



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TILOJO SOLO CIMENTO COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MANGANÊS DO
SUDESTE PARAENSE**

ANTONIO CARLOS SANTOS DO NASCIMENTO

**BELÉM/PA
2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TILOJO SOLO CIMENTO COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MANGANÊS DO
SUDESTE PARAENSE**

ANTONIO CARLOS SANTOS DO NASCIMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo

Belém/PA

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Nascimento, Antonio Carlos Santos, 1989-
Tijolo solo cimento com adição de rejeito de
manganês do sudeste paraense / Antonio Carlos Santos
Nascimento. - 2015.

Orientador: Alcebíades Negrão Macêdo.
Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Belém, 2015.

1. Materiais de construção. 2. Solo -
Cimento. 3. Tijolos - Fabricação. 4. Ecologia
industrial. I. Título.

CDD 23. ed. 691



TIJOLO SOLO CIMENTO COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MANGANÊS DO SUDESTE PARAENSE

AUTOR:

ANTONIO CARLOS SANTOS DO NASCIMENTO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: / /

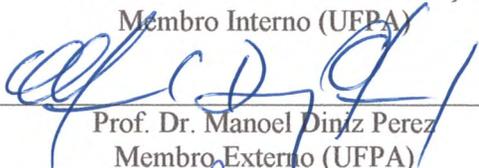
BANCA EXAMINADORA:



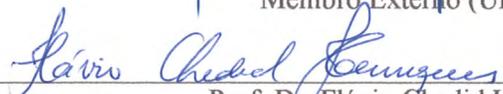
Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macedo
Orientador (UFPA)



Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Membro Interno (UFPA)



Prof. Dr. Manoel Diniz Perez
Membro Externo (UFPA)



Prof. Dr. Flávio Chedid Henriques
Membro Externo (UFRJ)

Visto:

Prof. CLAUDIO JOSÉ CAVALCANTE BLANCO, Ph.D.
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

In memória: de meu avô que, sem eu perceber, deu as referências para a minha vida, de “Tio Cunha”, que consolidou o ideal de ser engenheiro em mim e de “TuTy”, minha diletta amiga que em sua curta jornada deu-me apoio para o resto dos meus dias.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e professor Doutor Alcebíades Negrão Macêdo pelo aceite de orientar-me.

A professora Doutora Risete Maria Queirós de Leão Braga pela crucial ajuda para participar deste programa de pós-graduação.

Aos professores Doutores: André Augusto Azevedo Montenegro Duarte, Bernardo Borges Pompeu Neto, Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro e Marcelo de Souza Picanço, pelos conhecimentos transmitidos, bem como pelas sugestões valiosas para a melhoria deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Flávio Chedid Henriques pelo aceite de participar de minha banca de defesa e seus profícuos comentários sobre a luta pela moradia que enriquecerão sobremaneira este trabalho.

Prof. Dr. Manoel Diniz Peres pelo aceite de participar de minha banca e meticulosa contribuição para as devidas correções dos textos e resultados.

Ao PPGEC e a CAPES pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa na Universidade Federal do Pará, e demais lugares que tive de ir para consolidar este estudo.

Ao estimados amigos, Eng. Civil Elton das Chagas Costa, pelo apoio holístico, como ainda no incansável auxílio na resolução dos dilemas técnicos deste trabalho e a professora Doutora Giselle Barata Costa, sempre disposta a solucionar os dilemas logísticos e teóricos deste trabalho.

Ao, na época, técnico do Laboratório de Construção Civil e Materiais da Faculdade Metropolitana de Marabá, Sr. José Charles Moraes de Oliveira, no precioso auxílio para realização dos ensaios de caracterização dos materiais e pelas ajudas referentes ao progresso para a finalização do trabalho.

Aos colegas da Faculdade Metropolitana de Marabá, na pessoa da Professora Coordenadora Eng.^a Civil Cristiane Costa da Silva Ferreira, pela sempre frequente compreensão e apoio nesta jornada.

Ao Sr. Antonio Maurício Theorodo, proprietário da Dorim Construções, sempre disposto no auxílio a este trabalho, disponibilizando suas instalações para realização dessa pesquisa.

À Juscelino dos Passos de Oliveira Junior, pelo dileto companheirismo nos altos e baixos da vida acadêmica, desde dos idos da iniciação científica a esta pós-graduação. Com paciência, sendo companheiro, amigo, assistente, e o que for preciso.

Agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

O Jovem do interior do Estado do Pará é conformado com sua situação, vive num mundo limitado, sem uma educação formal à altura, recebe pouca informação do meio externo e não possui grandes aspirações. Contudo, tem acesso a uma cultura própria que recebeu de seus ancestrais: de retirar seu sustento dos recursos que a natureza dá.

(Wagner Figueira – especialista em ecoturismo)

In: publicado no dia 03 de dezembro de 2013.

<https://www.facebook.com/groups/cachoeiradoarari/> acesso em dia 04 de janeiro de 2014

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Madeira que será utilizada para produzir a queima dos tijolos cerâmicos. Rio Cariá, Abaetetuba, Estado do Pará, Brasil.	3
Figura 2 Fluxograma do processo de exploração do minério de manganês. (RODRIGUES, 2013: 23).....	14
Figura 3 Imagem GeoEye da Serra Buritirama, local onde é extraído o minério e acumula-se o rejeito. A seta vermelha aponta para umas das áreas de acumulação do rejeito. Fonte: GeoEye, 2007.	15
Figura 4 Igreja de São Sebastião (Planaltina – Distrito Federal, Brasil), bicentenária começou a ser construída em 1810, em adobe, como pagamento de uma promessa.	22
Figura 5 Tijolo maciço de solo-cimento. Fonte: Autor, 2014.	25
Figura 6 Tijolo vazado de solo-cimento. Fonte: Autor, 2014.	26
Figura 7 Bloco maciço de solo-cimento. Fonte: Autor, 2014.	26
Figura 8 Bloco maciço de solo-cimento. Fonte: Autor, 2014.	27
Figura 9 Fluxograma da fabricação do tijolo solo-cimento. Fonte: Adap. Pisani (2006).	30
Figura 10 Fluxograma de ensaios realizados neste trabalho.....	37
Figura 11 Determinação da curva granulométrica ideal. Fonte: elaborado a partir do referencial bibliográfico Silva (2005:68).	40
Figura 12 Moldes em PVC e procedimento de preparação dos corpos-de-prova. .	48
Figura 13 Câmara de envelhecimento acelerado.....	52
Figura 14 Câmara de envelhecimento acelerado com dois tijolos solo cimento.	53
Figura 15 Difratoograma do rejeito de manganês.....	55
Figura 16 Ensaio de retração linear com o traço que continha 0,1 % de rejeito. ..	58
Figura 17 Tijolo solo cimento sem rejeito, note-se a quantidade de ar incorporado que a é liberado ao imergi-lo para o ensaio.....	60
Figura 18 Tijolos solo cimento com rejeito preparados para serem submetidos ao ensaio de compressão.	61

Figura 19 Gráfico da compressão simples dos tijolos solos cimento com os valores de MPa aos 7 e 28 dias.....	62
Figura 20 Tijolo solo cimento submetido a ciclo de exposição a UVB.....	63
Figura 21 Com os resultados do ensaio de envelhecimento expresso em função da porcentagem de massa perdida em função do tempo decorrido em dias.	64
Figura 22 Rejeito sendo peneirado.	75
Figura 23 Solo sendo peneirado.	76
Figura 24 Mistura ao solo do cimento juntamente com o rejeito mineral.	77
Figura 25 Homogeneização da mistura.	78
Figura 26 Pulverização da água.	79
Figura 27 Colocação da “farofa” da prensa hidráulica, detalhe do molde na prensa.....	80
Figura 28 Tijolos solo-cimento com rejeito mineral, após prensagem.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição mineralógica qualitativa e composição química do minério de manganês da min do Azul em Carajás, Pa. Os minerais estão ordenados em ordem decrescente conforme concentração (PAIXÃO et al, 1995).....	13
Tabela 2 Tipos e dimensões nominais, dimensões em milímetros.....	27
Tabela 3 Teor de constituintes que os solos devem apresentar.	28
Tabela 4 Características dos solos para fabricação de bloco e tijolo solo-cimento.....	29
Tabela 5 Traços que serão utilizados.....	48
Tabela 6 Análise química.	55
Tabela 7 Teor de umidade e massa específica dos solos, conforme traços.	56
Tabela 8 Limites de Atterberg, sem adição e com as adições do rejeito.	56
Tabela 9 Análise granulométrica do solo, do rejeito e da mistura solo-cimento (SC) com o rejeito (SCR).....	57
Tabela 10 Características dos solos para produção de tijolo solo-cimento.	57
Tabela 11 Resultados do ensaio de retração linear.....	58
Tabela 12 Porcentagens de absorção de água para o tijolo solo cimento sem adição é com as proporções de adição de rejeito.	59
Tabela 13 Resultados do ensaio de compressão simples para corpos de prova cilíndricos e para tijolos solos cimento com e sem rejeito mineral.	61
Tabela 14 Resultados do ensaio de compressão simples para cada amostra ensaiada. ...	82
Tabela 15 Valores por amostra de tijolo solo cimento para cada traço.	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS DO TRABALHO	5
2.1	OBJETIVO GERAL.....	5
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1	QUESTÃO HABITACIONAL: AS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	6
3.2	DO MANGANÊS AO REJEITO MINERAL	11
3.3	CONTEXTO GEOLÓGICO E PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	17
3.4	O SOLO COM INSUMO CONSTRUTIVO.....	19
3.4.1	Tijolo ou Bloco solo cimento?	24
3.4.2	Métodos de dosagem da mistura solo-cimento	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1	MATERIAIS	35
4.2	METODOLOGIA.....	35
4.2.1	Caracterização química e mineralógica do rejeito	38
4.2.2	Coleta e preparação das amostras de solo.....	40
4.2.3	Caracterização do solo	41
4.2.3.1	Teor de umidade	41
4.2.3.2	Massa específica dos sólidos	42
4.2.3.3	Limites de Consistência	42
4.2.3.4	Análise granulométrica	43
4.2.3.5	Procedimento do ensaio de retração	44
4.2.4	Ensaio de compressão nos corpos-de-prova de solo	45
4.2.4.1	Dimensão dos corpos-de-prova de cilíndricos	45

4.2.4.2	Dosagem dos corpos-de-prova.....	46
4.2.4.3	Preparação dos corpos-de-prova.....	48
4.2.4.4	Cura.....	49
4.2.5	Ensaio de compressão em tijolos solo-cimento.....	49
4.2.6	Análise dimensional.....	50
4.2.7	Procedimento do ensaio de absorção de água.....	50
4.2.8	Ensaio de envelhecimento.....	50
4.2.8.1	Construção da câmara de envelhecimento acelerado.....	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES PRELIMINARES.....	54
5.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DO REJEITO.....	54
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	55
5.2.1	Teor de umidade e massa específica.....	56
5.2.2	Limites de Atterberg.....	56
5.2.3	Análise Granulométrica.....	57
5.2.4	Retração linear.....	57
5.3	ABSORÇÃO.....	58
5.4	ANÁLISE DIMENSIONAL.....	60
5.5	COMPRESSÃO SIMPLES.....	60
5.6	ESTUDO DA PERDA DE MASSA CAUSADA PELO ENVELHECIMENTO ACELERADO.....	62
6	CONSIDERAÇÕES.....	65
	REFERÊNCIAS.....	67
	APÊNDICE 1.....	75
	APÊNDICE 2.....	82

RESUMO

NASCIMENTO, A. C. S. (2015). *Tijolo solo cimento com adição de rejeito de manganês do sudeste paraense*. Belém, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.

A questão habitacional, no tocante aos insumos construtivos utilizados, urge por uma mudança de paradigma que propicie a adequação do projeto, tanto as especificidades locais, como também a prática de reprodução no homem em seu território. Considerando a Amazônia que, como as demais áreas do país, passa por uma intensa densificação das cidades, ainda é palco da ação, nem sempre positiva, dos grandes projetos minerais, que no seu bojo, trazem a questão da deposição do rejeito para somar as problemáticas locais. Assim, este trabalho propõe como via de solução para a problemática do rejeito mineral e insumo construtivo: o tijolo solo-cimento com adição de rejeito mineral, rejeito este oriundo da exploração de manganês do sudeste do Pará. Pelo fato de o tijolo solo cimento com rejeito mineral de manganês atender aos requisitos definidos pela norma NBR 8491/2012, apresentado valores de compressão simples superiores individualmente a 1,75 MPa, valores de absorção de água inferiores à 20%, e insignificante variação dimensional, ele ainda demonstra sua adequação as principais intempéries da região – radiação ultravioleta e umidade –, devido aos resultados obtidos no ensaio em câmara de envelhecimento acelerado. Os resultados mostram-se promissores, e por além de se adequar a normativa, não interferir significativamente no processo produtivo já desenvolvido, possui grandes possibilidades de adesão, contribuindo para construção de um novo paradigma de desenvolvimento.

..

Palavras-Chave: Tijolo solo cimento, Rejeito de Manganês, Habitação de Interesse Social.

ABSTRACT

NASCIMENTO, A. C. S. (2015). *Soil cement brick with addition of manganese tailings southeast of Pará*. M.Sc. Dissertation – Masters Degree Program in Civil Engineering, Institute of Technology, Federal University of Para, Brazil.

The housing issue, with regard to constructive inputs used, it is urgent for a paradigm shift that provides the adequacy of the project, many local specificities, as well as playing practice in man in its territory. Considering the Amazon that, like other areas of the country goes through an intense densification of cities, it is still the scene of action, not always positive, large mining projects, which in its wake, bring the issue of disposal of the waste to add the local issues. This work proposes as a solution path for the problem of mineral waste and constructive input: the soil-cement with the addition of mineral waste brick, reject it originates from the southeast of Pará manganese exploration Because the soil with cement brick. waste mineral manganese meet the requirements set by the NBR 8491/2012, presented compressive values above individually to 1.75 MPa, water absorption values lower than 20%, and negligible dimensional change, it still demonstrates its suitability major weather of the region - ultraviolet radiation and humidity - due to the results obtained in the accelerated aging test chamber. The results show promise, and beyond to suit the rules do not interfere significantly in the production process already developed, has large membership possibilities, contributing to building a new paradigm of development.

Keywords: Soil cement brick , Reject Manganese , Social Housing .

1 INTRODUÇÃO

O habitar é uma necessidade básica do ser humano e a maneira como é satisfeita nas sociedades é indicativo da forma de organização social na qual se estrutura (ENGELS, 2008). O direito à moradia digna, que permita este habitar é assegurado pela Constituição Federal de 1988 e regulamentado pela Lei Federal 10.257, de 10 de Julho de 2001. Mesmo sendo um requisito básico para o pleno exercício da cidadania, mais de uma década depois da regulamentação, tal direito continua um desafio de implementação.

A guisa de uma tentativa de vencer este desafio, políticas públicas de Estado da última década foram desenvolvidas, dentre vários resultados, tiveram como retrospecto um incentivo maciço a indústria da construção civil, principalmente, a construção de habitações para as classes, ditas, menos favorecidas, as intituladas habitações de interesse social.

Por todo território nacional afloraram empreendimentos construtivos financiados direta ou indiretamente pelo governo, construindo habitações para as populações de baixa renda¹, geralmente, dentro de uma mesma concepção arquitetônica e construtiva, independentemente da parte da federação brasileira que estivessem sendo construídas, aparentemente, ignorando as especificidades de um país de dimensões continentais.

Afinal, teriam todas as demais partes do Brasil, igual fornecimento de matéria prima, para que um projeto pudesse ser replicado em todo o seu território de forma praticamente igual?

No Brasil, em áreas como a Amazônia, o isolamento geográfico de diversas regiões ainda é uma realidade, porém, isolamento geográfico, não é sinônimo de inexistência de ocupação humana, afinal, a região amazônica é palco da exploração do setor mineral, o qual causa alterações socioeconômicas, como a expansão e/ou densificação das grandes cidades. Sendo que essas alterações na densidade populacional, podem ser percebidas até nas cidades de médio porte, principalmente, naquelas que possuem seu crescimento estimulado por sediarem os grandes projetos de exploração mineral.

¹ Pode-se considerar pertencentes a esse grupo quem vive com menos de US\$8 por dia, de acordo com a UNDP (United Nations Development Programme). De acordo com o DECRETO Nº 6.135, DE 26 DE JUNHO DE 2007 no seu artigo 4º inciso II alínea a) aquela com renda familiar mensal **per capita** de até meio salário mínimo; ou b) que possua renda familiar mensal de até três salários mínimos

A implementação desses grandes projetos na Amazônia (dentre outros fatores) estimulou essas alterações nas urbes amazônicas, dentre as quais, a necessidade de novas construções para absorverem os fluxos migratórios de trabalhadores. Assim, nos últimos anos de forma empírica, pode-se perceber a verticalização e horizontalização² na região, representando uma demanda crescente por insumos construtivos, dentre os quais, pode ser citado o tijolo cerâmico calcinado.

Outra questão ligada à exploração mineral que causa alterações de dinâmica ambiental, reside no fato que, devido aos seus processos industriais intrínsecos, um montante significativo de rejeitos é gerado, sem aproveitamento, acumula-se na região. Como é o caso do rejeito da exploração do manganês no sudeste do estado do Pará, o qual persiste até então sem destinação específica de uso.

