fonte: NBR 8492 (ABNT, 2012)

3.8 Dimensões

Os tijolos devem seguir padrões de tamanho de acordo com a NBR 8491:2019 e suas especificações. Essa norma limita a zona de graduação zero a permissão para uso de agregado na produção de blocos, já que ele geralmente não pode possuir grãos com diâmetro superior à metade da espessura da menor parede do tijolo, e também define que os tijolos devem atender às dimensões padronizadas permitindo-se tolerância de +2 mm para a largura e +3 mm para altura e comprimento.

Segundo a NBR 10834:2019, item 4.2.1 dimensões, o tijolo deve possuir a forma externa de um paralelepípedo retangular, sendo suas dimensões definidas a seguir:

- a) Comprimento do tijolo (C): maior dimensão da face de assentamento;
- b) Largura do bloco (L): menor dimensão da face de assentamento;
- c) Altura do bloco (H): distância entre as faces de assentamento.

De acordo com o item 4.2.2 da NBR 10834:2019, as dimensões nominais que os tijolos devem atender são mostrados na Tabela 2. No entanto, podem apresentar dimensões diferentes das estabelecidas nesta Tabela, desde que a altura (H) seja igual ou superior à sua largura (L).

Tipo	Dimensões Nominais		
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A	300	150	150

Tabela 2 – Dimensões nominais do tijolo

Fonte: NBR 10834 (2019)

No caso de tijolos portadores de reentrâncias, estas devem situar-se a 25 mm, no mínimo, a partir das arestas das faces das reentrâncias, e devem ter uma profundidade (r) máxima de 13 mm.

Caso os tijolos possuam furos, estes devem ter eixo perpendicular à superfície de assentamento, e a espessura mínima das paredes (e) no seu entorno deve ser de 25 mm, conforme ilustra a Figura 7. Os tijolos devem ter no mínimo 14 dias de idade, para serem utilizados na execução de alvenaria.

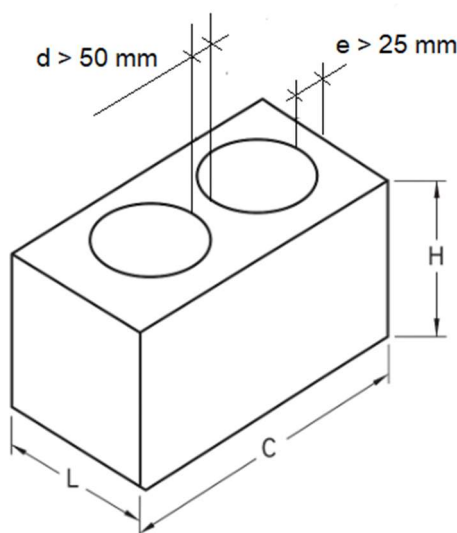


Figura 7: Tijolo Maciço de solo cimento

Fonte: O Autor

4 METODOLOGIA

4.1. Materiais e métodos

4.1.1 Coleta e Beneficiamento do Resíduo Proveniente da Demolição da Ponte Hélio Serejo

Os ARC utilizados nesta pesquisa foram originados da reforma da via de rolamento da ponte rodoviária Hélio Serejo, classificados como Tipo I, Classe A, item a), conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002.

Como já mencionado, os resíduos provenientes dessa reforma com aproximadamente 30 cm de espessura, encontram-se, atualmente, depositados em terreno público aberto, localizado em frente à Orla Fluvial de Presidente Epitácio (SP), importante ponto turístico do município, conforme ilustrado na Figura 8.



Figura 8: Local do bota-fora do agregado reciclado de concreto (ARC)

Fonte: O Autor

Para o desenvolvimento deste estudo, foi coletado um volume aproximado de 80 kg de resíduos da construção civil (RCC), os quais foram transportados a uma empresa de produtora de tijolos, localizada em Presidente Epitácio, para beneficiamento.

O beneficiamento foi realizado por meio de um equipamento móvel do tipo moinho de mandíbulas, modelo Queixada QI 300 (Figura 9), utilizado para trituração de resíduos da construção civil. O equipamento apresenta as seguintes especificações: produção média de 2,2 m³/h (combinando finos e brita), altura de descarga de 400 mm, motor elétrico trifásico blindado (200/380V), potência de 5,5/7,5 kW/vc, consumo energético de 5,5 kWh e peso total de 1.477 kg.



Figura 9: Triturado Queixada QI 300

Fonte: O Autor

Após o processo de trituração, foram obtidas três frações distintas de granulometrias, nomeadas como ARC 3, ARC 2 e ARC 1. Para a continuidade do experimento, foi selecionada apenas a fração mais fina entre os 3, sendo ele o ARC 1 (Figura 10), utilizada em substituição parcial do agregado miúdo natural na composição do tijolo solo-cimento.



Figura 10: ARC 1

Fonte: O Autor

A análise visual dos materiais triturados revelou que os agregados reciclados apresentaram geometria semelhante à da brita convencional, com predominância de

grãos derivados dos seixos e da massa de concreto das peças demolidas. Foi possível, portanto, reduzir o material a tamanhos adequados, com formas compatíveis aos agregados tradicionalmente empregados na construção civil.

Ainda segundo a inspeção visual, o ARC 3, composto por grãos de maior dimensão, apresenta semelhança com a brita 1, enquanto o ARC 2, com partículas intermediárias, assemelha-se à brita 0. Já o ARC 1 apresentou alta concentração de material fino, além de pequenos fragmentos de concreto e seixo.

Visando a substituição parcial do agregado miúdo natural pelo ARC, foram realizados ensaios laboratoriais do tijolo solo-cimento fabricado com esses agregados, para determinar a resistência e absorção de água do tijolo de solo cimento.

4.1.2 Cimento Portland

Para a produção dos tijolos solo-cimento, foi utilizado o cimento Portland Votoran CP II-F-32. A escolha desse material justifica-se por ser o mesmo tipo de cimento empregado pela empresa na fabricação de seus tijolos ecológicos comerciais.

As especificações técnicas do cimento Portland CP II-F-32 utilizado no estudo estão apresentadas na Tabela 3, conforme informações disponibilizadas pelo fabricante.

CP II F – 32	
Clínquer + Gesso	76 – 90 %
Material Carbonático	6 – 10 %
Massa Específica Absoluta	$2,8 \leq \gamma_r \leq 3,2 \text{ g/cm}^3$ a 20°C
Massa Específica Aparente	0,9 a 1,2 g/cm³ a 20°C
pH em Solução Aquosa	$12 \leq \text{pH} \leq 14$
Solubilidade em Água	Até 1,5 g/l a 20°C
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias: >10 7 dias: >20 28 dias: >32

Tabela 3: Especificações do cimento utilizado

Fonte: Adaptado de Votoran (InterCement) e NBR 16697:2018.

4.1.3 Água

A água utilizada na produção dos tijolos de solo cimento foi fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), unidade de Presidente Epitácio (SP), sendo coletada diretamente nas instalações da empresa.

4.1.4 Agregado Miúdo

Para este estudo, foi utilizada saibro vermelho e saibro amarelo, proveniente da extração na Jazida no município de Presidente Epitácio (SP). O material utilizado nas confecções dos corpos de prova deste trabalho são empregados rotineiramente em formulações de tijolos ecológicos solo-cimento.

4.1.5 Composição do Traço para Tijolo de Solo-Cimento

A produção de tijolos de solo-cimento exige uma composição equilibrada entre solo, cimento e água. O traço segue a proporção de 8 a 12 partes de solo seco peneirado para 1 parte de cimento Portland, com adição de água variando entre 10% e 12% da massa total da mistura. O solo ideal deve conter 10% a 35% de argila, além de frações de areia e silte, sendo livre de matéria orgânica e contaminantes.

O preparo da mistura deve garantir homogeneidade, umidade adequada (realizado com o teste da bola de mão) e compactação eficiente, geralmente realizada em prensa manual ou hidráulica. Após a moldagem, os tijolos devem passar por cura úmida de no mínimo 7 dias, conforme a ABNT NBR 10834:2019.

Esse traço assegura boa trabalhabilidade, resistência mecânica e estabilidade dimensional, sendo validado por autores como Milani (2005), Cordeiro et al. (2004) e pela ABCP (2025).

A definição do traço utilizado para a produção dos tijolos de solo-cimento seguiu diretrizes recomendadas por Milani (2005), Cordeiro et al. (2004) e pela ABCP (2025). O traço foi formulado com base em proporções volumétricas, considerando a relação entre solo, cimento e água, de modo a garantir boa trabalhabilidade, resistência mecânica e estabilidade dimensional dos blocos após a cura.

O solo empregado, no traço, é composto por saibro vermelho e saibro amarelo. O material não apresentou presença significativa de matéria orgânica ou contaminantes, sendo, portanto, considerado adequado para a fabricação dos tijolos.

O traço utilizado na comparação foram dois:

1. Original;
2. Substituição do agregado natural.

4.1.6 Traço original (TOE):

O traço original TOE (figura 11) utilizado na fabricação de tijolos de solo-cimento, consistem de 7 partes de solo seco peneirado (em volume), sendo 4 partes de saibro vermelho e 3 partes de saibro amarelo; 1 parte de cimento Portland composto CP II-F-32 e teor de água variando entre 10% e 12% da massa total da mistura. Este mesmo traço foi utilizado para compor os tijolos solo-cimento de referência deste trabalho. As partes de dosagem do traço são medidas em baldes de 20 litros.



Figura 11: Traço TOE

Fonte: O Autor

4.1.7 Traço com substituição do agregado natural ARC 1 (TARC 1):

Para preparação dos tijolos contendo ARC em substituição ao agregado natural (solo), foi utilizado o seguinte traço TARC 1 (figura 12): 5 partes de solo seco peneirado (em volume), sendo 3 partes de saibro vermelho e 2 partes de saibro amarelo; 2 partes de ARC 1; 1 parte de cimento Portland composto CP II-F-32 e um teor de água variando entre 10% e 12% da massa total da mistura. A Figura 13 mostra um comparativo entre as quantidades de cada material utilizados no traço original da empresa e o traço com ARC 1, utilizado neste trabalho.



Figura 12: Traço TARC1

Fonte: O Autor

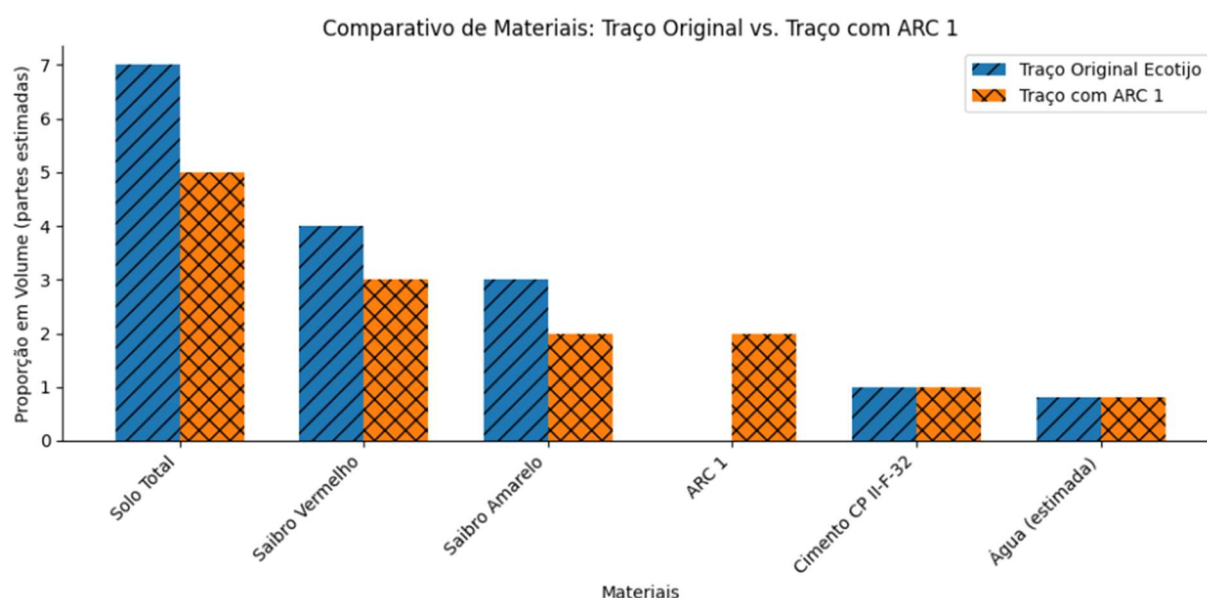


Figura 13: Comparativo Traço Original x Traço com ARC 1

Fonte: O Autor

4.1.8 Fator água/cimento

Os tijolos de solo-cimento utilizados como referência neste estudo foram moldados com um traço de 1:7 (cimento:saibro). A dosagem foi determinada a partir de um balde de pequeno volume, com capacidade para 28,31 kg de saibro e 12,37 kg de cimento. Para o preparo de 10 tijolos, contendo apenas os materiais básicos (saibro, cimento e água), e considerando as dimensões da forma utilizada, foram necessários 10 L de cimento e 70 L de saibro. Os valores finais já consideram o fator de empolamento de 1,3, aplicado para compensar perdas durante o processo produtivo.