No bojo dessa problemática pesa o efeito das discussões a respeito da temática ambiental, desde o Relatório Brundtland³ até o RIO + 20⁴, sobre a construção civil teve como efeito uma busca por tecnologias mais limpas, que utilizem os recursos de forma dita sustentável, ou seja, garantidos que tais recursos estejam presentes para as próximas gerações. Sobre a dinâmica da mineração, reverbera como uma latente preocupação quanto a destinação dos rejeitos da exploração mineração.

Com tal cenário, ao edificar habitações para populações de baixa renda, dever-se-ia buscar-se soluções construtivas de baixo custo e baixo impacto ao meio ambiente, e tratando-se de Amazônia, deveriam os projetos construtivos primarem por insumos que causassem

² Verticalização e horizontalização, dentro da ciência do ordenamento territorial, são respectivamente, o processo de aumento do número de edifícios de grande porte na cidade, com gabaritos superiores a pelo menos cinco andares, e a expansão da construção horizontal, ou seja, construções térreas, com poucos pavimentos, conjuntos e condomínios (horizontais), resultando na maioria das vezes em novos bairros.

³ Em 1987, o documento *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum) ou, como é bastante conhecido, *Relatório Brundtland*, apresentou um novo olhar sobre o desenvolvimento, definindo-o como o processo que “satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. É a partir daí que o conceito de desenvolvimento sustentável passa a ficar conhecido. (In: <http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/91> , acesso dia 06 de janeiro de 2014).

⁴ Como é conhecida a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, acontecerá no Rio de Janeiro, Brasil, em junho de 2012 – vinte anos após o marco que representou a Cúpula da Terra (Rio 92). A Rio+20 representa também uma oportunidade de olharmos para o futuro, para o mundo que queremos ter daqui a 20 anos. (In: <http://www.ofuturoquenoseremos.org.br/about.php>. Acesso dia 06 de janeiro de 2014).

menores impactos ao meio e que abordasse a questão dos rejeitos da região, que poderiam ser utilizados no processo de transformação da indústria da construção civil. Afinal, o insumo frequentemente utilizado, os tijolos cerâmicos calcinados, dentro de seu processo de produção, que necessitam ser levados a altas temperaturas, o que muitas vezes representa a utilização de vegetação nativa para alimentar os fornos para sua calcinação (Figura 1) não deveriam figurar como alternativa principal. Analisando-o por esse prisma, não seria uma opção ecologicamente adequada para diversas partes da região amazônica. Se não se pode dizer que “deveria”, ao menos, poderia, ser substituído por materiais menos passíveis de causarem degradação ambiental no seu fabrico.



Figura 1 Madeira que será utilizada para produzir a queima dos tijolos cerâmicos. Rio Cariá, Abaetetuba, Estado do Pará, Brasil.

Como alternativa emerge o tijolo solo-cimento como um insumo que melhor atende as premissas da sustentabilidade em comparativo ao tijolo cerâmico calcinado, sendo que em seu processo de fabricação ainda se poderá utilizar os rejeitos minerais que se acumulam na região.

O tijolo solo-cimento, por ser produzido por prensagem, além de ser um processo tecnológico simples, não necessita de queima, sendo constituído de solo, material facilmente obtido, e cimento, com relativa facilidade de aquisição, logo, um processo menos nocivo ao meio ambiente do que o tijolo cerâmico calcinado. Sendo que, é possível produzir o tijolo solo cimento em loco, e por trata-se de um composto, poder-se-ia agregar a ele outros materiais, como por exemplo, um rejeito mineral.

Outro diferencial do tijolo solo cimento é que seu processo produtivo é simples, e pode ser inclusive manual, sendo o maquinário de baixo custo, e com menor risco de

acidentes, em comparativo com maquinário utilizado na fabricação do tijolo cerâmico calcinado. Devido a esta simplicidade, contribuiria de forma significativa como catalizador da participação social no processo de construção das habitações de interesse sociais.

Logo, o tijolo solo-cimento com adição de rejeito mineral poderia contribuir para construção de um novo paradigma, que urge por ser formulado, com materiais que considerem processos menos nocivos ao meio ambiente e com tecnologia que permitam que os próprios moradores possam participar do processo construtivo, e quem sabe assim, minimizar a massificação do projeto, que caracteriza de forma tão nefasta as habitações de interesse social.

Nascimento e Carvalho (2005) defendem que a discussão pode ser global, mas as ações são locais, assim, este trabalho propõe como via de solução para a problemática do rejeito mineral e insumo construtivo: o tijolo solo-cimento com adição de rejeito mineral, rejeito este oriundo da exploração de manganês do sudeste do Pará. Pelo fato de o tijolo solo cimento com rejeito mineral de manganês atender aos requisitos definidos pela norma NBR 8491/2012, demonstrando que além de ser um produto viável, por atender os requisitos normativos, ele é um insumo sustentável que pode contribuir para construção de um novo paradigma de desenvolvimento.

2 OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a adequação do tijolo solo cimento com adição de rejeito mineral, proveniente da exploração de minério de manganês do sudeste paraense, aos requisitos da norma NBR 8491/02, tornando-o uma opção ecologicamente viável para destino final desse rejeito mineral e demonstrar que devido ao fácil processo produtivo desse insumo, ele pode ser elencado como um meio para possibilitar a inserção social no processo de construção das habitações de interesse social.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Avaliar a adição de rejeito de manganês em tijolo solo-cimento submetendo o produto aos ensaios da NBR 8492:2012.
- Verificar a interferência do rejeito mineral no tijolo solo cimento quanto à adequação aos requisitos da NBR 8491:2002.
- Caracterização mineralógica básica do rejeito da exploração de manganês do sudeste paraense
- Analisar a interferência da adição do rejeito mineral no processo produtivo do tijolo solo cimento.
- Verificar a perda de finos por efeito da degradação ambiental.
- Apresentar uma alternativa de processo produtivo que oportunize a inserção social na construção de habitações de interesse social.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho versa sobre a viabilidade da utilização do tijolo solo cimento, com adição de rejeito mineral, como insumo construtivo da indústria da construção civil, especificamente para construção de habitações de interesse social.

Desse modo o primeiro item aborda a questão habitacional para entendimento inicial da importância de buscar-se soluções de materiais para essa demanda, o segundo item apresenta um material que acumula-se na região sem destinação específica que pode ser incorporado ao insumo estudado neste trabalho, o terceiro item frisa a questão ambiental inerente a problemática elencada e o quarto apresenta o objeto de estudo e evidencia-o como uma solução viável.

3.1 QUESTÃO HABITACIONAL: AS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

A questão habitacional é um dos muitos desafios presentes nas cidades brasileiras contemporâneas, em especial nas de grande porte. Trata-se de um dos temas de maior relevância na problemática das cidades, principalmente por constituir um direito básico (CANETTIERI, 2014).

Uma solução para esse dilema foram as intituladas: “Habitações de Interesse Social”. Esse termo define uma série de soluções de moradia voltadas à população de baixa renda. O termo tem prevalecido nos estudos sobre gestão habitacional e vem sendo utilizado por várias instituições e agências.

ABIKO (1995) identifica três tipos clássicos de definições desse termo, a habitação de interesse social ou simplesmente habitação social, a habitação de baixo custo e a habitação para população de baixa renda.

O termo habitação de interesse social era o originalmente utilizado pelo extinto Banco Nacional da Habitação - BNH para as habitações de programas voltados para as faixas de menor renda. Esse termo ainda prevalece segundo o autor nas várias instituições e agências da área (ABIKO, 1995).

Enquanto que os outros dois termos, habitação de baixo custo (*low-cost housing*) e habitação para população de baixa renda (*housing for low-income people*), apesar da

nomenclatura similar, podem apresentar um enfoque distinto. O primeiro termo ligado a habitação de baixo custo, mas não necessariamente para população de baixa renda, e o segundo, como o próprio nome evidencia, tem a mesma conotação de habitação de interesse social, porém, traz no seu bojo a necessidade de se definir a renda máxima das famílias ou indivíduos que poderiam ser atendidos (ABIKO, 1995).

A habitação popular não deve ser entendida meramente como um produto, mas, com uma dimensão física que resulta de um processo complexo de produção, com determinantes políticos, sociais, econômicos, jurídicos, ecológicos, tecnológicos. Este entendimento é fundamental caso se queira perseguir a solução do problema habitacional com todas as suas dificuldades e condições de contorno (ABIKO, 1995).

A habitação popular se manifesta através de 3 tipologias básicas: favelas, casas precárias de periferia e cortiços. A promoção pública na solução habitacional também é uma manifestação de habitação popular (ABIKO, 1995).

O adensamento populacional concomitante com o crescimento desordenado das cidades tem proporcionado uma série de agravante em relação à moradia. As áreas que dispõe de equipamentos públicos e infraestrutura, encontram-se adensadas e com altos valores imobiliários, por isto, via de regra, costumam ser ocupadas pela parcela da população com maior poder aquisitivo, impelindo a parcela sem poder de barganha econômico a migração para regiões mais distais da cidade.

Nestes subúrbios, mediante a fraca ou inexistente oportunidade de acesso a serviços a parcela sem poder de barganha econômico vai sobrevivendo aos processos urbanos de especulação imobiliária. Pelo menos até o início deste século, pois devido ao massivo crescimento urbano, a necessidade de novos logradouros espraiasse para além das fronteiras do centro, percebe-se com isso a verticalização de bairros até então considerados periféricos.

Seguida a essa verticalização ocorre a implementação de infraestrutura, por conseguinte, a tributação, que decreta o início de um processo de expulsão, quer seja por meios financeiros e/ou simbólicos, dos moradores que não podem arcar com os gastos necessários para manter-se nesses locais. Assim, esses agentes repelidos pela especulação, em geral, partem para prática de ocupação irregular de outras áreas da cidade, o mesmo fora de seu perímetro urbano.

Especificamente na cidade de Belém, Estado do Pará, que desde o século passado vivenciou o processo de verticalização nos bairros centrais, na virada do século já era percebido em bairros considerados de periferia o surgimento da intensificação de prédios. Com saturação desses logradouros, o mercado imobiliário voltou-se ao subúrbio. Um dos locais ícones desse fenômeno é a Rodovia Augusto Montenegro, que desde a última década do século XX tornou-se um dos eixos de expansão da especulação imobiliária.

De bucólico subúrbio da cidade, tornou-se Avenida Augusto Montenegro⁵, onde afloram toda sorte de empreendimentos construtivos, desde condomínios verticais, horizontais, a bancos, redes de supermercados e *shopping*. Até o ano de 2002, segundo relato de líder comunitário local, a área era ocupada majoritariamente, por pessoas de baixa renda, oriundas da periferia, e/ou do êxodo rural, salvo, pontuais enclaves, representados por condomínios verticais/horizontais de alto padrão, que seriam pioneiros do projeto de expansão imobiliária.

Com a intensificação do fenômeno surge a emergência por novas áreas e a especulação imobiliária volta-se para novas áreas afastadas do centro. Utilizando-se do *marketing* verde, oriundo do paradigma social da qualidade de vida relacionada a qualidade ambiental, compensando a distância pelo adicional da natureza, apropria-se dos lugares na cidade antes não considerados pelo mercado imobiliário ou reservados para especulação.

Em menos de uma década, a Avenida Augusto Montenegro sofreu inúmeras intervenções governamentais, de melhoria (criação) dos mínimos equipamentos de infraestrutura, foi palco do projeto Macrodrenagem, com construção de sistema de coleta de esgoto e águas pluviais, pavimentação de principais vias, etc. Cenário, outrora presenciado na capital paraense, quando o Igarapé das Almas, passou por uma requalificação e tornou-se *Boulevard* Doca de Souza Franco, um dos m² mais caros da cidade.

Percebe-se a similaridade do fenômeno que ocorreu *Boulevard* Doca de Souza Franco com o que ocorre na Avenida Augusto Montenegro em diversos pontos, melhoria das condições básicas de saneamento e acesso, instalação de equipamentos urbanos. Logo, pode-

⁵ Dentro do Ordenamento Territorial, o termo Rodovia é ligado extensão de pista de rodagem que fique em região de baixa densidade populacional, distanciado do centro, ou mesmo, fora do perímetro urbano. Enquanto que Avenida seria um termo atrelado a pista de rodagem em perímetro urbano, com densidade populacional significativa, inclusive com velocidade menores do que a Rodovia, e dispositivos para outras modalidades de transportes não automotivos.

se posterior que a especulação imobiliária se instaure, levando a migração da população de baixa renda para outras áreas, via de regra mais distantes.

O agravante na Av. Augusto Montenegro seria que, ela já é a área distante da cidade, então, para que região migraria a população de baixa renda, que após a intervenção urbanística não poderia mais custear a manutenção de sua permanência?

O solo disponível, ou é plenamente inapropriado à moradia e/ou espaço ainda vegetado remanescente. O que torna preocupante a dinâmica que estabelecerá nos próximos anos mediante o adensamento do local.

Os moradores são ocupantes, pois via de regra, como trata-se de área de ocupação, consolidada em maioria, são posseiros, sem direitos plenos assegurados sobre suas moradias, podendo ser removidos, seja por decisão empresarial, seja por ato governamental.

Todavia, torna-se ainda mais pertinente o questionamento que, quando essa manifestação se configura em cidades de médio e pequeno porte, não seria seus reflexos ainda mais nefasto e sua problemática ainda mais intrincada?

Os grandes projetos implementados na Amazônia seguiram um modelo de desenvolvimento “desequilibrado e corrigido” (SUDAM, 1976), sendo que este desequilíbrio, dentre várias consequências socioeconômicas e ambientais, teve como resultado o inchaço das cidades que sediam ou ficam no entorno dos grandes projetos, devido ao fluxo migratório de trabalhadores diretos e indiretos que vieram para região, tornando a oferta por moradias casa vez mais escassa, e com o fim da implementação desses grandes projetos, grandes bolsões de pobreza no entorno, tornara a questão habitacional ainda mais grave.

A correção do desequilíbrio causado por estes grandes projetos, acabou por não ser efetivada, e nas décadas seguintes o conflito e embates sociais tornaram-se latentes.

Uma tentativa de enfrentamento dessa problemática, foi o desenvolvimento em uma série de programas habitacionais estimulados e/ou patrocinados pelo estado, que primavam (e até então primam) pela massificação da moradia, passando ao largo do que seria uma moradia digna, de forma plena. Afinal, a solução da problemática fora concebida para as cidades de grande porte, com vasto fornecimento de insumos e com condições climáticas do centro econômico do Brasil.

No governo do presidente Luís Inácio Lula da Silva (2003-2010), a principal política para a habitação foi o Programa Minha Casa Minha Vida, do Ministério das Cidades, lançado

em abril de 2009 com a meta de construir um milhão de moradias, totalizando R\$ 34 bilhões de subsídios para atender famílias com renda entre 0 a 10 salários mínimos (FIX *et al*, 2009).

Além de seu objetivo social, o Programa, ao estimular a criação de empregos e de investimentos no setor da construção, também foi uma reação do governo Lula à crise econômica mundial do fim de 2008. Assim como nos outros grandes programas federais para produção de moradia (a Fundação da Casa Popular - FCP e o Banco Nacional da Habitação - BNH), a iniciativa privada é protagonista na provisão de habitações também no Programa Minha Casa Minha Vida, pois 97% do subsídio público são destinados à oferta e produção direta por construtoras privadas e apenas 3% a cooperativas e movimentos sociais (FIX *et al*, 2009).

Desse modo os projetos habitacionais se configuraram de forma massificada, com padronizações que muitas vezes, optaram por materiais que são inadequados ao conforto térmico, resultado de serem replicados em território nacional projetos semelhantes, sendo que o país possui regiões morfoclimáticas distintas.

Como citam Andrade *et al* (2004) a rigidez da alvenaria autoportante adotado pelas construtoras como principal sistema construtivo interfere diretamente nas questões de uso dos espaços internos da morada por impactar de forma severa a flexibilidade. É bastante provável que habitações de interesse social sofram modificações pelos usuários, uma vez que o projeto construtivo não fora participativo, assim, por meio de reformas poderiam eles tentarem adequar o imóvel ao seu cotidiano, mas pela rigidez do sistema construtivo, há limitações das funcionalidades das habitações, o que compromete o seu usufruto.

Vale ressaltar que o custo na construção de uma habitação de interesse social necessita ser baixo para viabilizar a oportunidade de venda destes imóveis para populações de baixa renda, mesmo com os incentivos governamentais, para manter viável financeiramente o empreendimento, logo a escolha dos materiais envolvidos é de suma importância.

Além disso, seria crucial que fosse oportunizado um material que viabilizasse uma outra via à forma massificada de se construir, pois essa, desconsidera relações simbólicas, históricas e sociais que constroem os laços de moradia e cristalização da reprodução social.

Um processo construtivo que primasse pela participação popular, poderia permitir que a habitação se adequasse ao cotidiano do habitante, e a forma mais viável economicamente é inseri-lo no processo construtivo.

O tijolo solo-cimento pelo sua facilidade tanto de produção, como de utilização para alvenaria, permitiria não apenas a participação do contemplado pela habitação de participação do processo construtivo, mas, de criar laços afetivos de patrimônio com tal habitação, e assim, minimizando as intervenções posteriores, e mesmo se tais adequações se fizessem necessárias para adequar-se a modificações da dinâmica familiar, o tijolo solo-cimento não é tão inflexível como o sistema construtivo autoportante.

Não que tal material fosse a solução derradeira, mas, ao pensar-se sobre as habitações de interesse social construídas, por exemplo, no arquipélago do Marajó, com material termicamente inadequados, que em alguns extremos, faz com que os habitantes precisem passar o dia fora de sua habitação devido ao desconforto térmico, o tijolo solo-cimento não apenas se molda enquanto sistema construtivo facilitado, como termicamente adequado para o clima equatorial.

E considerando seu caráter de composto, por permitir que outros materiais sejam a ele agregado, não apenas seria uma ferramenta útil na problemática da moradia, mas também, a outro dilema da região amazônica que é o acúmulo de rejeitos minerais.

3.2 DO MANGANÊS AO REJEITO MINERAL

O manganês é um elemento químico do grupo dos elementos de transição. Pode estar presente em mais de uma centena de minerais, seja em composições no qual ele é predominante, àqueles onde o metal participa em pequenas quantidades. O metal está distribuído em diversos ambientes geológicos e disperso em uma variedade de rochas sob a forma de óxidos, dentre os quais destacam-se: dióxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos (SAMPAIO *et al*, 2005). Os autores citam que os dióxidos constituem as mais importantes fontes comerciais do metal, destacando-se a pirolusita (MnO_2), a psilomelana e a manganita ($Mn_2O_3 \cdot H_2O$).

A Pirolusita do grego *pyro*: fogo e *louwen*: lava, em referência a seu uso para neutralizar a cor verde que o ferro confere ao vidro, é um óxido de manganês de origem secundária, ou seja, ocasionalmente formado pela oxidação de outros minerais também de manganês, desse modo, quando presente em depósitos de manganês, é, em geral, de alteração. Contudo, pode estar presente também em várias rochas, sob a forma de concentrados cristalinos.

A Psilomelana de acordo com Sampaio *et al* (2005) é um óxido hidratado contendo de 45 a 60% de Mn, porém com quantidades variáveis de bário e potássio. É muito comum sua presença em depósitos secundários, apresentando-se como uma forma coloidal de MnO₂ que supostamente absorveu impurezas, incluindo água, sódio, potássio e bário.

A Manganita, formada pela redução da pirolusita, por exemplo, pelo processo de circulação de água meteórica, em ambientes de meteorização, comuns em depósitos de argila e lateritas. Devido à ação hidrotermal de baixa temperatura, pode ser encontrada em veios, em rochas ígneas ácidas, preenchendo cavidades ou fraturas.

De acordo com as estatísticas do Sumário Mineral de 2012 do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM⁶, a produção brasileira de manganês é direcionada, primeiramente à fabricação e a exportação de concentrado, enquanto reside o consumo interno na fabricação de ferroligas.

No Brasil, o estado do Pará se destaca como maior fornecedor de manganês, sendo a principal fonte a mina de manganês do Azul, cuja concessão de exploração é de uma empresa mineradora multinacional, localizada no município de Parauapebas, que fica a 860 km da capital do estado, Belém. Segundo Sampaio e Penna (2001:46) “os estudos iniciais apontaram uma reserva total de 41,9 milhões de toneladas de minério, dos quais 11,3 milhões seria bióxido de manganês e 30,6 milhões seria minério do tipo metalúrgico”. O minério de manganês, para ser considerado do tipo metalúrgico, deve apresentar teor de 40% de Mn após o beneficiamento (SAMPAIO; PENNA, 2001).

A composição mineralógica dos principais minérios da mina de manganês do azul está representada na Tabela 1.

⁶Manganês. SANTANA, André Luiz. 2012:85. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral / Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília: DNPM, 2012.

Tabela 1 Composição mineralógica qualitativa e composição química do minério de manganês da min do Azul em Carajás, Pa. Os minerais estão ordenados em ordem decrescente conforme concentração (PAIXÃO et al, 1995).

Composição Mineralógica Qualitativa	
Minerais	Fórmula Química
Litioforita	(Li,AL)Mn ₂ (OH) ₂
Todorokita	(MN,Ca)Mn ₅ O ₁₁ .4H ₂ O
Criptomelena	KMn ₈ O ₁₆
Nsutita	Mn(O,OH) ₂
Gibbsita	Al(OH) ₃
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Hematita	Fe ₂ O ₃
Quartzo	SiO ₂
Anatásio	TiO ₂

Segundo a análise da composição mineralógica qualitativa de Paixão *et al* (1995: 216) o minério de manganês da região de Carajás (Parauapebas, Pará-BR) é composto principalmente de lithioforita e todorokita.

Os processos de cominuição, lavagem e peneiramento são empregados para remover a parte argilosa do minério e concentrar a fração granulada do minério, preferível para fins metalúrgicos (Figura 2). O rejeito do minério de manganês é a fração do minério que, após o processamento, apresenta granulometria inferior a 0,5 mm (RODRIGUES, 2013).

Quanto à exportação, “os principais destinos do manganês paraense foram a China, com 1,1 milhões de toneladas, seguida da França, com 454 mil toneladas” (BRASIL, 2012: 05). Com o rejeito gerado sendo estocado na região. A principal problemática desse rejeito encontra-se no fato de não existir um uso, e sem aproveitamento, sua destinação é continuar armazenado (Figura 3).

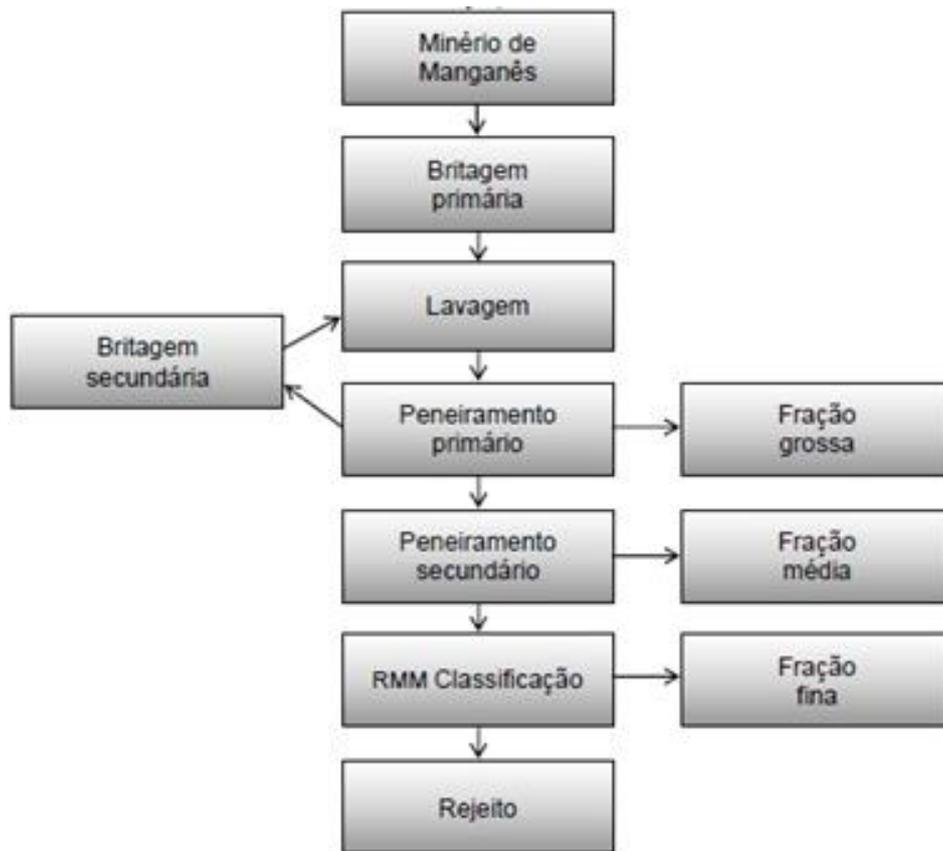


Figura 2 Fluxograma do processo de exploração do minério de manganês. (RODRIGUES, 2013: 23)

De acordo com Castro (2011) uma mineradora multinacional na região do sudeste paraense produz na ordem de 50 kg de rejeito por tonelada de liga produzida, sendo que a produção gira em torno de 300t por dia.

Por mais que o descarte seja feito em uma barragem segura, o volume de rejeito cresce vertiginosamente, tornando-se além de um problema ambiental, uma questão econômica, pois o custo envolvido para armazenamento apenas aumenta, sem que uma destinação específica seja dada.

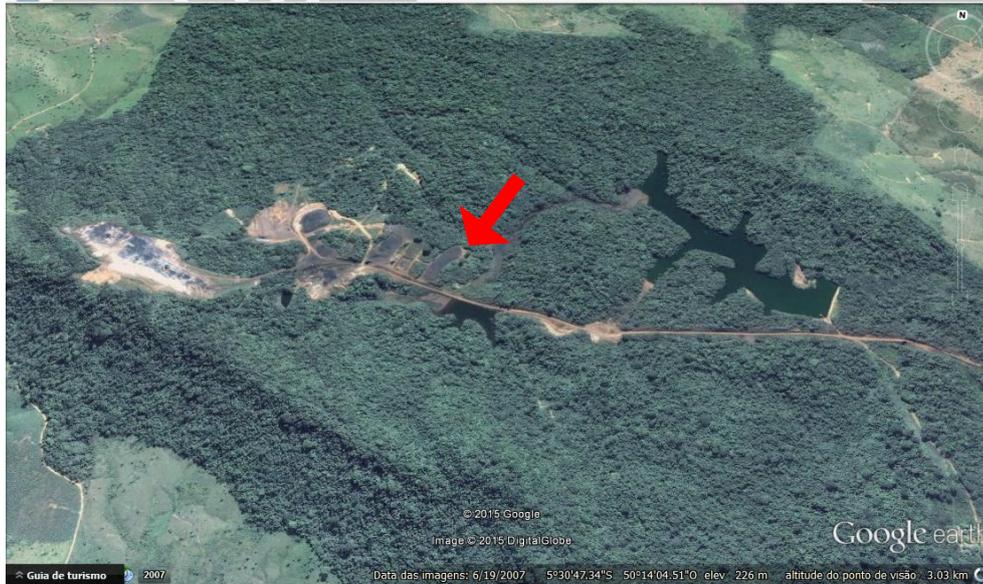


Figura 3 Imagem GeoEye da Serra Buritirama, local onde é extraído o minério e acumula-se o rejeito. A seta vermelha aponta para umas das áreas de acumulação do rejeito. Fonte: GeoEye, 2007.

A tendência mundial sobre a sustentabilidade favorece o desenvolvimento científico voltado para uma abordagem mais ecológica e ambientalmente equilibrada dos processos industriais, cada vez mais voltados para redução de seus passivos ambientais. Nas engenharias, além do notório esforço para melhora contínua dos processos produtivos, e necessário dar uma destinação adequada ecologicamente para os rejeitos, no caso, um aproveitamento, ou como é comum no jargão da área um “reaproveitamento”.

Castro (2011) considera a reciclagem como o uso de rejeitos como matéria prima em sua própria linha de produção, enquanto reaproveitamento seria o uso da matéria prima em outra atividade produtiva. A definição parece não considerar a questão semântica, afinal, o rejeito não é aproveitado inicialmente, para que seja dado um reaproveitamento. Dever-se-ia ter um uso primeiro, ou seja, para reaproveitá-lo, seria necessário ele ter sido anteriormente aproveitado de alguma forma, o que de fato, raramente, se configura como real. Porém, como o uso do termo já é consagrado, sendo utilizado em diversos trabalho da área, o termo reaproveitamento será considerado aquém de seu significado semântico, apenas pela sua ressignificação técnica.

A reciclagem aproxima-se dos conceitos da eco-indústria, onde o sistema industrial como um todo, depende dos recursos e serviços provenientes da biosfera, dos quais não pode estar dissociado (Erkman,1997). Entretanto, ainda persiste em alguns cenários industriais

encarar o problema ambiental como *end of pipe* – “tratamento de final de tubo” –; urge para que esse cenário seja cada vez mais raro, e a indústria vislumbre um processo mais próximo de um ciclo fechado.

A eco-indústria, por vezes também intitulada na literatura acadêmica Ecologia Industrial, está baseada no estudo de sistemas e na termodinâmica. As metodologias para o estudo de sistemas foram estudadas por Jay Forrester nos anos 60 e 70. Donella e Dennis Meadows utilizaram a análise de sistemas para simular a degradação ambiental do planeta e enfatizaram o caminho insustentável do sistema industrial vigente.

Não há um consenso quanto a definição da Ecologia Industrial, porém há vários pontos em comum de acordo com Araújo *et al* (2007). Entre as diversas definições encontradas na literatura, elenca a eco-industria como sinônimo de Ecologia Industrial afirmando que ela é sistêmica e abrangente, possuindo uma visão integrada de todos os componentes do sistema industrial e seus relacionamentos com a biosfera. O que iria de acordo com a Teoria de Gaia⁷, buscando formas mais equilibradas de existir levando em conta os limites da capacidade de carga do planeta e da região, e devido a isso, enfatiza o substrato biofísico das atividades humanas, isto é, os complexos padrões do fluxo de material dentro e fora do sistema industrial, em contraste com a abordagem atual que considera a economia em termos de unidades monetárias abstratas. Logo, funcionaria em forma de parques industriais (eco-redes) como um aspecto chave para viabilizar o ecossistema industrial. Desse modo o projeto e a operação, devem modelar-se como as atividades dos sistemas biológicos (mimetismo), otimizando ciclo de materiais de forma a aproximar-se de um ciclo fechado, utilizando fontes de energia renováveis e conservando materiais não renováveis.

Contudo, apesar desse ideário remotar da década de 50 do século passado, ainda caminha paulatinamente, e os caminhos mais prósperos desenvolvidos até então no cenário acadêmico e técnico figuram no reaproveitamento, com os rejeitos industriais sendo utilizados como matérias primas de outras indústrias.

Considerando o rejeito de manganês, é primaz encontrar-se ao menos um forma de que ele seja matéria prima para alguma industria, mas também, que o processo impregado para isso, fosse economicamente e ambientalmente viável.

⁷ A hipótese Gaia é uma tese criada em 1969 pelo biólogo britânico James E. Lovelock, para explicar o fato de todos os seres vivos estarem ligados entre si e com o ambiente físico, levantando a hipótese de que a Terra seria um organismo vivo.

A indústria da construção civil como cita CINCOTTO (1988) é um dos setores com maior potencial para realizar isso, quando se analisa a questão habitacional, especificamente os insumos construtivos, percebe-se um nicho de mercado, pois é necessário um volume significativo de material para fazer a alvenaria das habitações, por exemplo, e, caso fosse viabilizado o uso do rejeito mineral como componente de algum insumo, daria escape a redução dos quantitativos que atualmente acumulando-se nas barragens.

Porém, o processo construtivo atual, impossibilita seu uso, mas ao se conjecturar em outro sistema construtivo, como o tijolo solo cimento, que por seu caracter de compósito permitiria a injeção de outros materias, residiria nese fato a oportunidade de reaproveitamento do rejeito de manganês.

Não seria uma ecologia inudustrial plena, todavia, viabilizaria não apenas a redução da utilização de solo, o que tem significativos ganhos ambientais, como também traria uma minimização dos passivos ambientais e dos próprios custos industrias com estocagem do rejeito. Seria um começo para caminhar-se rumo a uma ecologia industrial, desde que o material adeque-se a normativa de uso e não represente riscos ambientais, seria mais um ponto positivo à favor da modificação do atual sistema construtivo vigente de habitações de interesse social, mais alinhadas ao desenvolvimento sustentável, em suas múltiplas adjetivações.

3.3 CONTEXTO GEOLÓGICO E PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Para Lima (2010:36) um dos principais componentes da poluição ambiental são os processos de industrialização, dos quais são gerados subprodutos em forma de resíduos, que de acordo com a autora, quando descartados sem quaisquer cuidados, representam um risco potencial a saúde pública e aos ecossistemas. Porém, ela pondera que, sob condições adequadas estes materiais podem ser reaproveitados, promovendo assim um crescimento harmônico e sustentável da sociedade.

Rememorando a Teoria de Gaia, não se pode desconsiderar para a construção de um ideário de sustentabilidade, o fato de que a própria natureza possui os mecanismos necessários para a sustentação da vida. Na natureza, segundo os postulados de Lovelock, o que é rejeito

de uma espécie torna-se alimento para outra, da mesma forma deveria ser nas comunidades humanas, com os resíduos de uma indústria vindo a tornar-se matéria-prima para outra.

Lembrando que o princípio do desenvolvimento sustentável está amparado no tripé crescimento econômico, equidade na distribuição de renda e preservação da natureza, diante do grande volume de resíduos gerados pela indústria, a chamada política dos três R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) se coloca com uma alternativa não apenas viável, mas também fundamental para a consolidação de um desenvolvimento, dito sustentável. Como a redução da geração de resíduos implica quase sempre em adequações de processos produtivos, é muitas vezes técnica e economicamente inviável para a maioria das pequenas e médias indústrias.

Assim, na formulação de alguma alternativa deve-se primar por ser mínima a alteração que no ciclo produtivo da indústria, pois, modificações poderia significar a não aderência da proposição, mesmo que fosse ecologicamente interessante, caso interfira de forma significativa no processo tecnológico.