No caso dos tijolos com adição de resíduo, foi mantido o mesmo traço de referência, com a substituição de 14,38% do saibro por resíduo de concreto. O fator água/cimento (f_{ac}) resultante dessa modificação foi de 2,02 L/kg, calculado a partir da equação (1). Nesta equação, f_{ac} é o fator água:cimento, $\text{água}_{Q_{td}}$ é o volume de água, em litros e $\text{cimento}_{Q_{td}}$ é a massa de cimento, em Kg.

$$f_{ac} = \frac{\text{água}_{Q_{td}}}{\text{cimento}_{Q_{td}}} \quad (1)$$

A água foi adicionada gradualmente, até que a mistura apresentasse consistência homogênea e coesiva, suficiente para garantir boa compactação sem exsudação. A verificação prática da umidade foi feita com base no teste empírico da bola de mão, procedimento comumente utilizado para controle de campo na produção artesanal ou semi-industrial de solo-cimento.

O solo-cimento foi homogeneizado manualmente em betoneira, e os tijolos foram moldados por compactação mecânica em prensa hidráulica, com força de até 6 toneladas de compactação. Após a moldagem, os blocos permaneceram sob cura úmida por no mínimo sete dias, conforme recomendação da ABNT NBR 10834:2019, garantindo o desenvolvimento adequado da resistência.

4.1.9 Caracterizações

4.1.9.1 Fluorescência de Raios X

A análise de Fluorescência de Raios X (FRX) foi realizada para determinar a composição química e as respectivas concentrações de óxidos presentes nos agregados reciclados de concreto, cimento, saibros amarelo e vermelho. O método utilizado foi de caráter qualitativo-quantitativo, realizado em ar, utilizado um equipamento Shimadzu, modelo XRF-7000 (Figura 14) com capacidade de varredura de Sódio (Na) a Escândio (Sc) e de Alumínio (Al) a Urânio (U), pertencente ao Laboratório de Caracterização e Gestão de Resíduos Sólidos (LCGRS) da FCT/UNESP.



Figura 14: Equipamento de FRX Shimadzu (XRF-7000)
Fonte: O Autor

4.1.9.2 Difração de Raios X

A análise por Difração de Raios X (DRX) das amostras ARC1, cimento, saibros amarelo e vermelho foi utilizada para determinar o perfil mineralógico e fases cristalográficas dos agregados reciclados de concreto e cimento. Para isso, foi utilizando um difratômetro da marca Shimadzu, modelo DRX-6000 (Figura 15) com fonte de radiação Cu-K α , $\lambda \sim 1,54 \text{ \AA}$ (radiação característica) em uma varredura angular de 10° até 80° (2θ), pertencente ao Laboratório de Caracterização e Gestão de Resíduos Sólidos (LCGRS) da FCT/UNESP.



Figura 15: Difratômetro de Raios X
Fonte: O Autor

4.1.9.3 Análise Textural

Os saibros vermelho e amarelo foram submetidos à análise textural usando o método da Pipeta para estimar as frações de areia, argila e silte (**EMBRAPA, 2017**).

O ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização e Gestão de Resíduos Sólidos, da FCT/Unesp de Presidente Prudente.

Durante o ensaio de textura, uma alíquota do sobrenadante contendo argila, foi retirada e depositada sobre lâmina de vidro para caracterização por difração de Raios X da argila orientada.

4.1.10 Fabricação do Tijolo de Solo Cimento

Para a produção dos tijolos solo-cimento foi utilizada a máquina ECO PREMIUM 2600 CH-MA, para a qual requer-se o preparo adequado da mistura. O Quadro 5 mostra as características técnicas da máquina ECO PREMIUM, pertencente à empresa. Utilizamos, para isso, o traço original denominado TOE (TOE) para os tijolos de referência e o traço com ARC (TARC 1), conforme composição apresentada nos itens 4.2.6 e 4.2.7. Todos os tijolos solo-cimento, foram fabricados diretamente na empresa, consistindo em uma linha de produção alternativa, com o apoio direto do corpo de funcionários e pelo representante legal da empresa.

Foram produzidos 17 tijolos de referência TOE e 17 tijolos TARC 1.

Especificação Técnica	Descrição
Modelo	ECO PREMIUM 2600 CH-MA
Tipo de operação	Manual com sistema hidráulico
Sistema de compactação	Alavanca com pistão hidráulico
Produção média diária	Até 2.000 tijolos por dia
Capacidade por ciclo	1 tijolo por ciclo (modelo padrão)
Pressão de compactação	Alta pressão (≥ 6 toneladas)
Formato dos tijolos	Tijolo com furos, canaleta, meio bloco (moldes intercambiáveis)
Peso da máquina	Aprox. 180 kg
Dimensões aproximadas	Aprox. 1,30m x 0,60m x 1,20m
Fabricante	Eco Máquinas

Quadro 5 - Características Técnicas da Máquina ECO PREMIUM 2600 CH-MA
Fonte: ECO MÁQUINAS – 2025

Após a homogeneização do traço utilizando uma betoneira (Figura 16), a mistura foi inserida na câmara da máquina e compactada manualmente por sistema hidráulico. O tijolo é, então, desmoldado e limpo com um jato de ar comprimido (Figura

17). O processo aplica alta pressão de compactação, essencial para a resistência dos tijolos.



Figura 16: Betoneira de 420 L
Fonte: O Autor

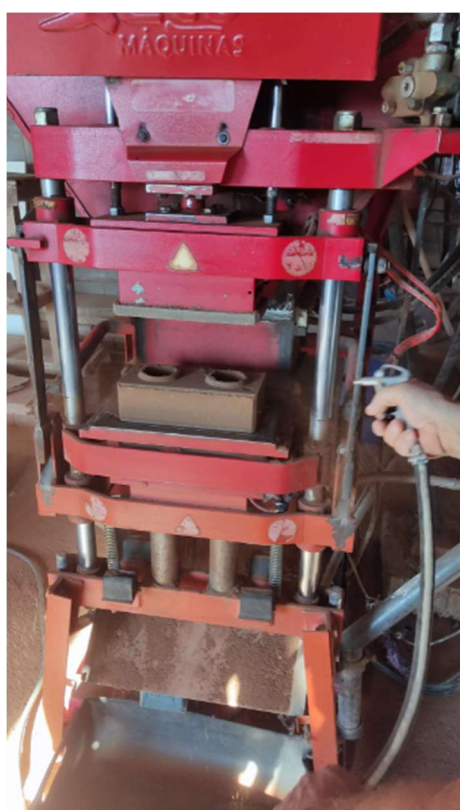


Figura 17: Prensa Hidráulica – Desmoldagem de Tijolo
Fonte: O Autor

A cura foi feita por no mínimo 7 dias (Figura 19), mantendo os tijolos úmidos e protegidos do sol direto. Após esse período, os tijolos foram secos ao ar por mais 7

dias antes do empilhamento ou uso. A Figura 18 mostra os tijolos solo-cimento armazenados no pátio da empresa, após o processo de cura.



Figura 18: Tijolos de Solo Cimento (TOE) fabricados para a pesquisa
Fonte: O Autor

4.1.11 Ensaio Dimensional de Tijolos de Solo-Cimento (NBR 8491 e 8492)

O ensaio dimensional foi realizado no Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus de Presidente Epitácio, SP. O ensaio dimensional tem por objetivo verificar se os tijolos de solo-cimento estão dentro das tolerâncias estabelecidas pelas normas NBR 8491:2012 (requisitos) e NBR 8492:2012 (métodos de ensaio). A avaliação é realizada em amostras de, no mínimo, 10 tijolos secos por 28 dias, com medições das três dimensões principais (comprimento, largura e altura) utilizando paquímetro ou régua metálica precisa.

De acordo com a norma, para cada dimensão do corpo de prova devem ser executadas pelo menos três determinações em pontos distintos de cada face, sendo realizada uma determinação em cada extremidade e uma no meio do corpo de prova, com exatidão de 0,5 mm, e então, os valores médios são calculados. Um lote é considerado conforme, se, pelo menos 95% dos tijolos estiverem dentro dos limites estabelecidos.

Este controle é essencial para garantir a padronização e a qualidade dos blocos na aplicação em alvenarias. A Figura 19 mostra os instrumentos utilizados no ensaio

dimensional: escala metálica ou paquímetro com resolução de pelo menos 0,5 mm e comprimento adequado à dimensão máxima do tijolo.

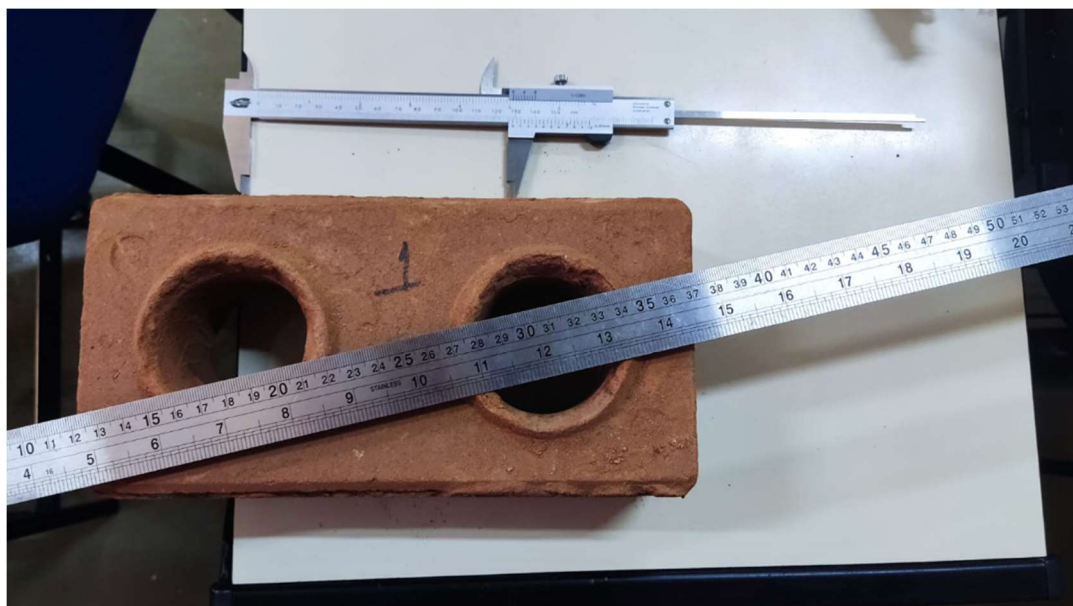


Figura 19: Paquímetro e Régua Metálica de 60 cm.
Fonte: O Autor

Para o ensaio dimensional, foi adotado o seguinte procedimento: inicialmente, selecionou-se 10 tijolos de forma aleatória após o período de cura (28 dias) e limpou-se suas superfícies para remover resíduos soltos; em seguida, mediu-se o comprimento (L), a largura (b) e a altura (h) de cada tijolo. Para isso, foram realizadas 3 medições por dimensão em cada tijolo, sendo uma no centro e duas próximas às extremidades (nas bordas). Cada valor foi registrado individualmente e, em seguida, uma média aritmética foi determinada de acordo com a equação 2. A média do lote foi obtida a partir da média de cada dimensão para os 10 tijolos.

$$Média = \frac{Medição\ 1 + Medição\ 2 + Medição\ 3}{3} \quad (2)$$

A verificação da tolerância foi realizada com base nos valores encontrados na Tabela 4, segundo as regulamentações da NBR 8491:2012.