No capítulo 3 de sua Tese de Livre Docência, John (2000) explana sobre as principais vantagens da reciclagem, dentre as quais destacam-se:

- Preservação dos recursos ambientais;
- Redução do volume de resíduos a ser depositado em aterros ou incinerado;
- Redução do consumo de energia para a fabricação do mesmo produto;
- Geração de empregos.

O aproveitamento dos resíduos mediante a reciclagem depende de sua prévia classificação. A NBR 10004/2004 classifica os resíduos de acordo com suas propriedades físicas, químicas e risco de contaminação nos seguintes grupos:

- a) resíduos classe I - Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos;
 - resíduos classe II A – Não inertes.
 - resíduos classe II B – Inertes.

(NBR 1004, 2004:03)

Os Resíduos Classe I – Perigoso: apresenta risco à saúde pública e ao meio ambiente quando manuseado incorretamente. Incluem os materiais inflamáveis, corrosivos, radioativos, tóxicos e patogênicos. Enquanto que os Resíduos Classe II A – não-inerte: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes (ABNT, 10004, 2004). Os Resíduos Classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 10004, 2004). Por sua vez os Resíduos Classe II B – Inertes: são segundo a NBR 1004/2004:

“Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G” (ABNT, 2004:03).

O rejeito mineral utilizado neste trabalho, de acordo com o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral é classificado como não-inerte⁸.

Para justificar a reciclagem de um resíduo deve-se considerar além de suas características, risco ambiental e a interferência de sua adição ao ciclo produtivo, a sua disponibilidade e transporte como fatores economicamente determinantes.

3.4 O SOLO COM INSUMO CONSTRUTIVO

O conceito de solo pode variar dependendo da ciência que o aborde.

Para a mecânica dos solos, pode ser entendido como um sistema trifásico, sendo estas três fases segundo Lima (2006:10): “a sólida, composta por minerais na forma de grãos e matéria orgânica quando presente; a líquida, composta basicamente por água e a gasosa, composta pelo ar e vapores presentes em seus poros.”

Na Agronomia é a camada superficial da Terra arável possuidora de vida microbiana. Enquanto que a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, o solo é uma

⁸ Informação disponibilizada no sítio: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/>

coleção de corpos naturais o qual possui três fases: uma sólida, uma líquida e uma gasosa, onde forma a maior parte do manto superficial das extensões continentais. Ele pode ser vegetado e conter matérias vivas, podendo também ser modificado pela ação humana (EMBRAPA, 1999).

Do ponto de vista químico, o solo pode ser considerado um sistema biogeoquímico, multifásico, aberto, contendo sólidos, líquidos e gases (VELOSO e CANELLAS, 2004).

Considerando as geociências, os solos são formados na superfície terrestre resultantes de fenômenos biológicos, geológicos, pedológicos e hidrológicos. O processo de formação do solo é denominado pedogênese. A pedogênese segundo Teixeira (2009):

ocorre quando as modificações químicas e mineralógicas do intemperismo dão lugar a modificações estruturais, com reorganização dos minerais formadores do solo – principalmente argilo-minerais e óxi-hidróxidos de ferro e alumínio – nos níveis superiores do manto de alteração (TEIXEIRA et al, 2009:211).

O intemperismo é o conjunto de modificações de ordem física (desagregação) e química (decomposição) que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da Terra (TEIXEIRA *et al*, 2009). O manto de alteração é o nome dado a capa intempérica que se forma sobre as rochas como produto da ação dos agentes intempéricos (água, vento, etc.).

O solo para Engenharia Civil é a mistura natural de diversos minerais que podem ser separados por processos mecânicos simples conforme citam Bueno e Vilar (1980), sendo então compreendido como todo material que pode ser escavado com uma pá, por exemplo, sem o emprego de técnicas especiais, como explosivos.

A estrutura do solo é a reunião de partículas unitárias de areia, silte e argila em partículas compostas ou grumos. As estruturas são classificadas de acordo com o tamanho e forma desses agregados que podem ser laminar, maciça, prismática, em bloco e granular. (TOMÉ JR, 1997).

A primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas que o compõem (PINTO, 2006). Em uma aproximação inicial pode-se distinguir visualmente alguns de seus grãos, como grãos de pedregulhos ou a areia do mar, outros não são possíveis, pois são de dimensões microscópica. A diversidade do tamanho dos grãos é enorme, diversas especificações são empregadas, variando conforme o sistema e classificação, a Associação

Brasileira de Normas Técnicas – ABNT adota os valores de Matação como sendo de 25 cm a 1 metro, de Pedra de 7,6 cm a 25 cm, Pedregulho de 4,8 mm a 7,6 mm, Areia Grossa de 2mm a 4,8 mm, Areia Média de 0,42 mm a 2mm, Areia Fina de 0,05 mm a 0,42 mm, Silte de 0,005 mm a 0,05mm e Argila como sendo inferior a 0,005 mm (PINTO, 2006:16).

Segundo PÉREZ & CASANOVA (1994), a maior parte das propriedades do solo, propriedades químicas e físico-químicas, depende das reações das superfícies dos seus colóides, podendo estes serem orgânicos ou inorgânicos.

Tais reações regeram o uso do solo. Senço (2001) observou que, combinando diferentes materiais, a busca de suas características positivas é quase intuitiva, onde a mistura de um solo argiloso com um arenoso em proporções convenientes, resulta num produto que não oferece poeira nas secas e nem lama nas chuvas, isto é, um solo estabilizado.

Uma vez estabilizado, o solo pode ter seu emprego tecnológico na construção civil. Ferraz *et al.* (2000) descrevem a utilização do solo como material de construção pode-se dar tanto na forma como ele é encontrado (solo natural), ou após a correção de algumas de suas propriedades de engenharia. Para essa correção podem ser empregados diversos métodos, entre os quais se cita-se a correção granulométrica e a adição de compostos químicos.

O solo é utilizado como insumo da construção civil desde tempos pretéritos. Exemplos de bom emprego desta matéria-prima podem ser encontrados em arcos e domos, construídos em blocos de adobe⁹, na Mesopotâmia (Turquia), Assíria, Egito e na antiga cidade de Babilônia, no Iraque (TAVEIRA, 1987 e LOPES, 2002). Vale lembrar que em Belém, capital do estado do Pará-BR, as construções mais antigas que datam da fundação da cidade utilizam como principal material o solo:

“a maior parte das paredes é de frontal, e o método de as levantas consiste em levantarem em esteios [...] e sem adubarem o tijuco, nem mais vêzes fazerem uso da colher, e trelha, mesmo à mão vão embuçando o frontal [...]” (FERREIRA, 1783 apud CRUZ, 1971, pg. 13).

⁹ Adobe: O adobe é um tijolo feito pela mistura de barro com palha, sem ser levado a qualquer processo de aquecimento.

Tijuco nada mais é do que o termo utilizado outrora para designar solo úmido de região de charco ou pantanosa, possivelmente de granulometria areno-argilosa. Deveras abundante na região, que possui expressiva rede hídrica, e sendo um material renovável dentro de curto período de tempo geológico. Desde que respeitados os processos que regem esse ciclo, poderia ser explorado e ocorreria recomposição do material de forma, dita, natural e constante¹⁰.

De tal forma, nas demais regiões do país (Brasil) e pelo mundo, o solo foi largamente utilizado nos primórdios dos processos de edificação (Figura 4).



Figura 4 Igreja de São Sebastião (Planaltina – Distrito Federal, Brasil), bicentenária começou a ser construída em 1810, em adobe, como pagamento de uma promessa.

Outra possibilidade de uso do solo é dando-lhe tratamento tecnológico, surge a figura do tijolo cerâmico calcinado. No estado do Pará em meados da segunda metade do século XIX já podiam ser comumente encontradas edificações de tijolos, como consta na notícia do jornal “O Liberal do Pará”:

“Ainda não há muitos anos a maior parte das casas eram edificadas, empregando-se nas paredes madeira e barro, o que além da

¹⁰ Para maiores detalhes sobre o processo geomorfológico de recomposição de solo sugere-se a leitura da unidade 2 do livro Decifrando a Terra, organizadores Wilson Teixeira... [et al] 2ed. – São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

pouca duração merecia pouca segurança e tornava precisos pequenos reparos.

Hoje o emprego do tijolo tem permitido, dando pouca espessura às paredes, e tornando mais rápido o trabalho, construir com igual ou pouco maior despesa casas, além de mais elegantes, mais duradouras[...]”. (O LIBERAL DO PARÁ, 1865:5)

O tijolo que o jornalista referiu-se no seu artigo no século XIX, tratava-se do que conhecemos por tijolo cerâmico, o qual é produzido pelo tratamento térmico dado ao solo. O mesmo ainda é de uso corriqueiro na atualidade.

De acordo com Araújo (2002) as técnicas construtivas trazidas para o Brasil possuíam basicamente duas vertentes: uma popular e outra erudita. A erudita estava representada pelos engenheiros militares. Araújo elenca que os engenheiros militares foram autores de tratados de fortificações, onde a arte da construção estava associada à tratadística Renascentista e à utilização de instrumentos de medição e a um conhecimento, ainda que rudimentar, da física e da química, sendo seus conhecimentos de acordo com o autor transmitidos através de “Aulas” e “Tratados”.

As “aulas”, criadas segundo o modelo da Aula de Lisboa (1635), foram disseminadas pelos principais centros urbanos do Brasil, tais como: Salvador (1696), Rio de Janeiro (1698), São Luís do Maranhão (1699), Recife (1701) e Belém (1758) (ARAÚJO, 2002). Como observa Bueno (2001:295) "embora por vezes funcionando de forma intermitente, essas aulas foram um dos principais focos de irradiação da cultura arquitetônica e urbanística erudita no Brasil-Colônia.”

A vertente popular estava representada pelos Mestres de Ofício. Eles traziam consigo um conhecimento acumulado durante séculos (de origem Românica e Medieval) e transmitidos de forma oral e prática pelos mestres para os seus aprendizes. Além disso, ou para isso, contavam com as chamadas “Organizações de Ofício”, somente proibidas no Brasil pela Constituição de 1822 (ARAÚJO, 2002).

Araújo (2002) afirma que:

Durante grande parte da história da humanidade não houve, ou houve de forma muito lenta, transformações qualitativas no que se refere a algumas técnicas e materiais construtivos. Muitas das técnicas fundamentais (taipa de pilão e a cantaria, por exemplo), sobreviveram intocáveis até o advento da Era Industrial, incluindo as ferramentas e métodos de trabalho. Por outro lado, ao contrário de vários outros ramos do conhecimento, as técnicas e os materiais construtivos experimentaram retrocessos em longos períodos históricos (ARAÚJO, 2002:14).

As principais regiões ceramistas que fornece o tijolo cerâmico calcinado para a capital do estado do Pará, são localizadas no município de Abaetetuba (LIRA, 1998) e São Miguel do Guamá (CORDOVIL, 2010), ademais, cada micro-região do estado do Pará possui polos proximais que produzem para fornecer a demanda local.

Entretanto sua padronização, em decorrência de ser um processo, em geral, de manufatura, costuma deixar a desejar, sendo comum variações milimétricas, que na prática construtiva trivial, são corrigidas através do aumento da espessura de argamassa.

Diferentemente, o tijolo solo cimento, está mais atrelado a uma uniformidade.

3.4.1 Tijolo ou Bloco solo cimento?

A NBR 8491, de dezembro de 2012, no item 3, onde estipula as definições, elenca no sub item 3.1:

Tijolo de solo-cimento componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compacta e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos em proporções que permitam atender aos requisitos desta Norma, cuja altura (H) seja menor que sua largura (L), pode ser maciço ou vazado (ABNT, 2012:01a)

De acordo com a referida norma o tijolo solo-cimento pode ser maciço ou vazado, sendo considerado tijolo maciço de solo-cimento “tijolo cujo volume seja igual ou superior a 85% do seu volume total aparente, podendo apresentar reentrâncias em uma das faces maiores [...]” (ABNT, 2012), conforme figura 5. Enquanto que o tijolo vazado de solo-cimento seria o “tijolo com furos verticais, cujo volume total seja inferior a 85% do volume total aparente e espessura mínima das paredes no seu entorno [...]” (ABNT, 2012), conforme figura 6.

Pode-se ainda, ter-se o bloco de solo-cimento, que segundo a norma NBR 10834, de dezembro de 2012, é o:

[...] componente de alvenaria constituído por uma mistura homogênea, compacta e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos em proporções que permitam atender às exigências desta Norma, cuja altura (H) seja igual ou superior à sua largura (L). (ABNT, 2002b).

A NBR 10834/2012 define dois tipos de bloco de solo-cimento, o bloco maciço de solo-cimento e o bloco vazado de solo-cimento (Figura 7 e 8, respectivamente), sendo que o primeiro é o bloco cujo volume é igual ou superior a 85% do seu volume total aparente, enquanto que, no bloco vazado, o volume total é inferior a 85% do seu volume total (ABNT, 2012b).

As dimensões do tijolo solo-cimento dever possuir a forma externa de um paralelepípedo (ABNT, 2012a) e as dimensões nominais, podendo ser de dois tipos, A e B, de acordo com a Tabela 2.

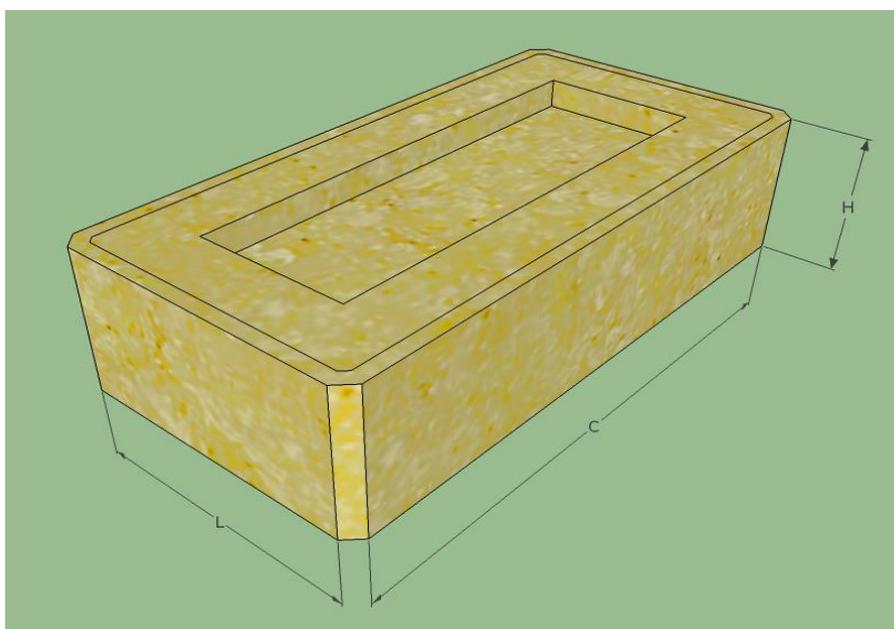


Figura 5 Tijolo maciço de solo-cimento. Fonte: Autor, 2014.

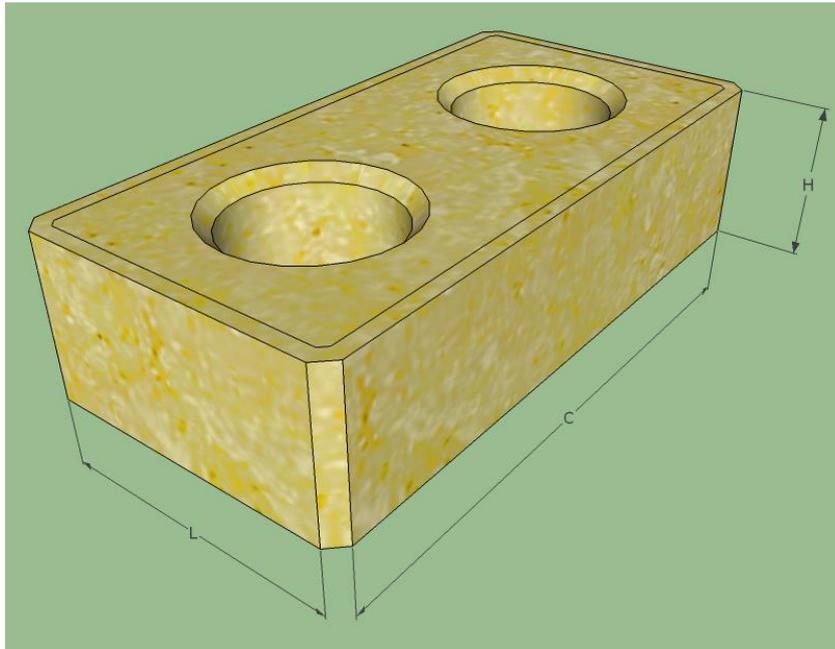


Figura 6 Tijolo vazado de solo-cimento. Fonte: Autor, 2014.