Dimensão Nominal	Tolerância Admissível
Comprimento	± 1 mm
Largura	± 1 mm
Altura	± 1 mm

Tabela 4 – Tolerâncias Dimensionais para a amostra ensaiada

Fonte: NBR 8491:2012

4.1.12 Ensaio de Absorção de Água (NBR 8491/8492)

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com as recomendações das normas NBR 8491:2012 e NBR 8492:2012, com o objetivo de determinar a quantidade de água absorvida pelos tijolos de solo-cimento, fator diretamente relacionado à porosidade e durabilidade do material.

Inicialmente, foram selecionados 3 tijolos inteiros, curados por 28 dias, conforme as exigências normativas. Cada amostra foi secada em estufa, entre 105°C e 110°C, até a constância da massa (Figura 20), depois foi pesada em seu estado seco, utilizando uma balança de precisão com resolução mínima de 1g, cujos valores foram devidamente registrados (Figura 21).



Figura 20: Estufa
Fonte: O Autor



Figura 21: Balança de Precisão
Fonte: O Autor

Em seguida, os tijolos foram imersos totalmente em água potável à temperatura ambiente ($25 \pm 5^\circ\text{C}$), durante um período contínuo de 24 horas (Figura 22). Após esse intervalo, as amostras foram retiradas do recipiente e tiveram sua superfície seca com um pano úmido, sem a remoção de água interna, conforme prescrito na norma.



Figura 22: Tijolo imerso em tanque de água por 24 horas

Fonte: O Autor

Cada tijolo foi então pesado novamente em seu estado saturado, na mesma balança de precisão utilizada para os tijolos secos. A Absorção de água foi determinada pela equação 3, em que $M_{úmido}$ é a massa do tijolo após 24 horas de imersão e M_{seco} é a massa do tijolo em estado seco.

$$\text{Absorção de Água (\%)} = \frac{M_{úmido} - M_{seco}}{M_{seco}} \times 100 \quad (3)$$

Os valores obtidos foram comparados com os limites máximos estabelecidos pela NBR 8491, os quais são:

- Tijolos de vedação: até 20% de absorção;
- Tijolos estruturais leves: até 17%;
- Tijolos estruturais pesados: até 15%.

O resultado do ensaio é obtido por meio da média da absorção de água das 3 amostras ensaiadas, servindo como critério para aceitação do lote ou avaliação do desempenho do material.

A verificação das tolerâncias do percentual de absorção de água, foi determinada pela NBR 8491:2012, cujos valores limites são mostrados na Tabela 5.

A amostra ensaiada, de acordo essa NBR, não pode apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20% nem valores individuais superiores a 22%, com idade mínima de sete dias.

Critério	Limite	Condição
Média da absorção	$\leq 20\%$	Idade mínima de 7 dias
Valor individual	$\leq 22\%$	Idade mínima de 7 dias

Tabela 5 – Tolerâncias de Absorção de água para Tijolos de Solo-Cimento

Fonte: NBR 8491:2012

4.1.13 Ensaio de Compressão Simples de Tijolos de Solo-Cimento (NBR 8491/8492)

O ensaio de resistência à compressão tem como objetivo verificar a capacidade dos tijolos de solo-cimento em suportar cargas verticais, sendo realizado conforme as normas NBR 8491:2012 (requisitos) e NBR 8492:2012 (método de ensaio).

O procedimento consiste em aplicar uma carga crescente sobre a face do tijolo por meio de uma prensa hidráulica, até ocorrer a ruptura. De acordo com a norma, o ensaio de compressão simples deve ser realizado com sete corpos de prova, curados por no mínimo 28 dias, e a carga máxima suportada é registrada. A preparação do ensaio inicia-se a partir da divisão do tijolo ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão (Figura 23). As duas metades devem ser superpostas por suas faces maiores, invertidas, unidas por uma camada de pasta de cimento Portland com espessura de 2 a 3 mm e resistência igual ou superior à do tijolo. Em caso de tijolos com rebaixos, as metades devem ser unidas de forma a manter os furos voltados para fora, preenchendo-os com a mesma pasta.

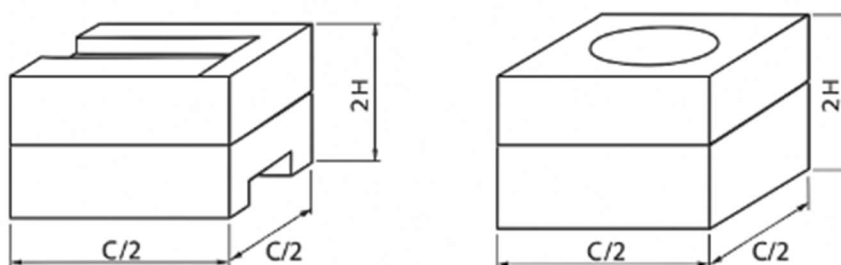


Figura 23: Ilustração dos corpos de prova preparados a partir de tijolos maciço e vazado com duas metades invertidas superpostas

Fonte: NBR 8492:2012

Antes do ensaio, as superfícies de trabalho devem ser paralelas, planas e regulares, podendo ser corrigidas com camada adicional de pasta de cimento. Eventuais rebarbas devem ser removidas. Os corpos de prova devem ser identificados e imersos em água por no mínimo 6 horas antes do ensaio.

Para este ensaio, foram, portanto, utilizados 7 tijolos de solo cimento TOE e 7 tijolos de solo cimento TARC 1. Primeiramente, seguindo os procedimentos descritos na NBR 8492:2012, esses tijolos foram preparados a partir da divisão do tijolo ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão (Figuras 24 e 25). As duas metades foram superpostas por suas faces maiores, invertidas, unidas por uma camada de pasta de cimento Portland com espessura de 2 a 3 mm. Depois de 12 horas dessa preparação, os corpos de prova foram medidos e calculado a sua área, e, em seguida, foram imersos em um tanque de água por 6 horas (Figura 26). O ensaio de rompimento foi conduzido depois de retirar os corpos de prova (meios tijolos unidos por argamassa) do tanque imerso, os quais foram enxugados e levados imediatamente à prensa para serem rompidos.



Figura 24: Moldagem do Corpo de Prova
Fonte: O Autor



Figura 25: Moldagem do Corpo de Prova
Fonte: O Autor

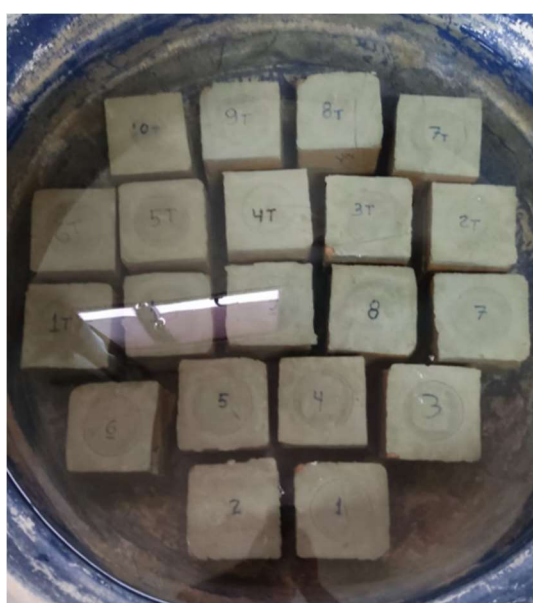


Figura 26: Corpo de prova imerso em Água por 6 horas
Fonte: O Autor

As dimensões dos corpos de prova foram medidas e, então, foram posicionados diretamente sobre o prato inferior da prensa hidráulica PC 200 CS EMIC utilizada no ensaio de resistência à compressão para obtenção da carga de ruptura (Figura 27). Foi utilizada uma carga aplicada verticalmente à razão de 500 N/s (50 kgf/s), até a ruptura. As características técnicas da máquina de ensaio são mostradas no Quadro 6.

Características da prensa PC 200 CS EMIC	
Acionamento/Controle	Sistema eletrônico servo controlado
Modo De Medição De Carga	Direta através de célula de carga
Modo De Medição De Deformação	Canal de medição para extensômetro
Modo De Leitura	Software
Classe De Medição (Precisão)	Classe 1 segundo a NM ISO 7500
Capacidade Máxima De Carga	200.000 Kgf / 2 MN
Dimensões (Larg. × Alt. × Prof.)	Gabinete: 550 × 1930 × 530 mm Estrutura: 820 × 1830 × 510 mm
Distância Livre Entre Colunas	300 mm
Curso Útil Do Pistão	25 mm
Distância Máxima Entre Pratos	610 mm
Peso Aproximado	Gabinete: 350 kgf Estrutura: 900 kgf

Quadro 6 - Características Técnicas da Prensa PC 200 CS EMIC

Fonte: EMIC – 2024



Figura 27: Prensa Hidráulica PC 200 CS EMIC

Fonte: O Autor

A resistência à compressão foi determinada por meio da equação 4, em que f_c é a resistência à compressão (MPa), F é carga máxima aplicada (N) e A é área da face carregada (em mm²).

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (4)$$

A amostra ensaiada de acordo com a NBR 8492:2012 não pode apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm²), com idade mínima de sete dias.

Este ensaio é essencial para garantir a segurança e qualidade dos elementos construtivos utilizados em alvenarias estruturais ou de vedação.

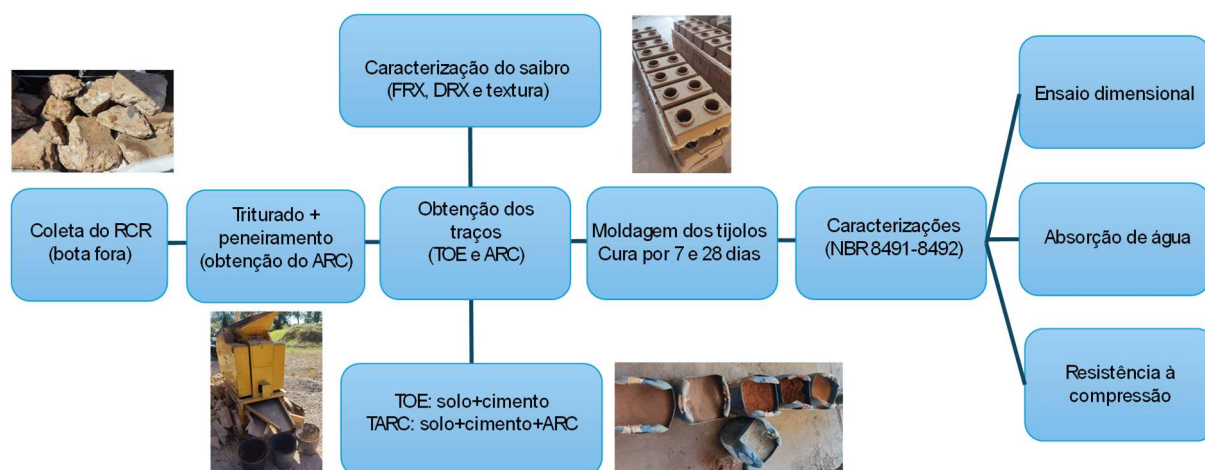


Figura 28: Fluxograma da Produção e Ensaio dos Tijolos de Solo, Cimento e ARC

5 RESULTADO E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nos ensaios realizados com os tijolos de solo-cimento, fabricados conforme os traços experimentais definidos. Os ensaios contemplaram a análise textural, análise química por fluorescência de Raios X, análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão simples, de acordo com os critérios estabelecidos nas normas NBR 8491:2012 e NBR 8492:2012.