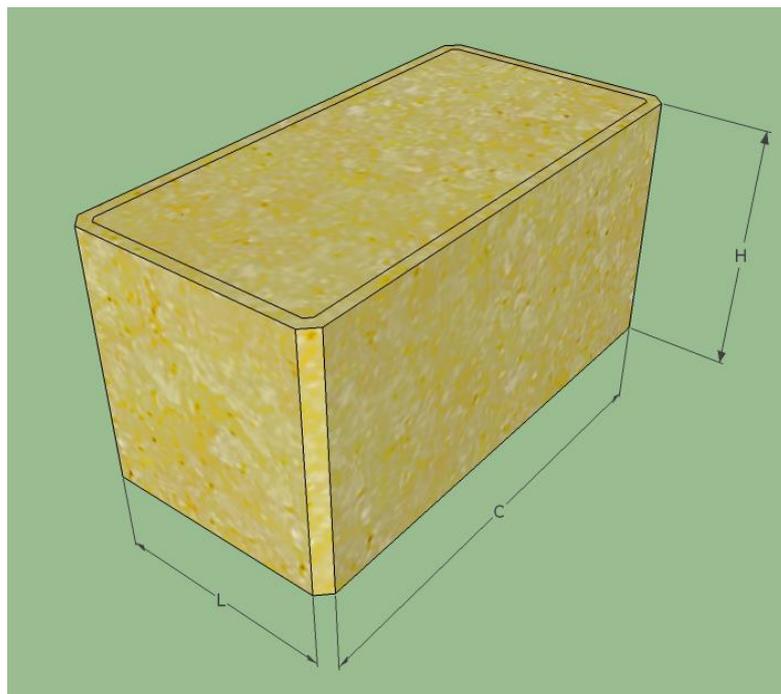


Figura 7 Bloco maciço de solo-cimento. Fonte: Autor, 2014.

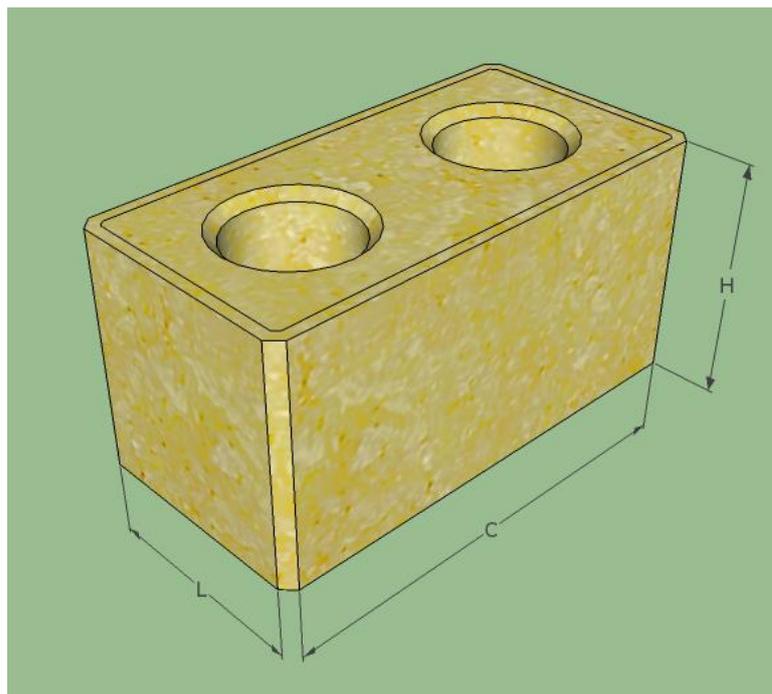


Figura 8 Bloco maciço de solo-cimento. Fonte: Autor, 2014.

Tabela 2 Tipos e dimensões nominais, dimensões em milímetros.

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

Fonte: ABNT NBR 8491:2012 Tijolo de solo-cimento – Requisitos.

Neste trabalho será estudado o tijolo vazado de solo-cimento tipo A.

Os requisitos específicos que os tijolos solo-cimento devem atender são elencados pela NBR 8491:2012 dizem respeito a análise dimensional, resistência à compressão e absorção de água.

A referida norma especifica que as variações devem ser de $\pm 1,00$ mm para o comprimento, largura e altura.

A respeito da resistência a compressão, ela não pode apresentar a média de valores menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm²), com idade de sete dias.

Referente a absorção de água a norma supracitada cita que a média dos valores de absorção de água não pode ser maior do que 20%, nem possuir valores individuais superiores a 22%, com idade mínima de sete dias.

Os ensaios de análise dimensional, resistência à compressão e absorção de água têm seus procedimentos normatizados pela ABNT NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio.

Quanto ao aspecto visual, os tijolos de solo-cimento devem apresentar aspecto homogêneo, compacto e arestas vivas, bem como devem ser isentos de fissuras ou outros defeitos que possam prejudicar seu assentamento, resistência ou durabilidade da construção, para garantir o cumprimento de sua função de vedação, como também a harmonia estética com o projeto arquitetônico.

Para caracterização do solo a ser utilizado na fabricação de tijolos de solo-cimento pode-se considerar a especificação proposta pelo Ceped (centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia) conforme Tabela abaixo:

Tabela 3 Teor de constituintes que os solos devem apresentar.

Teor de areia	45 a 90%
Teor de silte + argila	10 a 55%
Teor de argila	<90%
Limite de liquidez	<45%

Fonte: Recomendações práticas para uso de tijolo furado de solo-cimento na produção de alvenaria. L. A. Percoriello, São Paulo, 2003.

Outras proporções podem ser encontradas em manuais técnicos de empresas do ramo, como também é fonte oficial da Associação Brasileira de Normatização, nas normas NBR 10832/2012 e NBR 10833/2012, as quais informam as proporções características mais adequados que o solo deve apresentar para fabricação de bloco solo-cimento e tijolos de solo-cimento.

Essas características estão reunidas na Tabela 4, e são iguais tanto para bloco solo-cimento, como para tijolo solo-cimento.

Tabela 4 Características dos solos para fabricação de bloco e tijolo solo-cimento.

Passando na peneira 4,8 mm (nº4)	100%
Passando na peneira 0,075 mm (nº200)	10 a 50%
Limite de liquidez	≤ 45%
Índice de plasticidade	≤18%

Fonte: ABNT NBR 10833:2012.

O processo de fabricação envolve, genericamente, as etapas de armazenamento de matérias-primas, que deve zelar pelo controle da umidade que, por ventura, o solo apresenta. Devido a isso é necessária sua secagem prévia. Tal secagem ocorre por exposição subárea. Verificado que o solo não encontrar-se deveras úmido, e iniciado o processo de fragmentação dos torrões do solo, processo intitulado de destorroamento com intuito de separar ao máximo partículas de solo. Alcançado este objetivo é realizado o peneiramento, para garantir que o solo utilizado esteja na faixa granulométrica mais adequada.

O solo é misturado sobre uma lona, nas empresas com recursos mais precários, ou em equipamentos, similares a moinhos, ao cimento, até que se obtenha uma homogeneização do material, vulgarmente chamado de “farofa”, na qual é pulverizada água sobre pressão, até que a mistura encontre uma umidade ótima, determinada de forma empírica pelo operador da pressão hidráulica. Ao se alcança-la, o material é levado para prensagem.

Após prensado, os tijolos de solo-cimento, são estocados à sombra, sobre painéis, por um prazo mínimo de sete dias, durante os quais é borrifada água para garantir que não haja sua perda excessiva. Passado este período, eles podem ficar estocados por mais dias, ou serem transportados para sua utilização.

Das quatro empresas do sudeste do estado Pará visitadas, a dosagem do tijolo solo-cimento encontrada foi nos traços 1: 9, 1: 10, 1:12 e 1:14 (cimento: solo) com a mistura na umidade ótima, sendo essa umidade alcançada pela pulverização de água sobre a mistura enquanto é homogeneizada. Tais traços não fogem dos encontrados na literatura consultada.

Algumas amostras são recolhidas para serem submetidas ao controle tecnológico, sendo submetidas aos ensaios padronizados pela ABNT, como análise dimensional, resistência à compressão e absorção.

As etapas da fabricação do tijolo solo-cimento podem seguir o fluxograma (Figura 9) elaborado por Pisani (2006).

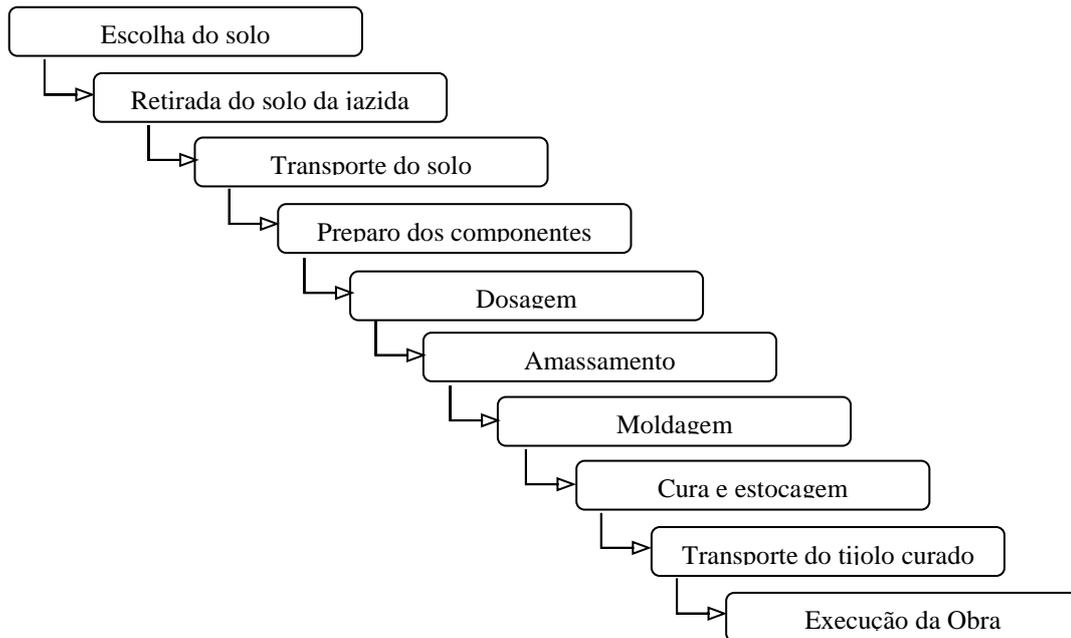


Figura 9 Fluxograma da fabricação do tijolo solo-cimento. Fonte: Adap. Pisani (2006).

Segundo Milani & Freire (2006), na estabilização do solo com o cimento, devido aos silicatos e aluminatos presentes no cimento, ocorrem reações de hidratação, que possibilitam a formação de um gel que pode preencher parte dos vazios da massa, como ainda unir os grãos adjacentes do solo, potencializando um ganho de resistência inicial; conjuntamente, ocorrem reações iônicas que provocam a troca de cátions das estruturas dos argilominerais do solo com os íons de cálcio provenientes da hidratação do cimento.

O termo "estabilização do solo" corresponde a qualquer processo, seja natural ou artificial, pelo qual um solo, sob o efeito de cargas aplicadas, se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento, do que o solo original (CASTRO, 2008).

Dentre os inúmeros métodos de estabilização de solos para fins construtivos, o que tem sido identificado como mais prático e eficiente é o da estabilização química. (CASTRO,

2008). Nesse método tanto interações químicas, quanto as físico-químicas e físicas, podem propiciar o processo de estabilização.

A estabilização química inclui aqueles métodos nos quais um ou mais compostos são adicionados ao solo com o objetivo de estabilizá-lo. Desse modo, a estabilização dos solos com cimento é uma forma de melhorá-lo. Segundo Ferreira et al. (2005), dentre as técnicas de estabilização química citam-se a do solo-cimento, a do solo-cal, a do solo-betume, a do solo-resina, a estabilização com cinzas volantes ("*fly ash*") e escórias de alto forno ("*blast furnace slag*"), a estabilização com o emprego de sais (cloretos), ácidos (ácido fosfórico), lignina, silicatos de sódio ("*water glass*"), aluminatos de cálcio, sulfatos de potássio, óxidos de ferro, cinzas pozolânicas de turfas e restos de atividade agrícola (casca de arroz, casca de amendoim, bagaço de cana-de-açúcar etc.) e materiais vegetais (partículas de madeira, sobras de papel, polpa de celulose etc.).

3.4.2 Métodos de dosagem da mistura solo-cimento

Os critérios para a dosagem do solo-cimento, em sua maioria, foram elaborados tendo em vista a sua aplicação como elemento de base para pavimentos rodoviários e aeroportuários (CASTRO, 2008).

De acordo com o CEPED (1984), a quantidade de cimento que será utilizada na dosagem deve ser feita em função das características do solo, do teor de umidade e da densidade que será obtida no processo de compactação.

Segundo Neves *et al* (2004) para se obter uma resistência à compressão maior ou igual a 1,0 MPa, o teor de cimento em massa deve ser da ordem de 14%, enquanto que, para perdas de peso menor ou igual a 10%, a porcentagem de cimento em massa deve ser de 4%, sugerindo que o critério de resistência seja adotado para definição do teor de cimento a ser empregado.

Pinto (1980) afirma que a quantidade de cimento a ser incorporada ao solo depende, principalmente, das características que se pretende do material resultante. O autor alega que dois grãos de solo fortemente unidos pelo cimento, quando uma vez separados, não voltariam mais a apresentar a coesão inicial. Sendo assim, na determinação do teor de cimento, os seus estudos foram dirigidos no sentido de garantir a permanência da coesão quando o solo-

cimento é solicitado, tanto pela ação do tráfego, como pelos esforços provenientes das variações de temperatura e de umidade. Com esse objetivo, os técnicos da *Portland Cement Association* – PCA, elaboraram ensaios de durabilidade em que os corpos-de-prova são submetidos a ciclos de molhagem/secagem e congelamento/degelo. Logo, o objetivo desses ensaios é a verificação da durabilidade e não da resistência ao desgaste, como tem sido algumas vezes interpretado.

Carece na literatura nacional recente análise a respeito da durabilidade do tijolo solo cimento referente a sua dosagem. Todavia, com literatura mais profícua, os efeitos da dosagem na resistência mecânica a mais de três décadas são estudados. Pinto (1980) afirma que os ingleses consideram adequado o uso de teores de cimento capazes de conferir, aos sete dias de cura, resistência à compressão igual ou superior a 1,75 MPa. O autor afirma que os métodos de ensaio padronizados pelas normas inglesas, no entanto, diferem bastante dos métodos adotados pela *Portland Cement Association* - PCA.

Castro (2008) afirma que a experiência brasileira baseia-se nos métodos de dosagem da *Portland Cement Association* - PCA. Embora em outros países tenham sido desenvolvidos procedimentos diferentes, falta-lhes o que justamente é a maior recomendação, ou seja, a comprovação de seus resultados por um grande número de obras executadas e em uso, com enorme variedade de solos, das mais diversas origens e regiões.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento *Portland* – ABCP (1986), a dosagem do solo-cimento é feita através de ensaios de laboratório, seguida da interpretação dos resultados por meio de critérios preestabelecidos. O resultado final consiste na fixação de três variáveis: quantidade de cimento, quantidade de água e massa específica aparente seca máxima. As duas últimas, entretanto, segundo Castro (2008:24) “sofrem pequenas oscilações, dadas as variações de campo que ocorrem nas características do solo”, ou seja, considerando o processo pedogenético de formação dos solos, o mesmo horizonte pode apresentar modificações dentro de extensões métricas.

Desse modo, essas variáveis passaram a servir mais como elemento de controle e, com isso, o objetivo da dosagem passou a ser, principalmente, a fixação da quantidade adequada de cimento. O Estudo Técnico ET-35 da ABCP (1986) traz a completa descrição das normas de dosagem de solo-cimento propostas pela PCA. Seus resultados, desde 1932, têm

comprovação em inúmeros serviços executados com solos de diversas origens, em diferentes regiões do mundo, inclusive no Brasil, após 1939 (CASTRO, 2008:25).

Todavia tais estudos e práticas mantêm-se distanciadas das principais manufaturas e indústrias de produção de tijolo solo-cimento, instaladas no estado do Pará, onde, a partir de um conhecimento prévio das faixas granulométricas do solo, da jazida escolhida como fornecedora, dosagens experimentais são procedidas até se encontrar uma que se adeque aos requisitos estabelecidos pela NBR 8492: 2002.

Basicamente, a dosagem é em relação a uma proporção de volumes dos materiais, e um traço é escolhido ao adequar-se aos requisitos da referida norma. O utilizado neste trabalho fora o adotado pela indústria que serviu de estudo de caso: o traço 1:9.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho considerou que as limitações das empresas que atualmente empreendem esta técnica construtiva, no sul e sudeste do Pará, possuem no desenvolvimento de seu processo produtivo. Assim, procurou-se que a adição de rejeito mineral causasse o mínimo possível de alteração no ciclo produtivo. Para alcançar esta meta, os tijolos solo-cimento com adição de rejeito mineral foram fabricados numa empresa do ramo, dentro do processo tecnológico da mesma, com o intuito de que caso resultados positivos fossem encontrados, minimizasse as dificuldades de absorção da tecnologia desenvolvida. Desse modo, o traço utilizado neste trabalho, foi o 1:9 (cimento: solo), do qual, as proporções de 0% (para ser o de tijolo solo-cimento de referência), 0,5%, 1%, 2% e 3% de rejeito mineral foram acrescentados, em relação ao volume de solo empregado. Optou-se por estes valores baixos de adição pelo fato de na literatura não se terem encontrados trabalhos que utilizassem este rejeito de manganês, deste modo, poder-se-ia ter a possibilidade de detectar suaves alterações da adequabilidade do tijolo solo-cimento a norma que ele é submetido – NBR 8491:2012.