5.1 Caracterização dos saibros amarelo e vermelho

A Tab. 6 apresenta os resultados da análise textural dos solos utilizados na composição dos tijolos de solo-cimento, correspondentes aos saibros amarelo e vermelho. Observa-se que ambos os materiais são constituídos predominantemente por frações arenosas, superiores a 60% em massa, com teores de argila em torno de 15%, características frequentemente observadas em solos empregados na produção de tijolos de solo-cimento (NEVES et al., 2009; ABCP, 2001). Essa característica granulométrica é favorável à produção de tijolos de solo-cimento, pois a elevada quantidade de areia atua como esqueleto granular, conferindo maior estabilidade dimensional, reduzindo retrações durante a secagem e contribuindo para o bom empacotamento da matriz. Por outro lado, a presença de frações finas, especialmente a argila, desempenha papel essencial na coesão do material ainda no estado plástico, facilitando a moldagem e garantindo a aderência entre as partículas durante a compactação.

O equilíbrio entre essas duas frações (predominância arenosa associada a uma quantidade adequada de argila) é desejável em misturas solo-cimento, pois assegura simultaneamente boa trabalhabilidade, adequada resistência mecânica e baixa suscetibilidade a fissuras. Dessa forma, a composição textural dos solos avaliados mostra-se apropriada para os traços utilizados (TOE e TARC) para a fabricação dos tijolos, criando condições favoráveis ao processo de produção das peças.

Amostra	Areia (%) ($x^* > 0,053$)	Silte (%) ($0,053 \leq x \leq 0,002$)	Argila (%) ($x < 0,002$)
Saibro amarelo	66,60±0,77	17,47±0,35	15,93±0,31
Saibro vermelho	63,83±1,46	20,87±0,76	15,30±0,71

*x = fração granulométrica em mm

Tabela 6. Análise textural dos solos (saibro amarelo e saibro vermelho) usado na composição dos tijolos com traços TOE e TARC.

Fonte: O autor

A Tab. 7 apresenta os resultados da análise química por fluorescência de Raios X dos saibros amarelo e vermelho, do resíduo ARC 1 e do cimento Portland utilizado.

Nos solos (saibros amarelo e vermelho), foi observada a predominância de sílica (SiO₂) em ambos os materiais, diretamente associada à elevada fração arenosa

identificada na análise textural (Tab 6). Os teores de alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de potássio (K_2O) estão relacionados à presença da fração argilosa dos solos. Além disso, foram detectados outros óxidos em quantidades minoritárias, como Zr, Ca, Mn, Cu, Zn e Sr, cada um em proporções inferiores a 0,5% em massa, conforme indicado na Tabela 7.

O resíduo ARC 1 apresenta, majoritariamente, SiO_2 sugerindo uma matriz silicosa que pode ser composta por areia e brita/seixo. Sua composição também apresenta traços de cimento residual devido ao maior percentual de CaO e, também à presença de Al_2O_3 e Fe_2O_3 .

Já o cimento, apresenta como óxidos majoritários, o CaO , seguido do SiO_2 , característico de clínquer Portland com adição de gipsita (sulfato) para controle de pega. A presença de SO_3 (~5%) reforça a presença de gesso e o Al_2O_3 e Fe_2O_3 também representam percentuais nas faixas usuais do clínquer.

Óxidos	Saibro amarelo (%)	Saibro vermelho (%)	ARC 1 (%)	Cimento (%)
SiO_2	73,226	74,317	67,061	16,420
Al_2O_3	19,368	18,280	1,793	4,568
Fe_2O_3	3,650	4,203	2,632	2,979
TiO_2	1,905	1,838	0,336	0,249
K_2O	0,879	0,429	0,388	1,208
CaO	0,356	0,237	26,600	69,132
SO_3	0,457	0,428	1,038	5,052
MnO	0,032	0,040	0,062	0,135
Outros óxidos minoritários (< 0,5% cada)	0,127	0,228	0,090	0,254

Tabela 7. Análise química quali-quantitativa dos solos obtidas via fluorescência de Raios X

A Figura 29 (a) apresenta os difratogramas de Raios X dos solos utilizados e a Figura 30 (b) mostra o difratograma da fração argila depositadas em lâminas de vidro. Observa-se que a composição mineralógica dos saibros (Figura 29 (a)) é predominantemente constituída por quartzo (SiO_2), identificado pela ficha cristalográfica PDF 89-8937, com a presença de picos secundários característicos do argilomineral caulinita ($\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$), conforme a ficha PDF 1-527. A predominância de quartzo é condizente com a elevada fração arenosa identificada na análise textural e com a alta concentração de sílica observada na análise química, reforçando a coerência entre os diferentes resultados obtidos. A presença de caulinita

confirma a participação da fração argilosa dos solos, responsável pela coesão e plasticidade da matriz durante a conformação dos tijolos (TEIXEIRA, 2001). Na Figura 29 (b), observa-se que, para o saibro vermelho, além do argilomineral caulinita, também há traços de illita, identificada pela ficha cristalográfica PDF 31-968.

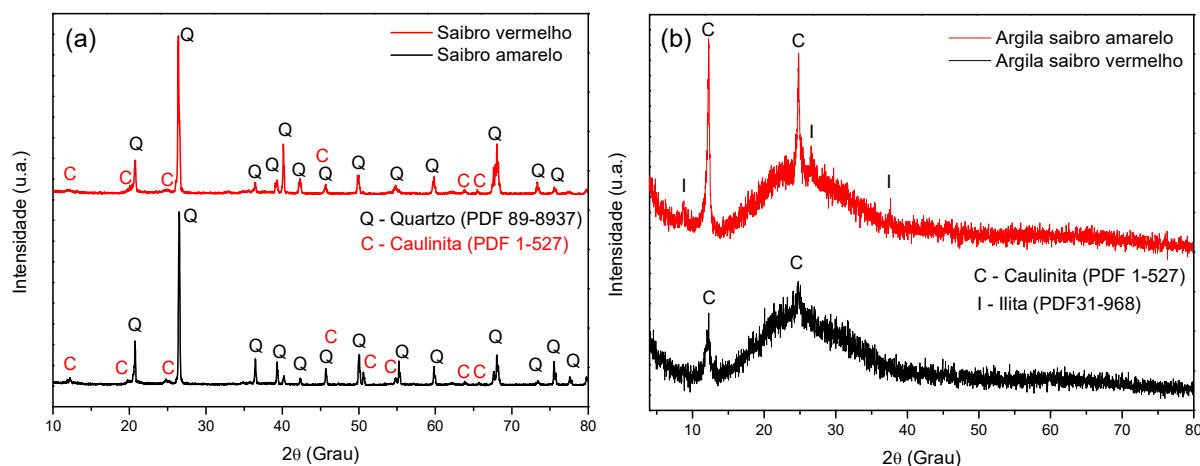


Figura 29. Difratomogramas de Raios X das amostras: (a) saibros amarelo e vermelho; (b) argila orientada em lâmina de vidro

A Figura 30 (a) mostra o difratograma de Raios X do resíduo ARC 1 e a Figura 30 (b) mostra o difratograma da amostra de cimento Portland, utilizado na produção dos corpos de prova. Observa-se que a composição mineralógica do resíduo (Figura 30 (a)) é constituída de quartzo (PDF 83-2466) e óxido de cálcio (PDF 17-912), concordando com os resultados de análise química, enquanto o cimento (Figura 30 (b)) tem composição típica de Portland composto (CP II), com predominância de silicatos de cálcio e adição de fíler calcário, exatamente o que a composição química indicava.

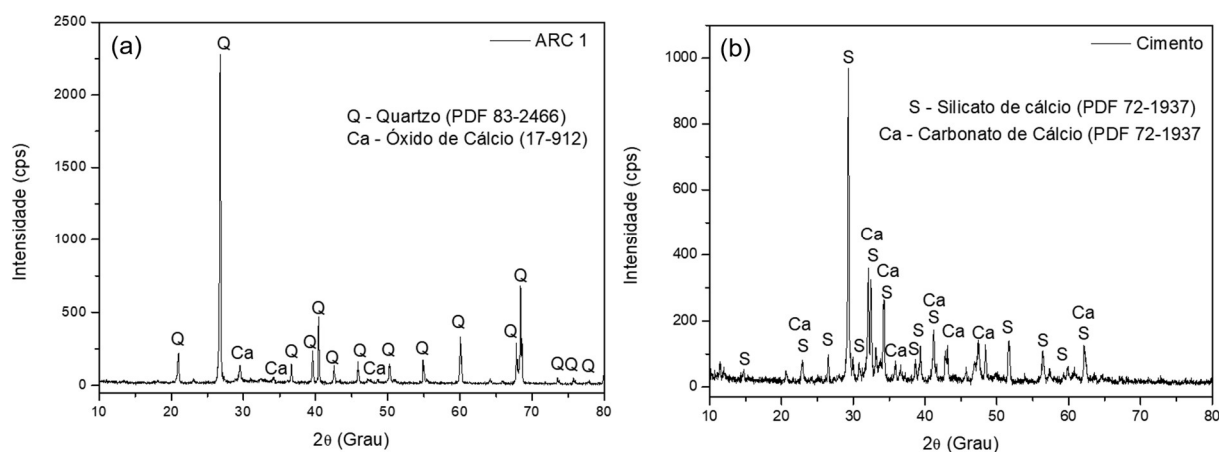


Figura 30. Difratomogramas de Raios X das amostras: (a) Resíduo ARC 1; (b) Cimento

5.2 Ensaio Dimensional

O ensaio dimensional foi realizado em 20 tijolos secos, após o período mínimo de 28 dias de cura, no qual temos 2 tipos de traços, sendo 10 tijolos com o traço original da empresa (TOE) e 10 tijolos com o traço contendo ARC (TARC 1). Foram medidas as dimensões de comprimento, largura e altura, conforme prescrito na NBR 8492:2012.

Os resultados para o TOE são mostrados na Tabela 8 (Anexo I) e a Figura 31 mostra as médias das dimensões de cada tijolo analisado. Da mesma forma, a Tabela 9 mostra (Anexo I) os resultados dimensionais dos tijolos com o TARC 1 e a Figura 32 mostra a média para cada tijolo.

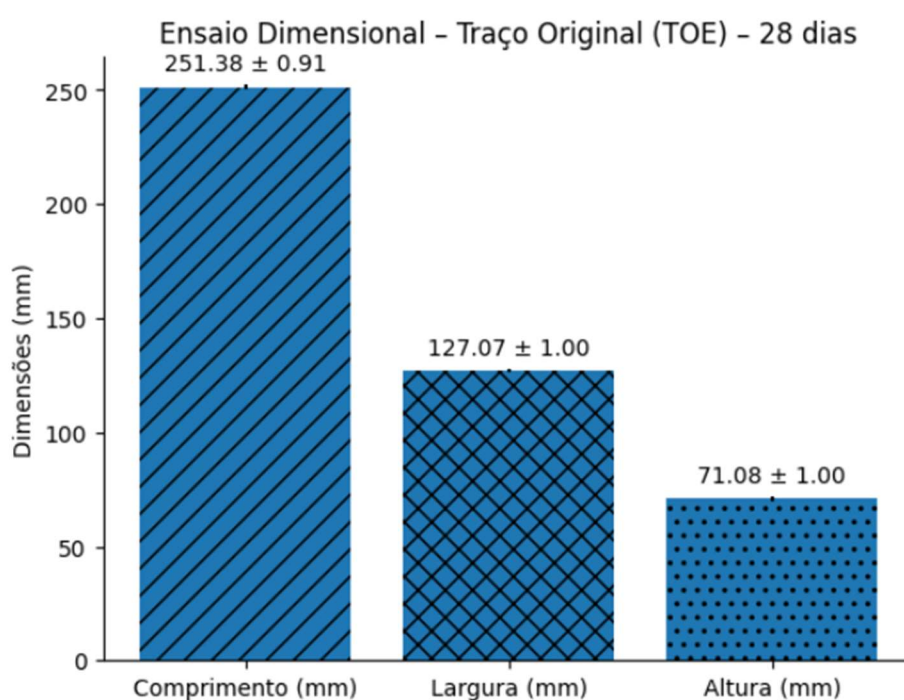


Figura 31: Ensaio Dimensional - TOE
Fonte: O Autor

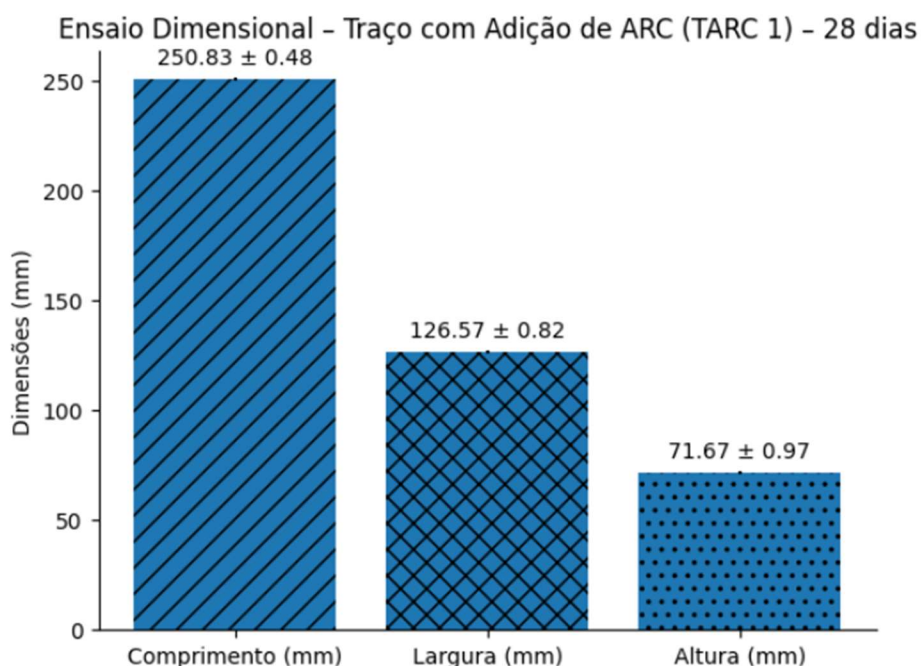


Figura 32: Ensaio Dimensional – TARC 1
Fonte: O Autor

Segundo a norma ABNT NBR 8492:2012, a amostra ensaiada do tijolo solo-cimento deve satisfazer as tolerâncias permitidas nas dimensões nominais dos tijolos de $\pm 1,00$ mm para o comprimento (C), largura (L) e altura (H). De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que ambas as amostras analisadas (TOE e TARC 1) apresentam comportamento dimensional satisfatório, mostrando-se dentro da norma quanto as tolerâncias permitidas nas dimensões nominais dos tijolos.

5.3 Ensaio de Absorção de Água

Os Resultados de absorção de água dos tijolos com o TOE e com o TARC 1 são mostrados, respectivamente, nas Tabelas 10 e 11 (Anexo II). As Figuras 33 e 34 mostram os valores individuais e a média com o seu desvio padrão, indicada pela coluna laranja para os tijolos com TOE e TARC 1, respectivamente.

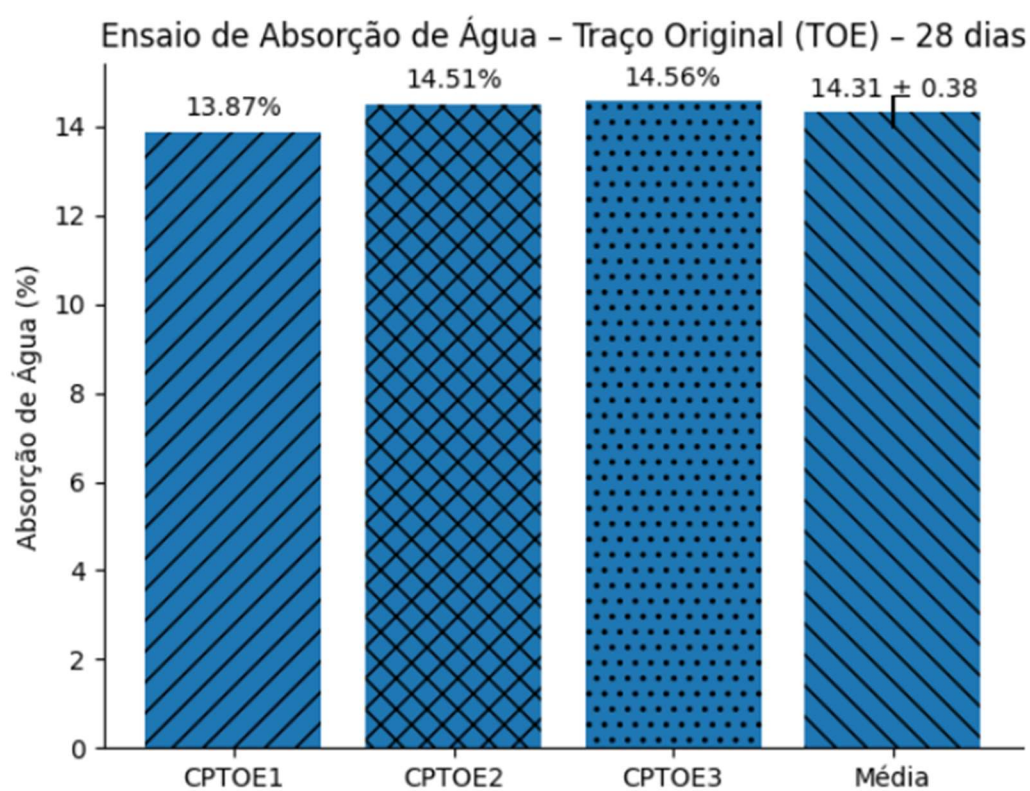


Figura 33: Percentual de Absorção TOE

Fonte: O Autor

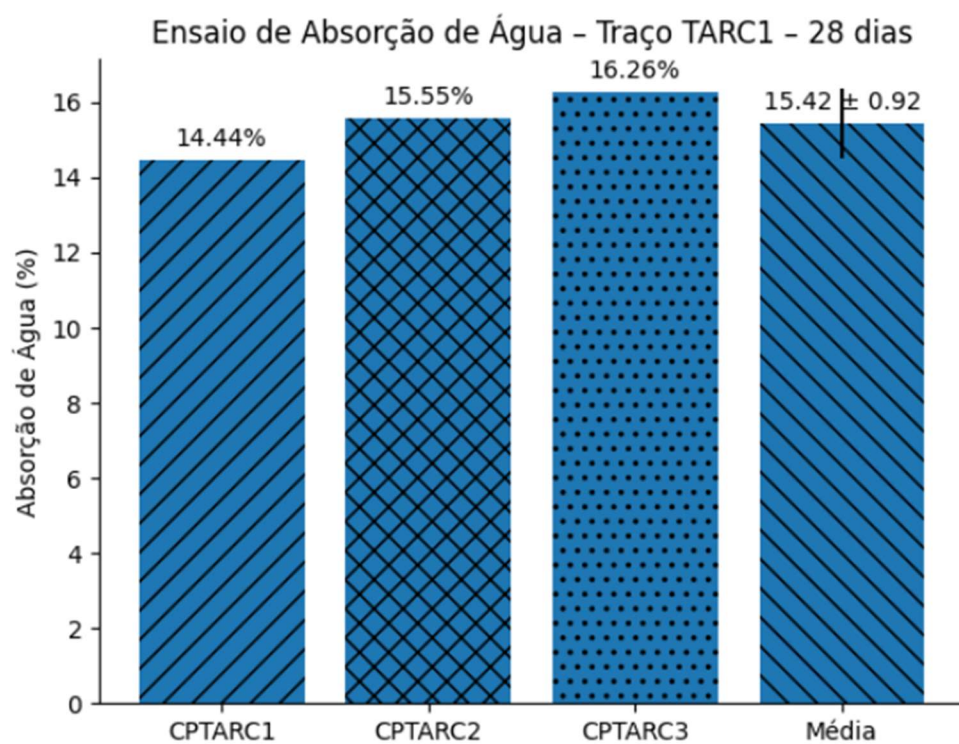


Figura 34: Percentual de Absorção TARC1

Fonte: O Autor

Observa-se que as amostras com o TARC 1 apresentam valores de absorção de água ligeiramente maiores (~7,7%) que aquelas usando o traço de referência (TOE), o que pode estar relacionado à natureza do ARC utilizado. Tendo em vista que se trata de um material granulado composto de concreto triturado, é possível que as partículas de grãos possam dispor de poros, que podem ter contribuído com o suave aumento da absorção de água dos tijolos solo-cimento com o TARC 1.

Segundo a norma NBR 8492, tijolo de solo cimento não pode apresentar média dos valores de absorção de água maior do que 20% nem valores individuais superiores a 22%, com idade mínima de sete dias. Com base nos resultados apresentados, observa-se que o menor valor de absorção de água foi para a amostra CPTOE1 (13,87%) e o maior valor de absorção de água para a amostra CPTARC3 (16,26%). Todos os resultados obtidos estão, portanto, entre o intervalo estabelecido pela norma.

5.4 Ensaio de Compressão Simples

Os resultados do ensaio de compressão dos corpos de prova, com o traço TOE, e com tempo de cura aos 7 dias, são mostrados na Tabela 12 (Anexo III) e na Figura 35. Os resultados mostram que a menor resistência registrada foi de 0,79 MPa, nos corpos de prova CPTOE7-1 e CPTOE7-3, enquanto a maior foi de 1,03 MPa, no corpo de prova CPTOE7-4. A média geral de resistência à compressão foi de 0,86 MPa e desvio padrão de $\pm 0,09$.

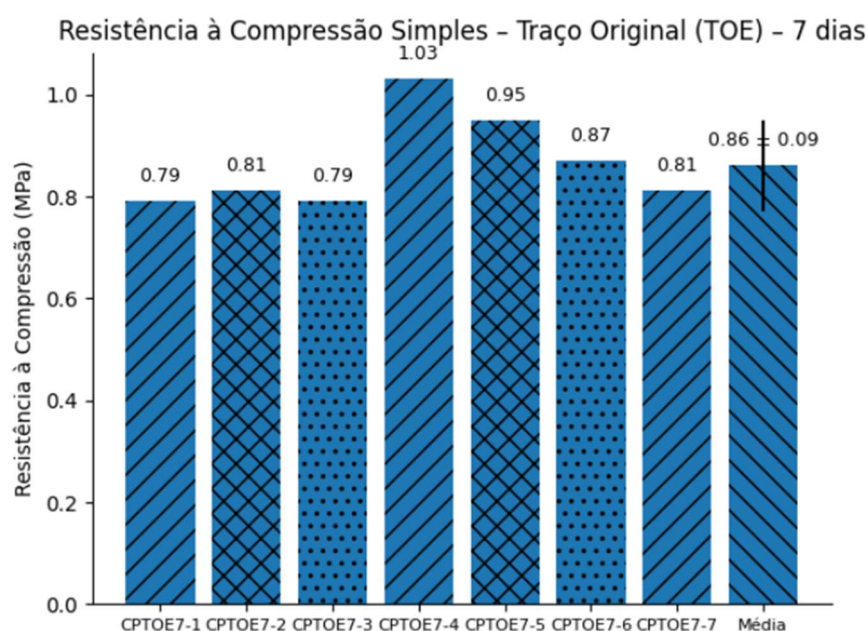


Figura 35: Compressão Simples – TOE 7 dias

Fonte: O Autor

A Tabela 13 (Anexo III) e a Figura 36 mostram os resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 7 dias do Traço TARC 1. Observa-se que a menor resistência registrada foi de 0,85 MPa, nos corpos de prova CPTARC7-5 e CPTARC7-6, enquanto a maior foi de 1,12 MPa, no corpo de prova CPTARC7-7. A média geral de resistência à compressão foi de 0,96 MPa com desvio padrão $\pm 0,10$.