Sendo assim, este trabalho ao obter os tijolos solo-cimento sem e com rejeito mineral, nas proporções definidas, submete-os aos ensaios previstos na NBR 8491:2012, para verificar se mesmo com o acréscimo de rejeito mineral o tijolo solo-cimento continuaria atendendo a norma, e para verificar se o rejeito mineral poderia impactar à durabilidade do tijolo, que poderá ficar expostos as intempéries, fora submetido ao ensaio de envelhecimento acelerado.

A NBR 8491:2002 define que os lotes são constituídos de no mínimo 10000 tijolos, dos quais devem ser retirados dez tijolos, que após serem submetidos a análise dimensional, sete devem ser submetidos ao ensaio de compressão simples e três ao ensaio de absorção de água. Para o trabalho, o lote foi reduzido para 1000 tijolos, sendo 1000 de cada traço estudado, retirando-se 10 tijolos de cada lote de 1000, submetendo os dez ao ensaio de análise dimensional, e posteriormente, sete a compressão e três a absorção.

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados nesse trabalho são basicamente, o solo, cimento e o rejeito da exploração do manganês.

O solo, de classificação predominante de latossolo vermelho-amarelo, é oriundo da região de Marabá-Pa (localização da jazida 5°18'32,90"S e 49°04'21,28"W).

O cimento escolhido para ser utilizado neste trabalho é Cimento Portland – CP II-Z-32. Este cimento possui em sua composição 6 a 14% de pozolana. Suas propriedades atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, é indicado para solo-cimento em função do ganho de resistência que deve ser controlado para evitar retração.

O rejeito mineral utilizado é oriundo da exploração de manganês na região do sudeste paraense por uma mineradora multinacional.

4.2 METODOLOGIA

Os métodos experimentais adotados serão descritos adiante, apesar de que primou-se, além de seguir as normativas, que, caso resultados positivos fossem encontrados, não viesse a originar grandes modificações no processo produtivo pré-existente, fazia-se necessário a realização da caracterização do rejeito mineral, que dificilmente poderia ser realizada em uma empresa, e do solo. Todavia, após essa caracterização, os tijolos solo-cimento com adição do rejeito foram produzidos em uma empresa, dentro do processo tecnológico da mesma, e submetidos a verificação da adequabilidade os requisitos da NBR 8491:2012, através dos métodos descritos na NBR 8492:2012. Como ainda submetido a uma câmara de envelhecimento acelerado para mensurar o efeito do intemperismo sobre eles. Os ensaios desenvolvidos no trabalho seguiram a rotina expressa na figura 10.

O trabalho analisou cinco lotes distintos de 1000 unidades, sendo um, com tijolos solo cimento sem rejeito, e os outros quatro lotes de tijolos solo cimento com rejeito, cada qual com o traço escolhido para análise desse trabalho. De cada lote foram retiradas amostras de acordo com a quantidade definida por norma para os ensaios de análise dimensional

resistência a compressão, e absorção de água, de forma aleatória, e os resultados submetidos a soma aritmética. Para serem submetidos a câmara de envelhecimento acelerado foram escolhidos, também de forma aleatória quatro amostras, de tijolos solo cimento de cada um dos cinco lotes.

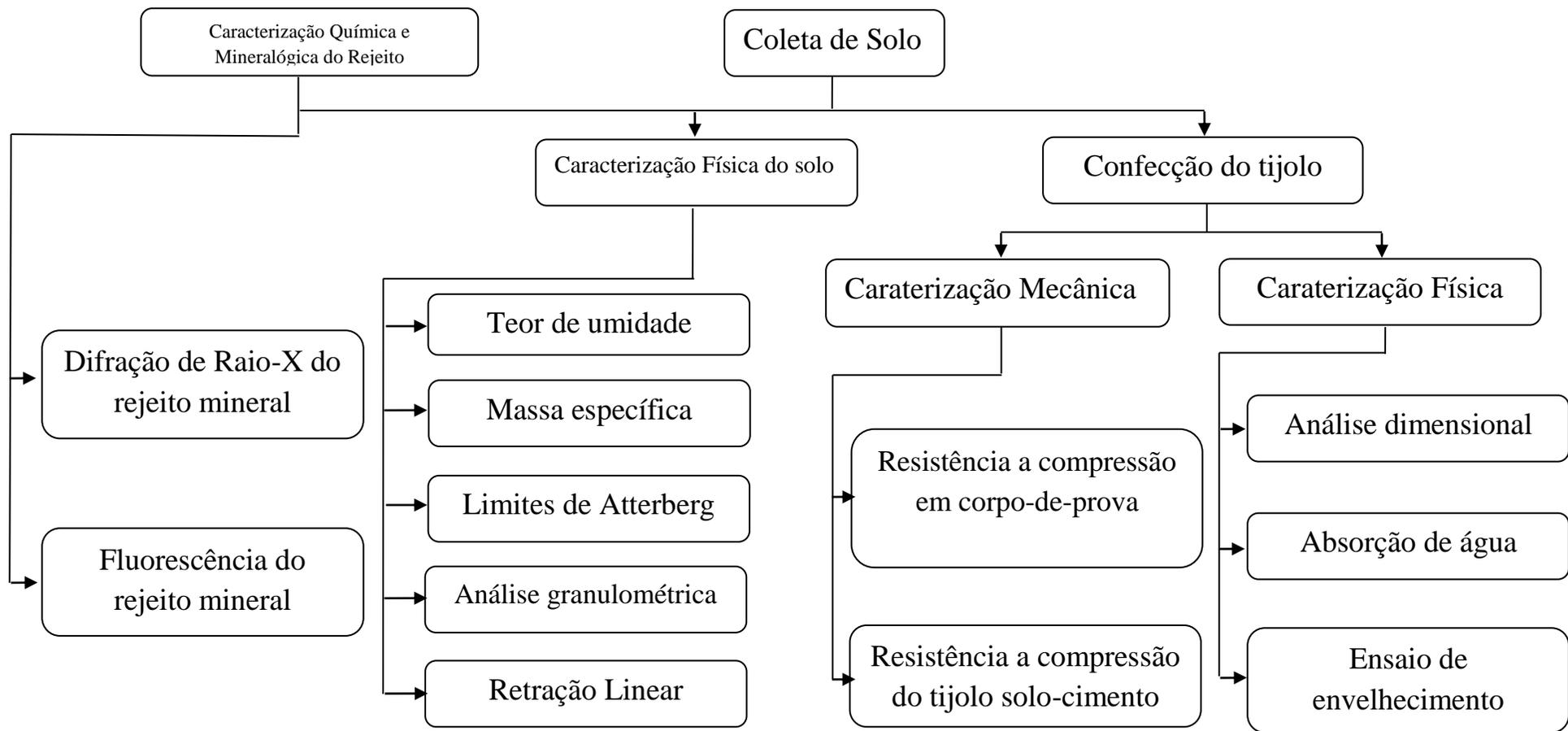


Figura 10 Fluxograma de ensaios realizados neste trabalho

4.2.1 Caracterização química e mineralógica do rejeito

A caracterização química do rejeito será realizada por meio da Fluorescência de Raio-X e a caracterização mineralógica por meio da Difração de Raio-X, ambas realizadas no Laboratório de Caracterização Mineral do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. Com os resultados de ambas será possível realizar uma análise qualitativa dos elementos que compõe o rejeito e verificar possíveis interferências caso contenham algum elemento nocivo ao processo de cura do cimento

4.2.1.1 Fluorescência de Raio-X

É fundamental o conhecimento da composição química das matérias-primas para que seja feita uma caracterização criteriosa, de modo que se venha a contribuir com informações importantes para interpretação dos resultados obtidos.

A análise por fluorescência de raios X é um método de análise elementar qualitativo e quantitativo que se aplica à identificação de praticamente todos os elementos ($Z > 13$). O princípio do método é muito simples.

Utiliza-se uma fonte de radiação X para ionizar os níveis internos dos átomos constituintes da amostra, por efeito fotoelétrico. Na reorganização do átomo e regresso ao estado fundamental, estes átomos podem libertar o excesso de energia através da emissão de um fóton X, de energia igual à diferença de energia de ligação dos níveis entre os quais se deu a transição. Esta radiação é característica do elemento.

A detecção e análise deste espectro permite a identificação e quantificação dos elementos constituintes da amostra. Trata-se de uma técnica não destrutiva e que na maior parte dos casos não necessita de qualquer preparação prévia da amostra, permitindo ainda a detecção simultânea dos diferentes elementos constituintes da amostra.

Foi utilizado espectrômetro WDS sequencial, modelo *Axios Minerals* da marca *PANalytical*, com tubo de raios X cerâmico, anodo de ródio (Rh) e máximo nível de potência 2,4 KW. As amostras foram analisadas em disco fundido com 1 g de amostra +

6 g de fundente (Tetraborato de Lítio - $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$), mistura fundida a 1000°C por 10 min. As aquisições e tratamento dos dados foram realizados através do software *SuperQ Manager* da *PANalytical*.

4.2.1.2 Difração de Raio-X

A difratometria de raio X corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, encontrando aplicações em diversos campos do conhecimento, mas particularmente nas ciências exatas e naturais, como também nas engenharias.

Os raios X ao atingirem um material podem ser espalhados elasticamente, sem perda de energia pelos elétrons de um átomo (dispersão ou espalhamento coerente). O fóton de raios X após a colisão com o elétron de um átomo (dispersão ou espalhamento coerente) muda sua trajetória, mantendo entretanto, a mesma fase e energia do fóton incidente. Considerando a Física Ondulatória, pode-se formular que a onda eletromagnética é instantaneamente absorvida pelo elétron e reemitida, cada elétron atua, por conseguinte, como centro de emissão de raios X.

Se os átomos que geram este espalhamento estiverem arranjados de maneira sistemática, como em uma estrutura cristalina, apresentando entre eles distâncias próximas ao do comprimento de onda da radiação incidente, pode-se verificar que as relações de fase entre os espalhamentos tornam-se periódicas e que efeitos de difração dos raios X pode ser observado em vários ângulos.

Desse modo, identificação dos componentes mineralógicos foi realizada por difratometria de raios-X, através da qual, cada espécie mineral cristalina tem um modelo de difração específico e proporciona uma informação precisa, mesmo quando se tem mistura com outras espécies minerais.

As análises foram realizadas em difratômetro modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da *PANalytical*, com Goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,5406 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv. O detector utilizado foi do tipo RTMS, *X'Celerator*. A aquisição

de dados foi feita com o software *X'Pert Data Collector*, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o software *X'PertHighScore* versão 2.1b, também da *PANalytical*.

4.2.2 Coleta e preparação das amostras de solo

A preparação das amostras de solo iniciou-se com uma coleta prévia de solo de regiões distintas e sua análise preliminar.

Uma vasta gama de solos com granulometrias diferenciadas pode ser utilizada na confecção de tijolos de solo-cimento. Para uma maior facilidade no emprego desta técnica propôs-se então pela utilização de curvas granulométricas de referência, a partir das quais qualquer solo cuja curva granulométrica estivesse situada dentro do intervalo granulométrico proposto poderia ser utilizada na confecção dos tijolos de solo-cimento, podendo-se ainda estimar a resistência do tijolo confeccionado com tal solo.

Silva (2005:68) analisou os resultados de ensaios granulométricos dos solos utilizados por diferentes autores em estudos das combinações solo, cimento e fibras. Definiu-se desse modo um intervalo entre curvas granulométricas onde qualquer solo ali encaixado se adequaria ao propósito da confecção de tijolos de solo-cimento com fibras com boa resistência (Figura 11).

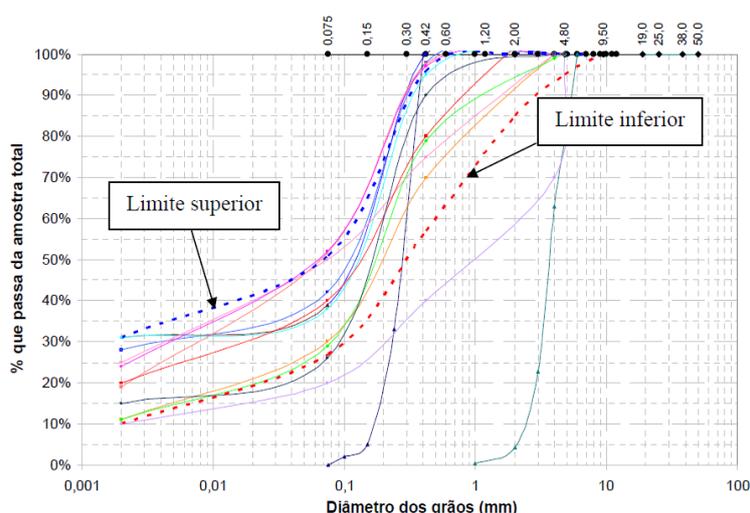


Figura 11 Determinação da curva granulométrica ideal. Fonte: elaborado a partir do referencial bibliográfico¹¹ Silva (2005:68).

¹¹ Silva (2005) citou que revisou os trabalhos de BARBOSA e MATTONE (2002); BARBOSA (2003); BARBOSA *et al.* (2003); FERNANDES *et al.* (2002); FONSECA *et al.* (2002); PRIETTO, SCHNAID e

De posse dos limites deste intervalo, a meta seria a escolha de um solo que se adequasse ao limite superior e outro referente ao limite inferior da curva.

O solo foi seco ao ar livre sendo posteriormente destorroado – para desagregação dos torrões. Posteriormente, realizou-se a mistura, revolvendo o solo, com o objetivo de homogeneizá-lo, até que o mesmo apresenta-se uma cor uniforme (o contrário indicaria a não homogeneidade do solo).

Após a homogeneização das amostras de solo, ocorreu a classificação das mesmas quanto ao traço de estudo que apresentavam.

Os solos preparados foram acondicionados em sacos plásticos para melhor comodidade de manuseio e proteção contra possíveis contaminações.

4.2.3 Caracterização do solo

Devido à necessidade de avaliação destes solos quanto à sua aplicação, ensaios de caracterização geotécnica foram realizados nos solos homogeneizados. Estes ensaios serão descritos a seguir, onde foram executados para a preparação das amostras, os procedimentos descritos na norma brasileira NBR 6457 (1986), tais como secagem prévia, destorroamento e peneiramento na peneira de malha 4,8 mm.

4.2.3.1 Teor de umidade

O teor de umidade é a relação entre a massa de água (obtida pela diferença de massas entre o solo úmido e o solo seco) e a massa de sólidos (solo seco) existentes em um mesmo volume de solo.

Para a realização deste ensaio, foram seguidas as especificações da norma brasileira NBR 6457 (1986). É importante ressaltar que em todos os ensaios de caracterização é feita a determinação do teor de umidade.

CONSOLI (1997); SEGANTINI e CARVALHO (1994); SEGANTINI e CARVALHO (2000-a); SEGANTINI e CARVALHO (2000-b); VIEIRA *et al.* (2002), para elaborar o gráfico.

4.2.3.2 Massa específica dos sólidos

É o valor médio da massa específica de cada um dos tipos de grãos minerais que constituem a fase sólida de um solo. A massa específica dos sólidos é também denominada de massa específica dos grãos.

Para a execução deste ensaio, fora observada as especificações da norma NBR 6508 (1984). Foram realizadas um mínimo de 3 determinações para cada mistura de solo, onde foram considerados satisfatórios, os ensaios que apresentaram resultados com diferença menor que $0,02 \text{ g/cm}^3$ da média, valor este correspondente à massa específica dos sólidos.

4.2.3.3 Limites de Consistência

Chamados também de limites de Atterberg, consistem na determinação dos teores limite de umidade entre os estados de consistência líquido, plástico, semi-sólido e sólido, determinados em solos finos ou em frações finas dos solos. Tais limites são divididos em:

- Limite de Liquidez (LL): limita a umidade entre o estado líquido e o estado plástico
- Limite de Plasticidade (LP): limita a umidade entre o estado plástico e o estado semi-sólido.
- Limite de Contração (LC): limita a umidade entre o estado semi-sólido e o estado sólido.

No presente trabalho foram determinados apenas os limites de liquidez e de plasticidade.

O ensaio para a determinação do limite de liquidez pode ser executado utilizando dois procedimentos diferentes:

- determinação do limite de liquidez através do aparelho de Casagrande;

- determinação do limite de liquidez através do penetrômetro – Ensaio do cone.

Em ambos os ensaios são determinados pares de valores, de forma que permita construir um gráfico. Do ensaio com o aparelho de Casagrande pretende-se obter uma reta utilizando os valores referentes ao número de golpes versus teor de umidade, onde irá determinar-se o limite de liquidez como sendo o valor correspondente a um número de golpes igual a 25, sendo seu valor expresso em porcentagem inteira.

Do ensaio do cone obtém-se outra reta com valores de penetração do cone versus o teor de umidade. O limite de liquidez equivale então ao teor de umidade correspondente à uma penetração do cone de 20 mm.

Foi escolhido o ensaio utilizando o aparelho de Casagrande realizado seguindo as especificações da norma NBR 6459 (1984) e os procedimentos do Laboratório de Construção Civil e Materiais da Faculdade Metropolitana de Marabá. O ensaio do cone por seguir apenas os procedimentos do Laboratório, uma vez que não se encontrou norma referente a este ensaio, fora descartado.

A determinação do limite de plasticidade seguiu as especificações da norma NBR 7180 (1984). Portanto, o limite de plasticidade foi determinado a partir da média de valores dos teores de umidade correspondentes aos cinco cilindros de solo de cada traço estudado, e obedecendo um desvio de menos de 5% em relação à média.

4.2.3.4 Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação do tamanho dos grãos e suas respectivas porcentagens de ocorrência. Esta determinação foi executada seguindo as especificações da norma NBR 7181 (1984).

Para o peneiramento grosso utilizou-se o material retido na peneira # 10 (2,0 mm) e passante na peneira de 76 mm. O material passante na peneira # 10 (2,00 mm) foi usado na determinação do teor de umidade da amostra e na sedimentação. Do material da sedimentação utilizou-se a porção que ficou retida na peneira # 200 (0,075 mm) para o peneiramento fino.

As peneiras de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm foram utilizadas no peneiramento fino, sendo que para o peneiramento grosso, foram utilizadas as peneiras de 9,5; 4,8 e 2,0 mm.

A partir das massas retidas em cada peneira, determinou-se as porcentagens de solo referentes aos determinados diâmetros das partículas de solo nos peneiramentos grosso e fino. Na sedimentação, a partir das leituras de densidade da solução, pode-se estabelecer a porcentagem de solo referente a cada dimensão de partícula, determinando a curva granulométrica do material e a classificação do solo utilizado.

4.2.3.5 Procedimento do ensaio de retração

Nem todos os tipos de solo podem ser utilizados no processo, como já frisado, porém caso ele não atenda as características desejadas, pode-se adotar o usual procedimento de adição de areia. Este trabalho utilizou o procedimento descrito por Vieira *et al* (2007) para o ensaio de retração, de forma sintética:

deve ser utilizada uma porção de solo destorroado e peneirado;

- a água deve ser misturada à composição, até que o solo comece acumular na espátula;
- após, o solo umedecido é colocado sem compactar, em uma caixa de madeira com as dimensões internas de 60 x 85 x 35 mm, previamente lubrificada;
- a mistura então é distribuída uniformemente, até preencher todo volume interno da caixa;
- a superfície é nivelada com auxílio de uma régua;
- após, levanta-se e deixa-se cair uma das extremidades, de altura aproximada de 7cm, por duas vezes, repetindo a mesma operação com a outra extremidade para uniformizar o adensamento.
- deixar a caixa guardada, em um ambiente fechado, ao abrigo do sol e da chuva, durante sete dias; e
- após este período, fazer a leitura da retração nas extremidades e nas trincas, no sentido do comprimento da caixa. Se a soma não ultrapassar 2cm, o solo pode ser utilizado; caso contrário, adicionar areia até obter um solo com as características desejadas. (VIEIRA *et al*, 2007, pg. 47).

4.2.4 Ensaios de compressão nos corpos-de-prova de solo

Para caracterizar mecanicamente do tijolo solo cimento e verificar sua adequabilidade a normativa, como também, um estudo comparativo com tijolos solo cimento, com a adição de rejeito mineral, foi escolhido o ensaio de compressão. A resistência mecânica à compressão é realizada de acordo com a norma NBR 12025:2012

Primeiramente, partiu-se para escolha da dimensão do corpo de prova, e, o traço adotado, que foi o mesmo utilizado pela empresa. Foram submetidos corpos-de-prova de solo, com e sem adição mineral.

4.2.4.1 Dimensão dos corpos-de-prova de cilíndricos

Segundo a norma brasileira NBR 12024 (2012) que trata da moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento, as dimensões especificadas para tais corpos-de-prova são diâmetro de 100 mm e altura de 127 mm. Tais dimensões são contempladas também pelas normas NBR 7182 (1986) e NBR 12023 (2012) que tratam da metodologia de ensaios de compactação em solo e solo-cimento respectivamente. A NBR 12025 (2012) que trata da metodologia de ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos também referência estas dimensões.

A norma americana ASTM D 2166-91, no entanto, ao tratar da compressão simples em corpos-de-prova de solo refere-se a corpos-de-prova de 30 mm de diâmetro mínimo com relação altura-diâmetro de 2 a 2,5. A prática brasileira adota ainda corpos-de-prova de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, dimensões estas contempladas pela NBR 7215 (1996) que trata da metodologia de ensaio para a determinação da resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de argamassa. Por ser a areia utilizada na argamassa um solo e as misturas solo-cimento e solo-cimento com rejeito mineral utilizadas no estudo possuem uma granulometria semelhante à areia, admite-se que a norma de argamassa, NBR 7215 (1996), possa ser utilizada para a determinação das dimensões do corpo-de-prova. Como pode ser aqui observado, existem algumas variações no que diz respeito a dimensão dos corpos-de-prova. O mesmo foi adotado por Silva (2005) encontrado resultados satisfatórios.

Silva (2005) analisou corpos-de-prova com as seguintes dimensões em milímetros: 35x87,5 e 50x100 (diâmetro x altura), moldados através da aplicação de pressão por camadas, conhecido por “pisoteamento”. Notar que ambas as medidas estão de acordo com as prescrições da norma americana ASTM D 2166-91. Nessa determinação concluiu que para uma melhor retratação dos resultados os corpos-de-prova a serem usados nos ensaios de compressão em corpos-de-prova cilíndricos de solo, solo-cimento e solo-cimento e resíduos (fibras) deveriam possuir as mesmas dimensões, sendo adotado então a dimensão de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura para todas as misturas, já que os resultados de ensaio dos corpos-de-prova com as dimensões 35x87,5 mm e 50x100 mm não apresentaram diferenças significativas, o que foi adotado neste trabalho.

4.2.4.2 Dosagem dos corpos-de-prova

Preparação da mistura do solo destorroado e o cimento foram misturados como se fossem uma argamassa, com o intuito de apresentarem o aspecto de completa homogeneização, que foi estipulado neste trabalho que quando a mistura adquiriu uma coloração uniforme, prática observada por algumas empresas que confeccionam tijolos solo-cimento em loco.

A mistura foi então distribuída em uma base e foi adicionado o percentual de água necessário, em forma de spray, até atingir a umidade ideal. A quantidade de água adicionada à mistura foi a suficiente para hidratar o cimento e propiciar a compactação máxima, mensurada de forma empírica pela empresa.

Os autores nos artigos pesquisados indicam a seqüência que proporciona uma melhor homogeneização dos materiais utilizados na mistura: solo, cimento, água e posteriormente adiciona-se o rejeito mineral. Porém, considerando aspectos texturais do solo utilizado, observou-se a necessidade de uma alteração nesta seqüência. A seqüência utilizada foi então: solo, cimento e rejeito mineral e posteriormente adicionou-se a água:

- (a) Colocação do solo
- (b) Colocação do cimento

- (c) 1ª homogeneização do solo e do cimento
- (d) Acréscimo do rejeito mineral
- (e) 2ª homogeneização do solo, do cimento e do rejeito.
- (f) Colocação da água
- (g) 3ª homogeneização da mistura solo-cimento-rejeito

Essa alteração proposta também no trabalho de Silva (2005) justifica-se por ser identificado de forma empírica, que a presença de partículas finas no solo torna-o mais plástico, o que dificulta a mistura dos resíduos (serragem no trabalho de Silva, 2005) ao solo-cimento quando colocado após a água.

A porcentagem de cimento foi definida a partir de valores utilizados na prática conforme foi descrito na bibliografia consultada. Os valores não divergiam dos adotados na empresa. Adotou-se, portanto a proporção de 9% de solo seco em relação à massa de cimento (no caso da mistura solo-cimento-rejeito, a proporção foi definida em relação à soma da massa do solo seco e da massa do rejeito). Já a quantidade de água a ser adicionada seguiu os parâmetros da empresa. A porcentagem de resíduos foi determinada em relação à massa de solo seco.

Como a proposta deste trabalho foi a verificação da adequabilidade aos parâmetros da norma de uma dosagem de rejeito, foram testados quatro teores de diferente de rejeito (0,5%; 1%; 2% e 3%), dos quais, mediante seu comportamento mecânico determinou-se a dosagem ótima. Esses percentuais foram adotados conforme o trabalho de Silva (2005), porém resolveu-se testá-los novamente devido a diferença química dos solos utilizados pela autora e o diferente material de acréscimo utilizado nesse trabalho. Este traço utilizado para os corpo-de-prova de solo, mantiveram-se para os tijolos solo cimento.

Partindo-se, portanto da massa específica aparente seca máxima do ensaio de compactação do solo-cimento, foram mantidas as dosagens definidas alterando-se apenas a quantidade de solo que reduziu proporcionalmente ao acréscimo de resíduo (parte do solo seco foi substituída por teores de rejeito). Desta forma se garantiu que a relação em peso entre o cimento e o solo mais rejeito foi, praticamente, sempre a mesma para uma dada porcentagem de cimento. Os traços utilizados foram os seguintes (Tabela 5):

Tabela 5 Traços que serão utilizados.

	Cimento: solo seco: rejeito				
Rejeito%	0%	0,5%	1%	2%	3%
Traço	1:9:0	1:8,95:0,05	1:8,9:0,1	1:8,8:0,2	1:8,7:0,3

4.2.4.3 Preparação dos corpos-de-prova

Para os ensaios de compressão simples do solo, seguiram-se os procedimentos das especificações da norma americana ASTM D 2166 (1991), como ainda, as especificações das normas brasileiras NBR 12023 (2012), NBR 12024 (2012) e NBR 12253 (2012). Após a preparação da mistura, a mesma foi transferida a um molde de PVC de 38 mm de diâmetro, disposto em uma base e lubrificado previamente com óleo, onde este forneceu a forma cilíndrica, como mostra o esquema da Figura 12.

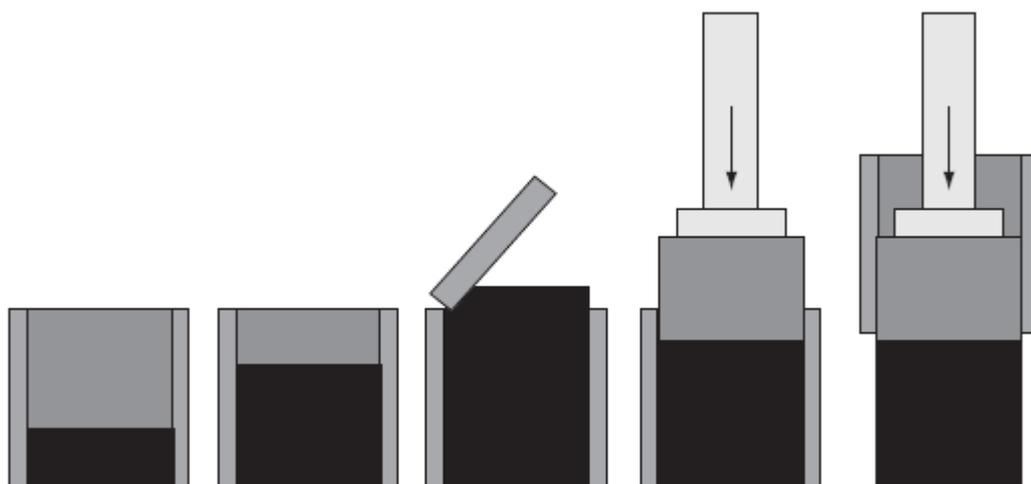


Figura 12 Moldes em PVC e procedimento de preparação dos corpos-de-prova.

O preenchimento do molde foi realizado em etapas para garantir a homogeneidade da mistura.

Após a composição atingir a altura do molde, utilizou-se uma espátula para ajustar o excesso de material na extremidade superior deste.

Foi sempre necessário o controle da pressão de compactação que era exercida pelo êmbolo, para que o corpo de prova se apresentasse coeso e homogêneo.

A extração do corpo de prova ocorreu através da pressão exercida na extremidade superior pelo mesmo êmbolo.

Na etapa final ocorreu o ajuste das rebarbas do bloco cilíndrico e o encaminhamento para a fase de cura.

4.2.4.4 Cura

No caso dos protótipos de tijolo solo-cimento com rejeito, propriamente dito, com o traço de referência e os demais traços de estudo, após a etapa de fabricação, durante o período de cura, os mesmos foram submetidos à pesagem para acompanhar a perda de água, e como de praxe, ficaram cobertos, reservados à sobra. A secagem foi realizada por convecção natural. Enquanto que, os corpos de prova de solo, durante os sete primeiros dias, permaneceram no recipiente de apoio.

Após isso, os corpos-de-prova foram curados em câmara úmida com umidade relativa em torno de 100% e temperatura de $23 \pm 0,2$ °C durante sete dias. Após a cura, os corpos-de-prova permaneceram imersos em recipientes com água durante 4 horas (NBR 12025, 1990). Os corpos-de-prova tiveram suas dimensões (diâmetro e altura) medidas logo após a moldagem, após a cura e antes da imersão em água e após a imersão em água.

4.2.5 Ensaio de compressão em tijolos solo-cimento

A NBR 8492:2012, define um método para determinação da resistência a compressão dos tijolos solo-cimento, segunda a qual, os tijolos devem ser cortados ao meio, perpendicularmente a sua maior dimensão, superpor, por suas faces maiores, as duas metades, ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland (ABNT, 2012c). A resistência a compressão deve atender os requisitos da NBR 8491:2012, não

apresentando média dos valores inferiores a 2,0 MPa. Valores que apresentassem discrepância superiores a 5% resultaria no descarte do lote.

4.2.6 Análise dimensional

A NBR 8492:2012, define um método para determinação variabilidade dimensional que não deve ser estar ultrapassar ± 1 mm.

4.2.7 Procedimento do ensaio de absorção de água

Verificada a adequabilidade ao requisito de retração, realiza-se o ensaio de absorção de água. O procedimento do ensaio de absorção de água para tijolos solo-cimento obedece à norma NBR 8492/2012, sendo que consta que a absorção de água de um tijolo solo-cimento, para valores individuais não deve ultrapassar 20%.

4.2.8 Ensaio de envelhecimento

O objetivo do ensaio de envelhecimento é avaliar a influência do meio na degradação das propriedades mecânicas. Neste projeto, o material foi submetido à condição de envelhecimento em câmara por ação de raios UV e vapor d'água (envelhecimento acelerado). Todos os tijolos submetidos ao envelhecimento acelerado foram ensaiados em ciclos, alternados, diários de radiação (18 horas) e vapor d'água (6 horas) até atingir o tempo estimado (escolhido) através da norma ASTM G-53-96, que foi de 1512h de radiação UV-A e UV-B.

A temperatura no interior da câmara de envelhecimento e no ambiente de teste foi medida diariamente. A temperatura média do ambiente foi de 29°C. Já a temperatura média no interior do equipamento com a emissão de vapor foi da ordem de 61°C, com variação de ± 5 °C. As condições de umidade foram para emissão de vapor d'água com 95% de umidade relativa. A temperatura média da área de radiação era de 60 °C, com variação de ± 3 °C.

Antes de iniciar o envelhecimento todos os corpos-de-prova foram secos em estufa a 50 ± 2 °C por vinte e quatro horas. Após esse período as amostras foram rapidamente removidas da estufa e pesadas em balança analítica. Em seguida, esses corpos-de-prova foram transferidos para a câmara de envelhecimento e iniciado o condicionamento.

Semanalmente todos os corpos-de-prova foram removidos da câmara por pequenos intervalos de tempo para fazer a medição da perda de massa em uma balança analítica, com precisão de 0,1 mg. O efeito dessa remoção sobre a perda de massa fora desprezado.

Visando manter a umidade absorvida na emissão de vapor d'água, até a pesagem dos tijolos, adotou-se o seguinte procedimento: foi realizada uma operação de remoção dos tijolos, semanalmente, com rapidez, e as amostras imediatamente armazenadas em uma embalagem plástica, envolvidas por um pano úmido, para evitar que o contato com o ar ambiente interferisse no conteúdo de perda de massa.

Os ciclos de exposição à radiação UV e vapor de água foram alternados e independentes. Apenas uma face do corpo-de-prova sofre os efeitos da degradação, conforme recomenda a norma ASTM G53-96. Durante a exposição aos raios UV as lâmpadas (com emissão característica UVA e UVB) são desligadas e a face oposta do tijolo (que não está sofrendo degradação) é refrigerada pelo ar ambiente. A umidade é gerada pelo aquecimento (por resistência elétrica blindada) e evaporação da água contida em reservatórios posicionados na base da câmara, sob os tijolos.

4.2.8.1 Construção da câmara de envelhecimento acelerado

Equipamentos de envelhecimento acelerado de polímeros e compósitos estão disponíveis no mercado a um custo relativamente elevado e nem sempre atendem de modo adequado às condições específicas dos projetos de pesquisa.

Assim, optou-se neste trabalho pela construção de um simulador ambiental para envelhecimento acelerado de polímeros e compósitos, seguindo as recomendações da norma ASTM G53-96 e de um artigo da literatura (SARON *et al*, 2000). O equipamento

foi construído com recursos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Alguns detalhes da construção do equipamento são apresentados a seguir.