Tensão (MPa) – Ensaio de Compressão Simples (TARC 1 – 7 dias)

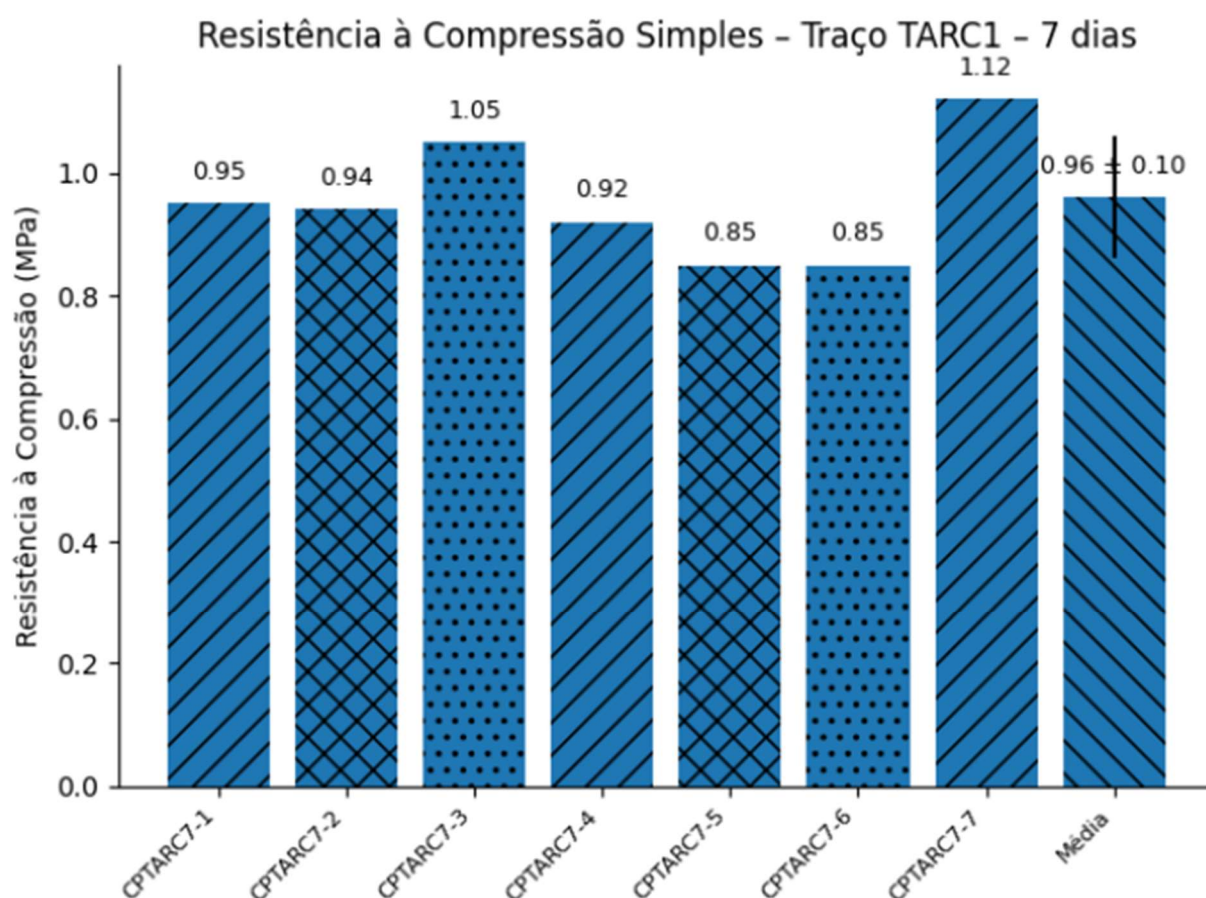


Figura 36: Compressão Simples – TARC 1 - 7 dias

Fonte: O Autor

A Tabela 14 (Anexo IV) e a Figura 37 mostram os resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias do traço TOE. Observa-se que a menor resistência registrada foi de 0,95 MPa, no corpo de prova CPTOE28-3, enquanto a maior foi de 1,59 MPa, no corpo de prova CPTOE28-6. A média geral de resistência à compressão foi de 1,13 MPa com desvio padrão $\pm 0,25$.

Tensão (MPa) – Ensaio de Compressão Simples (TOE – 28 dias)

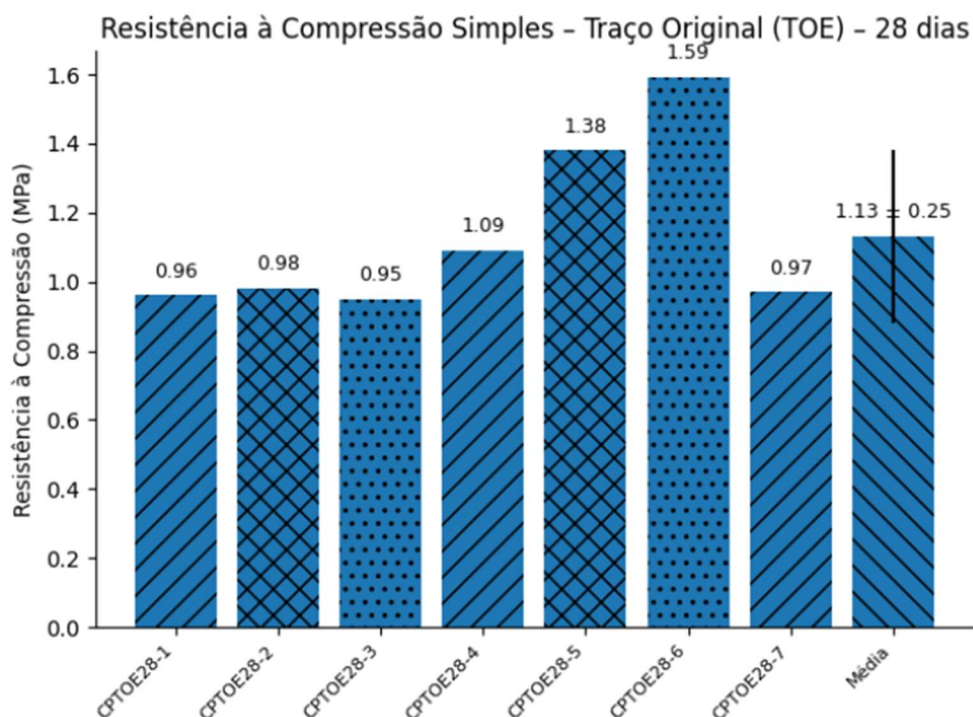


Figura 37: Compressão Simples – TOE 28 dias

Fonte: O Autor

A Tabela 15 (Anexo IV) e a Figura 38 mostram os resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias do Traço TARC 1. Os resultados mostram que a menor resistência registrada foi de 1,02 MPa, no corpo de prova CPTARC28–3, enquanto a maior foi de 1,68 MPa, no corpo de prova CPTARC28–7. A média geral de resistência à compressão foi de 1,25 MPa com desvio padrão $\pm 0,22$.

Tensão (MPa) – Ensaio de Compressão Simples (TARC 1 – 28 dias)

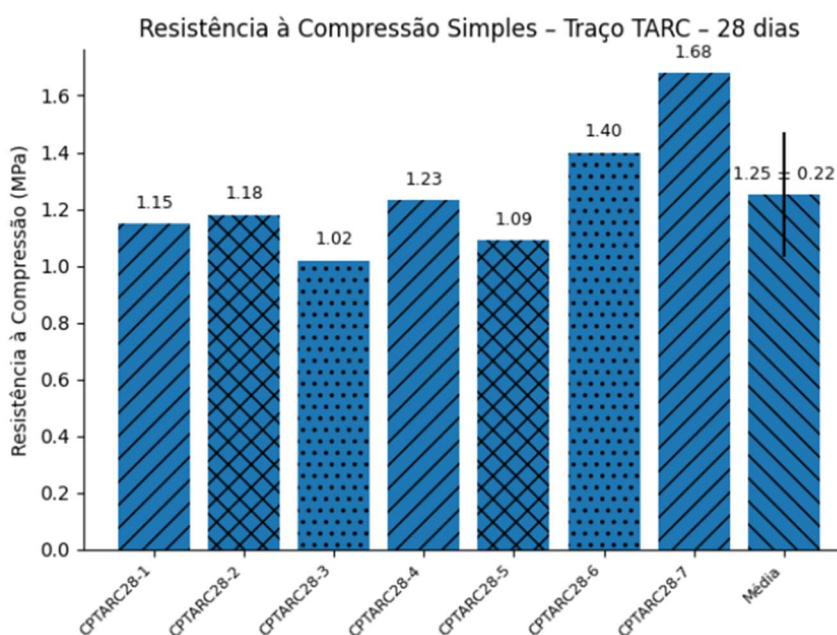


Figura 38: Compressão Simples – TARC 1 - 28 dias

Fonte: O Autor

Fazendo uma comparação entre os valores de tensão de compressão simples dos tijolos preparados com o TOE e TARC 1, aos 28 dias de cura. Observa-se que a média geral de resistência à compressão dos tijolos com TARC 1 foi maior do que aqueles com o TOE, tendo um aumento de, aproximadamente, 10,6%. Embora tenha ocorrido este suave aumento para as amostras com TARC 1, os valores encontrados para todas as amostras analisadas ficaram aquém do esperado. Esse comportamento pode estar associado ao elevado fator água/cimento utilizado, que pode ter comprometido a resistência final dos corpos de prova.

A Figura 39 mostra os resultados de resistência à compressão simples, dos tijolos TOE e TARC1, com cura aos 7 e 28 dias. A resistência à compressão simples foi o ensaio mais relevante para avaliar a viabilidade estrutural dos tijolos.

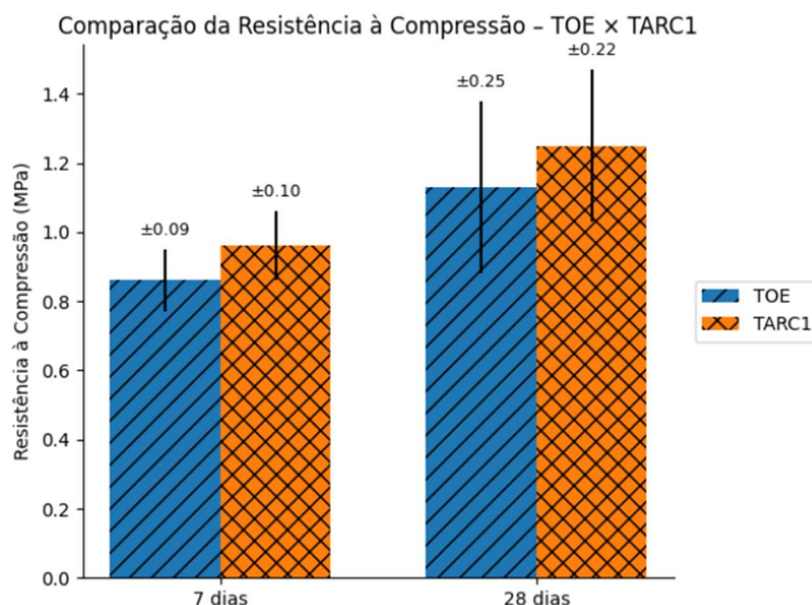


Figura 39: Tensão de compressão das amostras com TOE e TARC1 aos 7 e 28 dias

Fonte: O Autor

Os resultados obtidos para a resistência à compressão simples, tanto dos tijolos produzidos com o traço original (TOE) quanto daqueles contendo agregado reciclado de concreto (TARC1), apresentaram valores inferiores ao mínimo de 2,0 MPa estabelecido pela NBR 8491:2012 para alvenaria não estrutural. Embora esse fato limite o uso destes materiais como não estrutural, no setor da construção, ele pode ser compreendido e justificado por diferentes fatores intrínsecos ao processo produtivo e às características dos materiais utilizados.

O traço original apresentou desempenho inferior ao limite estabelecido pelas normas técnicas, indicando a necessidade de ajustes na composição do Traço TOE para torná-lo adequado à fabricação de tijolos destinados à alvenaria de vedação e fechamento, aplicações em que a exigência de resistência mecânica é menos rigorosa. Esse resultado é comum em produções artesanais ou semi-industriais de solo-cimento, nas quais a formulação do traço é otimizada com foco em custo, trabalhabilidade e sustentabilidade, frequentemente em detrimento da obtenção de resistências máximas.

Além disso, a relação água/cimento adotada no processo pode ter contribuído para a redução da resistência final. A adição de água em excesso tende a aumentar a porosidade interna do material, dificultando a formação de uma matriz cimentícia densa e compacta. Esse efeito pode ser intensificado pelo uso do agregado reciclado de concreto (ARC), que apresenta maior absorção de água e porosidade devido à presença de argamassa residual em sua superfície.

Outro fator relevante é que o processo de prensagem manual, mesmo realizado em prensa hidráulica, pode não ter atingido o nível de compactação ideal, impactando diretamente a densidade e, conseqüentemente, a resistência mecânica dos tijolos. Alguns trabalhos da literatura relatam que ajustes na pressão de prensagem, na distribuição granulométrica dos materiais e na dosagem do cimento podem elevar significativamente o desempenho mecânico desses artefatos (LUCAS, 2023) e (CAMILA, 2022).

Os resultados de resistência à compressão e absorção de água podem ser diretamente associados às características texturais, químicas e mineralógicas dos solos utilizados. A elevada fração arenosa (> 65% em massa) identificada na análise textural contribui para a formação de uma matriz com menor retração e boa estabilidade dimensional, porém reduz a coesão interna e o empacotamento das partículas, o que pode limitar o desenvolvimento da resistência mecânica. Por outro lado, a presença de cerca de 15% (em massa) de argila, composta principalmente por caulinita, confere plasticidade ao material e favorece a adesão entre partículas, além de auxiliar na retenção de água durante a hidratação do cimento. Essa característica, embora benéfica para a trabalhabilidade e moldagem, também pode contribuir para o aumento da porosidade final, refletindo-se em valores ligeiramente maiores de absorção.

Do ponto de vista químico e microestrutural, a predominância de sílica (SiO_2), proveniente do quartzo, reforça a estrutura granular do tijolo e confere estabilidade à

matriz, enquanto a presença de Al_2O_3 e Fe_2O_3 , associados aos argilominerais, por exemplo, pode favorecer a formação de produtos secundários de hidratação, melhorando a coesão interna. Entretanto, a natureza porosa do agregado reciclado e a heterogeneidade da sua superfície, podem conter argamassa residual e microfissuras entre seus grãos, o que, por consequência, podem gerar regiões porosas e aumento da AA, limitando a resistência final dos tijolos com o traço TARC, embora ainda maior que aquela mostrada para o traço TOE. Portanto, os resultados de resistência à compressão avaliados para os tijolos são coerentes com a microestrutura do material, que combina fases minerais estáveis (quartzo) com componentes finos coesivos (caulinita), mas ainda apresenta uma rede porosa relativamente aberta, explicando tanto o leve aumento da AA quanto os valores de resistência abaixo do mínimo normativo.

Apesar de os valores absolutos estarem abaixo do exigido pela norma, destaca-se que a incorporação do ARC promoveu um aumento de aproximadamente 10% a 12% na resistência em relação ao tijolo de referência. Esse resultado evidencia que o agregado reciclado contribui positivamente para a formação da microestrutura do material, atuando como elemento de preenchimento e melhorando a compactação da matriz.

Portanto, os resultados obtidos indicam que os tijolos desenvolvidos podem ser tecnicamente adequados para uso em alvenaria não estrutural e elementos de vedação, ao mesmo tempo em que representam uma solução ambientalmente vantajosa por reaproveitarem resíduos de construção. Estudos futuros poderão focar na otimização do traço (relação água/cimento, granulometria e aditivos) e na melhoria do processo de compactação, de modo a atender aos requisitos normativos de resistência e expandir as possibilidades de aplicação desses materiais.

6 CONCLUSÃO

O estudo apresentado neste trabalho buscou uma alternativa viável para o reaproveitamento de resíduos da construção civil, com ênfase naqueles provenientes da reforma da Ponte Rodoviária Hélio Serejo, localizada sobre o Rio Paraná. A utilização desses resíduos na fabricação de tijolos de solo-cimento pode representar uma estratégia alinhada aos princípios da sustentabilidade, contribuindo para a redução do impacto ambiental e promovendo a valorização de materiais que, de outra forma, seriam descartados.

Os resultados mostrados neste estudo mostraram a viabilidade técnica e ambiental do uso de agregado reciclado de concreto (ARC) proveniente de resíduos da construção civil na fabricação de tijolos de solo-cimento.

Os resultados mostraram que a incorporação do ARC contribuiu para ganhos na resistência mecânica e manteve as propriedades dimensionais e de absorção dentro dos limites normativos, evidenciando seu potencial como alternativa sustentável para aplicações não estruturais, ou seja, como material de vedação. Embora os valores de resistência à compressão tenham permanecido abaixo do mínimo exigido pela norma para uso como tijolos não estruturais, os resultados indicam que ajustes no traço, na relação água/cimento e no processo de compactação, bem como o uso de aditivos, podem elevar o desempenho do material e ampliar suas possibilidades de aplicação na construção civil.

REFERÊNCIAS

ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual de solo-cimento. São Paulo: ABCP, 2001.

ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico do cimento Portland. São Paulo: ABCP, 2018.

ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. História do cimento. São Paulo: ABCP, [s.d.]. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 5 marc. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento — Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215:2019. Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7173:1982. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697:2018. Cimento Portland — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos — Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10836: Bloco de solo-cimento com função estrutural — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: Tijolo de solo-cimento — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE.

Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023. São Paulo: Abrema, 2023.

Disponível

em:https://www.abrema.org.br/wpcontent/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em: 8 mar. 2025.

ALGARVIO, D. A. N. Reciclagem de resíduos de construção e demolição: Contribuição para controle do processo. 2009. Tese de Doutorado. FCT-UNL.

ALMEIDA, M. S. T.; MELO, M. C. de; BOARETO, M. D.; REZENDE, R. M. Análise da correlação do volume de resíduos sólidos provenientes da construção civil com o produto interno bruto para os municípios no estado de Minas Gerais. Revista Augustu. v.24, n. 49, p. 320-331. Rio de Janeiro, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15202/1981896.2019v24n49p320>

ANGULO, S. C., TEIXEIRA, C. E., CASTRO, A. L. D., NOGUEIRA, T. P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, p. 299-306, 2011.

ANGULO, S.C. Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção de demolição reciclados. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação Mestrado, 2000. 155p.

BATAGUASSUENSE. Reabilitação da Ponte Hélio Serejo na BR-267 em Bataguassu atinge 70% de conclusão. Bataguassuense, 2025. Disponível em: <https://bataguassuense.com/noticia/4383/reabilitacao-da-ponte-helio-serejo-na-br-267-em-bataguassu-atinge-70-de-conclusao>. Acesso em: 8 marc. 2025.

BERNARDO, M. S. Gestão de resíduos sólidos da construção civil: uma abordagem sustentável. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BONILHA, Y. C.. Estudo do uso de agregado reciclado de concreto da ponte rodoviária Hélio Serejo na produção de concreto usinado. 2022. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de

Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2022. Disponível em:
<<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/235551>>. Acesso em: 8 marc. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.610, de 10 de abril de 2012. Denomina Ponte Hélio Serejo a ponte sobre o rio Paraná, localizada na BR-267, na divisa entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 70, p. 1, 11 abr. 2012. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12610.htm. Acesso em: 10 marc. 2025.

BRASIL. Lei nº 192, de 27 de maio de 2021. Presidente Epitácio, SP. 27 mai. 2021.

BRASIL. Lei nº 2.589, de 10 de março de 2015. Presidente Epitácio, SP. 10 mar. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 136, p. 95–96, 17 jul. 2002.

Disponível em:

https://conama.mma.gov.br/?id=305&option=com_sisconama&task=arquivo.download. Acesso em: 10 marc. 2025.

CAMILA A E, Ana E P G A J, Lia L P, Gladis C, Patrícia S P F 2022. Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária. revista Matéria, v.27, 1, e202147087.

CORDEIRO, T. C. C. et al. Manual de construção com solo-cimento: tecnologia alternativa de moradia popular. São Paulo: Ed. IPT, 2004.

DANTAS, F. P. Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra tratado em substituição parcial ao agregado miúdo mineral na fabricação de blocos de concreto para alvenaria de vedação e como elementos de enchimento para pré-lajes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, 2004.

DANTAS, Nájela Kamilla Paula. Estudo do comportamento de tijolos de solo-cimento com substituição de solo por resíduos da construção civil. 2020. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO, 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo: Manual de Métodos de Análise de Solo, Brasília, DF, 2017.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Building Savings: Strategies for Waste Reduction of Construction and Demolition Debris from Buildings. EPA530-K-00-001. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2000. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-03/documents/cd2.pdf>. Acesso em: 20 janeiro de 2024.

FERRAZ, A. L. N. Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento. 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2004.

FERREIRA JÚNIOR, S. Produção de blocos de concreto para alvenaria – Prática recomendada. Boletim Técnico 103. São Paulo: ABCP, 1995.

GRANDE, F.M. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. doi:10.11606/D.18.2003.tde-07072003-160408. Acesso em: 2025-03-18.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. Earth construction: a comprehensive guide. London: Intermediate Technology Publications, 1994.

IMPARCIAL. Ponte Hélio Serejo completa 50 anos de história. Jornal O Imparcial, 21 ago. 2015. Disponível em: <https://www.imparcial.com.br/noticias/ponte-helio-serejo-completa-50-anos-de-historia,6151>. Acesso em: 8 marc. 2025.

ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2010.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-27072022-082553/>.
Acesso em: 2025-03-18.

JOHN, V. M. Materiais de construção e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2000.

JOHN, V. M. Materiais de construção e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2007.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LIMA, C. de. Produção de concreto com a incorporação do agregado reciclado de resíduos de concreto, 2024, pg 108-127, Cap. 7, Livro Materiais de Engenharia, doi 10.37885/231215370, ed. Crossref.

LUCAS C M, Beatriz T C 2023. Tijolos ecologicos de solo-cimento: avaliação do desempenho mecânico do tijolo utilizando diferentes traços com solos da região serrana do estado do rio de janeiro. Revista UNIFESO – Caderno UNIFESOTEC v.1, 1, Teresópolis.

MAIA, P. S., CARVALHO, M. V. S., JUNIOR, L. A. S., SALLES, P. V. Resistência à compressão de concretos com agregados reciclados provenientes de construção e demolição: revisão de literatura. Revista Engenharia de Interesse Social, v. 6, n. 7, p. 51-74, 2021.

MILANI, A. L. Manual do Solo-Cimento: Produção de Tijolos e Blocos para Alvenaria. São Carlos: EdUFSCar, 2005.

MIRANDA, E.A.. Obras de Artes Especiais. Presidente Epitácio: Faculdade de Presidente Epitácio. Trabalho de Conclusão de Curso, 2021.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R. Técnicas de construção com terra. Rio de Janeiro: BNDES, 2009.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2016.

PACHECO, T. C. Diagnóstico da gestão de resíduos na construção civil: comparação de obras no Rio de Janeiro visando a certificação LEED e obras sem certificação. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -

Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Eco-efficient construction and building materials research under the EU framework programme Horizon 2020. *Construction and Building Materials*, v. 51, p. 151–162, 2011.

POON, C. S.; CHAN, D. The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 50, n. 3, p. 293–305, 2007.

REVISTA O EMPREITEIRO. Ponte Maurício Joppert, hoje Hélio Serejo, em homenagem a um. *Revista O Empreiteiro*, ed. 523, 2012. Disponível em: https://revistaoe.info/wp-content/uploads/2019/12/OE_523_SITE.pdf. Acesso em: 8 marc. 2025.

SANTOS, E. C. G. Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado. 2007. 168 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SANTOS, M.P. dos; SAMPAIO, C. Utilização de agregados reciclados em artefatos de concreto: uma abordagem técnica e ambiental. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 37, n. 2, p. 45–52, 2019.

SEGANTINI, A. A. da S. Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP. Campinas: FEAGRI, UNICAMP. Tese de Doutorado, 2000. 176p.

SHEN, L. Y.; TAM, V. W. Y.; TAM, C. M.; DREW, D. Mapping Approach for Examining Waste Management on Construction Sites. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 130, n. 4, p. 472–481, 2004. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282004%29130%3A4%28472%29>. Acesso em: 10 marc. 2025.

SILVA, S. R. da. Tijolos de solo-cimento reforçados com resíduos de cerâmica vermelha. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUDB->

8C5PAL/1/tijolos_de_solo_cimento_refor_ado..._sandra_regina_da_silva.pdf.

Acesso em: 2025-03-18.

SKOYLES, E. R. Waste Prevention on Site. London: CIRIA, 1987.

STRIEDER, H. L.; et al. Performance evaluation of pervious concrete pavements with recycled concrete aggregate. In: Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção: Circularidade e Sustentabilidade, [S. l.], 2022.

TANGO, C. E. S. Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 1984.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2001.

TULADHAR, R.; MARSHALL, A.; SIVAKUGAN, N. Use of recycled concrete aggregate for pavement construction. In: Advances in Construction and Demolition Waste Recycling. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 181–197.

ZORDAN, S.E.; JOHN, W.M. Metodologia de avaliação do potencial de reciclagem de resíduos. São Paulo: EPUSP, Boletim Técnico, 2004. 11p.

ZORDAN, S. E. Utilização de entulho como agregado na produção de concretos. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ANEXOS

ANEXO I - Resultado do Ensaio Dimensional – TRAÇO (TOE) e (TARC1)

ENSAIO DIMENSIONAL - TRAÇO ORIGINAL (TOE)												
Local:	Rua José Ramos Júnior, nº 27-50, Instituto Federal de São Paulo, Campi de Presidente Epitácio											
Data:	26.09.24				LOTE: TOE							
RESULTADO DO ENSAIO DIMENSIONAL - TRAÇO ORIGINAL (TOE) - 28 DIAS												
Corpo de Prova	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
CTOE1	250,00	250,00	252,00	250,67	128,00	128,00	128,00	128,00	70,00	71,50	72,00	71,17
CTOE2	250,00	250,00	250,00	250,00	128,00	128,00	128,00	128,00	70,00	70,00	70,00	70,00
CTOE3	254,00	253,00	253,00	253,33	128,00	128,00	128,00	128,00	72,00	72,00	72,00	72,00
CTOE4	251,00	252,00	252,00	251,67	128,00	128,00	128,00	128,00	73,00	73,00	74,00	73,33
CTOE5	251,00	252,00	252,00	251,67	126,00	127,00	127,00	126,67	70,00	73,00	70,00	71,00
CTOE6	252,00	251,00	253,50	252,17	128,00	128,00	128,00	128,00	70,00	70,00	70,00	70,00
CTOE7	251,00	251,00	251,00	251,00	126,00	126,00	126,00	126,00	71,00	71,00	71,00	71,00
CTOE8	251,00	251,00	251,00	251,00	126,00	126,00	126,00	126,00	71,00	71,00	72,00	71,33
CTOE9	252,00	251,00	251,00	251,33	125,00	127,00	126,00	126,00	71,00	70,00	70,00	70,33
CTOE10	251,00	251,00	251,00	251,00	126,00	126,00	126,00	126,00	70,00	71,00	71,00	70,67
MÉDIA DO COMPRIMENTO				251,38 ± 0,91	MÉDIA DA LARGURA			127,07 ± 1,00	MÉDIA DA ALTURA			71,08 ± 1,00

ANEXO II - Resultado do Ensaio de Absorção utilizando o traço original (TOE) e (TARC1)

ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA - TRAÇO ORIGINAL (TOE)			
Local:	Rua José Ramos Júnior, nº 27-50, Instituto Federal de São Paulo, Campi de Presidente Epitácio		
Data:	26.09.24	LOTE:	TOE
RESULTADOS - ABSORÇÃO DE ÁGUA - 28 DIAS			
Corpo de Prova	$\text{Absorção (\%)} = \frac{M_{\text{úmido}} - M_{\text{seco}}}{M_{\text{seco}}} \times 100$		
	Mseco - kg	Múmido - kg	A (%)
CPTOE 1	3,158	3,596	13,87%
CPTOE 2	3,198	3,662	14,51%
CPTOE 3	3,200	3,666	14,56%
Média da Absorção de Água			14,31%

Tabela 10: Resultado do Ensaio de Absorção utilizando o traço original (TOE)

Fonte: O Autor

ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA - TRAÇO COM ADIÇÃO DE RCC (TARC 1)			
Local:	Rua José Ramos Júnior, nº 27-50, Instituto Federal de São Paulo, Campi de Presidente Epitácio		
Data:	26.09.24	LOTE:	TARC 1
RESULTADOS - ABSORÇÃO DE ÁGUA - 28 DIAS			
Corpo de Prova	$\text{Absorção (\%)} = \frac{M_{\text{úmido}} - M_{\text{seco}}}{M_{\text{seco}}} \times 100$		
	Mseco - kg	Múmido - kg	A (%)
CPTARC 1	3,242	3,710	14,44%
CPTARC 2	3,176	3,670	15,55%
CPTARC 3	3,124	3,632	16,26%
Média da Absorção de Água			15,42%

Tabela 11: Resultado do Ensaio de Absorção utilizando o traço com adição do ARC (TARC 1)

Fonte: O Autor

ANEXO III - resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 7 dias do Traço (TOE) e (TARC1)

RESULTADO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES - TRAÇO ORIGINAL (TOE) - 7 DIAS									
Local:	Rua José Ramos Júnior, nº 27-50, Instituto Federal de São Paulo, Campi de Presidente Epitácio								
Data:	05.09.24				LOTE: TOE				
Corpo de Prova	Face de Trabalho				Resistência à Compressão				
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga de Ruptura		Tensão (Mpa)	Média (Mpa)	DESVIO PADRÃO
					(Kgf)	(N)			
CPTOE7 - 1	127,50	125,60	163,00	16014,00	1294,00	12689,81	0,79	0,86	± 0,09
CPTOE7 - 2	124,40	128,30	162,00	15960,52	1311,00	12856,52	0,81		
CPTOE7 - 3	132,60	129,50	164,00	17171,70	1378,00	13513,56	0,79		
CPTOE7 - 4	127,60	122,95	158,00	15688,42	1649,00	16171,17	1,03		
CPTOE7 - 5	127,75	126,85	160,00	16205,09	1577,00	15465,09	0,95		
CPTOE7 - 6	123,65	127,10	157,00	15715,92	1387,00	13601,82	0,87		
CPTOE7 - 7	127,60	123,10	160,00	15707,56	1297,00	12719,23	0,81		

Tabela 12: resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 7 dias do Traço TOE
Fonte: O Autor

RESULTADO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES - TRAÇO COM ADIÇÃO DE ARC (TARC 1) - 7 DIAS									
Local:	Rua José Ramos Júnior, nº 27-50, Instituto Federal de São Paulo, Campi de Presidente Epitácio								
Data:	05.09.24				LOTE: TARC 1				
Corpo de Prova	Face de Trabalho				Resistência à Compressão				
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga de Ruptura		Tensão (Mpa)	Média (Mpa)	DESVIO PADRÃO
					(Kgf)	(N)			
CPTARC7 - 1	127,70	126,90	165,00	16205,13	1573,00	15426,11	0,95	0,96	± 0,10
CPTARC7 - 2	125,00	126,20	159,00	15775,00	1513,00	14837,70	0,94		
CPTARC7 - 3	126,35	127,00	165,00	16046,45	1716,00	16828,48	1,05		
CPTARC7 - 4	127,70	127,20	160,00	16243,44	1522,00	14925,96	0,92		
CPTARC7 - 5	127,70	127,70	164,00	16307,29	1420,00	13925,66	0,85		
CPTARC7 - 6	122,70	122,00	161,00	14969,40	1294,00	12690,01	0,85		
CPTARC7 - 7	122,95	127,45	158,00	15669,98	1797,00	17622,83	1,12		

Tabela 13: resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 7 dias do Traço TARC 1.
Fonte: O Autor

ANEXO IV - resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias do Traço (TOE) e (TARC1)

RESULTADO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES - TRAÇO ORIGINAL (TOE) - 28 DIAS									
Local:	Rua José Ramos Júnior, nº 27-50, Instituto Federal de São Paulo, Campi de Presidente Epitácio								
Data:	26.09.24				LOTE: TOE				
Corpo de Prova	Face de Trabalho				Resistência à Compressão				
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga de Ruptura		Tensão (Mpa)	Média (Mpa)	DESVIO PADRÃO
					(Kgf)	(N)			
CPTOE28 - 1	126,20	127,00	166,00	16027,40	1573,00	15426,11	0,96	1,13	± 0,25
CPTOE28 - 2	122,50	127,20	167,00	15582,00	1556,00	15259,39	0,98		
CPTOE28 - 3	128,10	127,60	170,00	16345,56	1581,00	15504,56	0,95		
CPTOE28 - 4	128,00	127,70	169,00	16345,60	1818,00	17828,77	1,09		
CPTOE28 - 5	122,70	127,60	170,00	15656,52	2207,00	21643,62	1,38		
CPTOE28 - 6	127,95	127,90	167,00	16364,81	2646,00	25948,81	1,59		
CPTOE28 - 7	121,40	127,60	170,00	15490,64	1530,00	15004,41	0,97		

Tabela 14: resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias do Traço TOE
Fonte: O Autor

RESULTADO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES - TRAÇO COM ADIÇÃO DE ARC (TARC 1) - 28 DIAS									
Local:	Rua José Ramos Júnior, nº 27-50, Instituto Federal de São Paulo, Campi de Presidente Epitácio								
Data:	26.09.24				LOTE: TARC 1				
Corpo de Prova	Face de Trabalho				Resistência à Compressão				
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga de Ruptura		Tensão (Mpa)	Média (Mpa)	DESVIO PADRÃO
					(Kgf)	(N)			
CPTARC28 - 1	127,80	126,35	165,00	16147,53	1894,00	18574,09	1,15	1,25	± 0,22
CPTARC28 - 2	125,50	127,45	166,00	15994,98	1919,00	18819,26	1,18		
CPTARC28 - 3	129,40	134,15	170,00	17359,01	1801,00	17662,06	1,02		
CPTARC28 - 4	125,00	128,00	165,00	16000,00	2004,00	19652,84	1,23		
CPTARC28 - 5	127,20	131,80	167,00	16764,96	1860,00	18240,66	1,09		
CPTARC28 - 6	127,00	125,70	168,00	15963,90	2283,00	22388,94	1,40		
CPTARC28 - 7	127,00	124,60	167,00	15824,20	2706,00	26537,22	1,68		

Tabela 15: resultado de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias do Traço TARC 1
Fonte: O Autor