O equipamento é relativamente simples e foi construído a um custo reduzido. Consiste basicamente, em uma câmara onde os corpos-de-prova são expostos a duas condições ambientais em ciclos alternados: radiação UV (simulando a luz solar) e vapor de água (simulando a questão da umidade). Desse modo, é possível mensurar o impacto físico do intemperismo nos tijolos solo cimento (Figura13).



Figura 13 Câmara de envelhecimento acelerado

A câmara é composta por dois módulos básicos. No primeiro têm-se as chaves de controle para acionamento das lâmpadas, resistência elétrica e ventoinha (para circulação de ar no interior da câmara). O segundo é o corpo principal da câmara onde são posicionadas as quatro lâmpadas e os corpos-de-prova. Os reatores, a fiação e demais componentes utilizados na instalação elétrica são acondicionados na parte traseira do equipamento.

O equipamento foi projetado para corpos-de-prova de tração, flexão e compressão, dimensionados conforme norma da ASTM G-53-96, porém é possível, com algumas alterações, acondicionar corpos-de-prova com dimensões diferentes das inicialmente projetadas (Figura 14).



Figura 14 Câmara de envelhecimento acelerado com dois tijolos solo cimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES PRELIMINARES

Serão apresentados os resultados concernentes a caracterização do rejeito, do solo, e os ensaios exigidos por norma para o tijolo solo-cimento, assim como o resultado encontrando ao submeter os tijolos à câmara de envelhecimento acelerado. Os valores individuais das amostras ensaiadas para os ensaios de compressão dos tijolos solo cimento e absorção, que são os ensaios previsto na NBR 8491:2002, constam no Apêndice 2, no capítulo 5 serão apresentados os resultados da soma aritmética dos valores obtidos nos ensaios.

Considerando que os tijolos solo cimento em todos os traços estudados foram desenvolvidos dentro do processo tecnológico da empresa que serviu de estudo de caso, com a única modificação no seu processo tecnológico sendo a adição do rejeito a mistura, pode-se estimar que a interferência no método de trabalho é mínima, e não representando impacto significativo, podendo facilmente ser implementado (Apêndice 1 detalha o processo de confecção dos tijolos)

5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DO REJEITO

O difratograma da figura. 15 destaca os picos principais de cada fase do rejeito. Pelo difratograma, tem-se que o rejeito é bastante complexo em sua composição mineralógica com grande variedade de minerais, o que ocasiona uma sobreposição de alguns picos, dificultando a interpretação.

Os altos teores de sílica e alumina encontrados na análise química (tabela 6) podem ser justificados pela presença de caulinita (Figura 15), presente, possivelmente em grande quantidade, devido aos altos picos desta fase. O alto teor de manganês presente, apesar de o material ser considerado rejeito, pode ser devido à presença de outros minerais com estrutura cristalina similar, e isso ter influenciado este pico.

Na tabela 6 ainda são apresentados os valores da análise química do solo e do rejeito. O solo apresenta alto teor de SiO_2 devido, possivelmente, ao alto teor de quartzo livre, além de ferro e alumínio em suas formas de óxidos.

O rejeito apresenta altos teores de sílica, que é característico dos rejeitos minerais, além de quantidades expressivas de alumina, hematita e óxido de manganês.

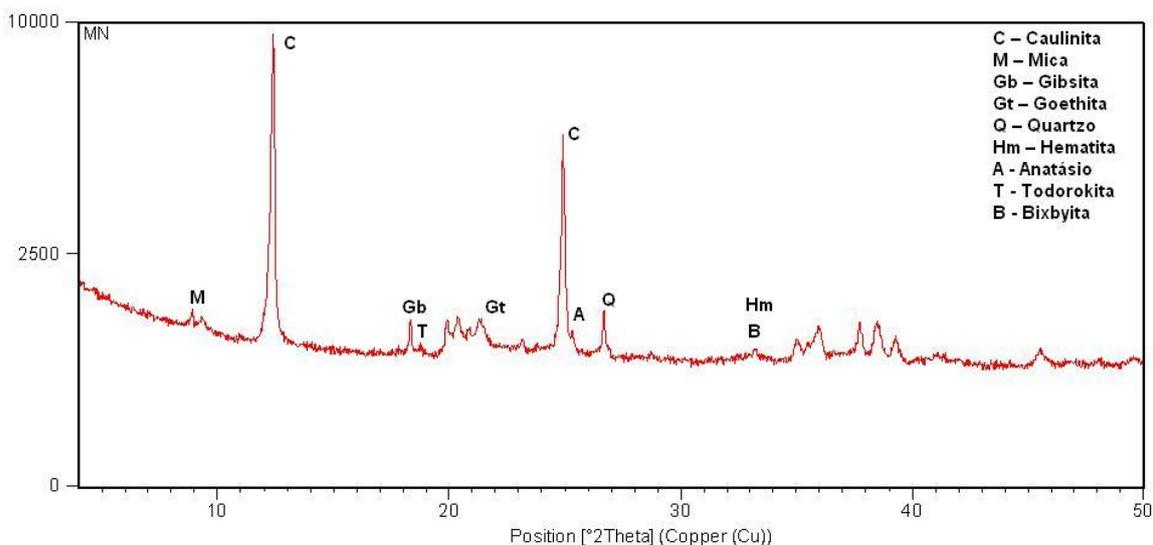


Figura 15 Difratoograma do rejeito de manganês

Tabela 6 Análise química.

Conc. (%)	Al ₂ O ₃	Fe ₃ O ₂	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	P.F.*
Solo	20,17	5,96	1,62	0,53	-	0,34	0,13	61,64	0,84	0,04	8,73
Rejeito	26,72	10,97	0,47	0,18	16,08	-	0,11	30,48	1,00	-	13,91

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Para a classificação do solo (homogeneizado), foram realizados ensaios de caracterização. Sabendo-se que o volume de solo mobilizado era elevado, foi realizado um número de ensaios necessário para tornar a caracterização representativa. Por ser a granulometria uma variável muito importante para a escolha do solo a ser utilizado, um mínimo de quatro análises granulométricas foi executado. Os demais ensaios de caracterização foram realizados, sendo seus resultados analisados simultaneamente à execução. Desta forma, a proximidade entre resultados de ensaios, foi o critério utilizado para determinar se o número de ensaios estava satisfatório ou não. A caracterização dos solos pode ser vista na tabela 7 e tabela 8, e, a análise granulométrica está na tabela 9. Os valores apresentados nestas tabelas foram obtidos a partir das médias aritméticas dos resultados dos ensaios. Conforme estipulado, não podendo ter valores com discrepâncias superiores a 5% da média.

5.2.1 Teor de umidade e massa específica

Pode-se observar na tabela 7, um decréscimo do teor umidade conforme é acrescentado proporções maiores de rejeito e analisando os valores de massa específica, eles também se elevam conforme aumenta a quantidade de rejeito. Pode-se supor que com o aumento de gramas por metros cúbicos conforme é acrescido o rejeito, poderia estar ele preenchendo os vazios do solo, limitando os espaços que poderiam porventura serem ocupados pela água (umidade). Este processo poderia influir de forma positiva na absorção do tijolo solo-cimento.

Tabela 7 Teor de umidade e massa específica dos solos, conforme traços.

	Teor de Umidade (%)	Massa específica (g/cm ³)
SC + 0,0%	22,1	2,670
SCR+ 0,5%	18,9	2,672
SCR+ 1,0%	17,3	2,675
SCR + 2,0%	16,5	2,707
SCR+ 3,0%	14,2	2,790

5.2.2 Limites de Atterberg

Os Limites de Atterberg estão na tabela 8, conforme a adição de rejeito no solo aumenta, a plasticidade sofre uma ligeira redução, o que pode, possivelmente, estar relacionado com a diminuição do teor de umidade.

Tabela 8 Limites de Atterberg, sem adição e com as adições do rejeito.

	LL	LP	IP
SC + 0,0%	27,7	18,0	9,4
SCR+ 0,5%	21,9	15,8	6,1
SCR+ 1,0%	21,6	15,7	5,9
SCR + 2,0%	21,4	15,6	5,8
SCR+ 3,0%	21,4	15,6	5,8

5.2.3 Análise Granulométrica

Nota-se pela composição granulométrica do rejeito (tabela 9), que não se trata de um excelente material para corrigir a granulometria dos solos, ou seja, torná-los mais arenosos e propícios à confecção do solo-cimento. Todavia o solo, segundo a análise granulométrica já possui uma proporção arenosa considerável. Além do que, uma proporção com mais de 20% de silte e argila, e por volta de 80 % de fração areia tenderia a reduzir o consumo de cimento.

Tabela 9 Análise granulométrica do solo, do rejeito e da mistura solo-cimento (SC) com o rejeito (SCR).

	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa
Solo	20	19	58	3,0	0,0
Rejeito	54,4	37,4	8,2	0,0	0,0
SC+ 0,5%	11,5	17,7	56,4	14,4	0,0
SCR+ 1,0%	19,2	10,7	47,8	22,4	0,0
SCR + 2,0%	20,9	8,5	42,7	27,8	0,0
SCR+ 3,0%	21,9	7,5	41,0	29,5	0,0

Para a escolha do solo pode-se considerar os critérios contidos nas normas da ABNT, NBR 10832, NBR 10833, NBR 11798 e NBR 12253 reunidas na Tabela 10.

Tabela 10 Características dos solos para produção de tijolo solo-cimento.

Características	Condições (%)
% de solo que passa na peneira ABNT 4,8 mm (n.º 4)	100
% de solo passa na peneira BNT 0,075 mm (n.º 200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

E conforme visto nas tabelas 8, 9, e 10, o solo utilizado atende as especificações.

5.2.4 Retração linear

O ensaio realizado com o solo natural, sem adição de rejeito, apresentou uma fenda na parte central da amostra e a retração total foi de 9 mm, abaixo do limite

recomendado pelo CEPED (1999), que é de 20 mm. Desta forma, o solo natural utilizado neste trabalho é apropriado para a confecção do solo-cimento, conforme os demais dados de caracterização explicitam (tabela 11). Nota-se ainda que, com a adição do rejeito, houve uma diminuição considerável nos valores de retração linear identificados. Outro fato relevante é que não houve surgimento, em nenhuma das amostras, de fendas na parte central, significando, portanto, haver uma forte tendência de redução da retração por secagem em virtude da incorporação do rejeito (Figura 16).

Tabela 11 Resultados do ensaio de retração linear.

Retração linear (mm)	
SCR + 0,0%	9,0
SCR+ 0,5%	7,9
SCR+ 1,0%	7,0
SCR + 2,0%	6,7

Os valores estão menores que o limite estabelecido como critério pelo manual do CEPED (1999).



Figura 16 Ensaio de retração linear com o traço que continha 0,1 % de rejeito.

5.3 ABSORÇÃO

Segundo a NBR 8491:2012 os valores não devem ser superiores a 20%, logo, todos os traços estão de acordo com a norma. Como demonstrado nos resultados de

absorção de água na tabela 12, pode-se perceber que com o aumento do acréscimo de rejeito mais se afasta do valor limite estipulados pela norma NBR 8491/2012 (Figura 17).

Uma explicação possível seria pelo fato de que, os tijolos apresentaram menor porosidade, devido as granulometrias maiores conseguirem um melhor empacotamento de partículas e com a saída da água na cura, as partículas tendem a se aproximar. Dessa forma quando a água do sistema é retirada, ele se conservará na forma dada pelo intertravamento entre as partículas, justificando assim a menor absorção de água; além da melhor homogeneidade.

Ainda somado a isso, teria o fato que de devido a granulometria do rejeito, quanto maior sua quantidade, considerando apenas essa variável, mais ele ocuparia os possíveis vazios da estrutura.

Tabela 12 Porcentagens de absorção de água para o tijolo solo cimento sem adição é com as proporções de adição de rejeito.

	Absorção (%)
SC + 0,0%	17,4
SCR+ 0,5%	14,3
SCR+ 1,0%	13,2
SCR + 2,0%	12,5
SCR+ 3,0%	11,5



Figura 17 Tijolo solo cimento sem rejeito, note-se a quantidade de ar incorporado que a é liberado ao imergi-lo para o ensaio.

5.4 ANÁLISE DIMENSIONAL

Considerando que os tijolos solo cimento, tanto os de referência, como os com os traços utilizados nesse estudo, foram confeccionados com uma prensa hidráulica, nenhum tijolo ensaiado apresentou variação maior ou menor do que as dimensões da forma do equipamento.

Mesmo os que foram aferidas as dimensões após os ciclos na câmara de envelhecimento acelerado, também não apresentaram variações dimensionais significativas.

5.5 COMPRESSÃO SIMPLES

Os dados foram obtidos nos corpos de prova cilíndricos, nos traços estipulados e em tijolos solo cimento, sem e com adição de rejeito, também, com os traços definidos no trabalho (Figura 18). Com exceção dos valores obtidos para o corpo de prova com 0,5% de rejeito mineral, todos os demais, estão de acordo com a norma NBR 8491:2012, com valores superiores 2,0 MPa após 28 dias (Tabela 13).



Figura 18 Tijolos solo cimento com rejeito preparados para serem submetidos ao ensaio de compressão.

Tabela 13 Resultados do ensaio de compressão simples para corpos de prova cilíndricos e para tijolos solos cimento com e sem rejeito mineral.

Traços	Compressão Simples nos Corpos de prova (MPa)		Compressão Simples nos Tijolos (MPa)	
	07 dias	28 dias	07 dias	28 dias
SCR + 0,0%	2,95	3,12	2,97	3,15
SCR+ 0,5%	2,94	3,27	3,25	3,28
SCR+ 1,0%	3,25	3,30	3,27	3,31
SCR + 2,0%	3,31	3,32	3,32	3,33
SCR + 3,0%	3,32	3,33	3,32	3,34

A figura 19 apresenta o gráfico para compressão simples dos tijolos solos cimento conforme os traços estudados, levando em consideração que os corpos de prova cilíndricos de solo cimento com os traços de rejeito, foram feitos apenas para serem compatíveis, não foram expressados graficamente, lembrando que a NBR 8491:2002 apenas preconiza, análise dimensional, absorção de água e compressão simples em tijolos solo cimento.

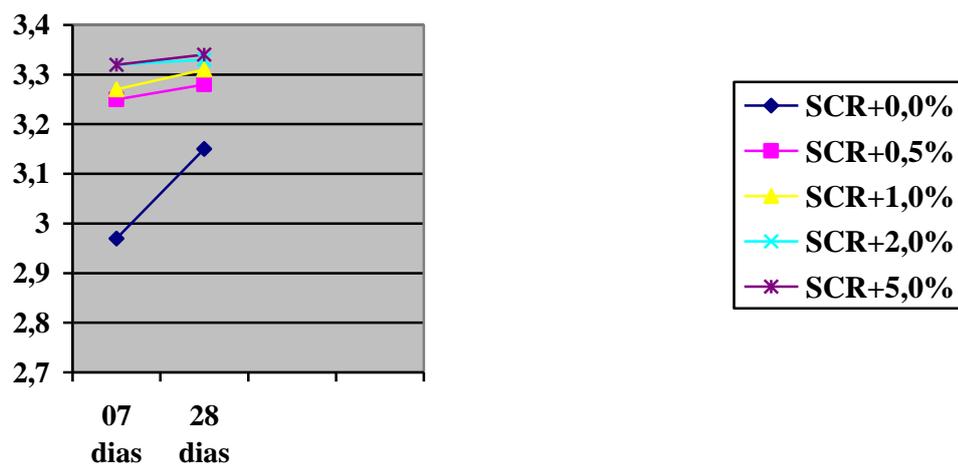


Figura 19 Gráfico da compressão simples dos tijolos solos cimento com os valores de MPa aos 7 e 28 dias.

Vale ressaltar que a norma preconiza que os valores obtidos de forma não apresentem considerável discrepância. Desse modo os resultados expressos na tabela foram obtidos a partir de somas aritméticas dos resultados obtidos nos ensaios, todos com discrepância inferior a 5% em todos os cinco lotes (maiores detalhes constam no apêndice 2). Caso isso não acontecesse, o lote teria que ser rejeitado.

5.6 ESTUDO DA PERDA DE MASSA CAUSADA PELO ENVELHECIMENTO ACELERADO

Os percentuais de perda de massa dos tijolos solo-cimento expostos ao envelhecimento são apresentados na figura 21. Os mesmos são resultados de valores médios obtidos nos tijolos solo-cimento através de pesagem quizenal dos tijolos submetidos a ação da câmara (Figura 20).

No trabalho de Rodrigues (2007), no qual realizou ensaio semelhante, porém perda de massa em laminado, após 63 dias de exposição à radiação UV, intercaladas com um período de 6 horas de exposição de vapor d'água, utilizou a lei de Fick como porcentagem em massa seca, expressa que equação:

$$M\% = \left\{ \left[\frac{(M_a - M_s)}{M_s} \right] \times 100 \right.$$

A prazo da ciclagem proposta por Saron *et al* (2000) não foi adotado, pois aferindo-se valores após a oitava semana de ensaio, os tijolos solo-cimento ensaiados não apresentavam mais variação de massa, optando-se por prosseguir o ensaio até sexagésimo terceiro dia, e como não ocorria mais variação, por questões gráficas foram omitidos os três últimos dias, por não mostrarem variação, e encerrado o ensaio.



Figura 20 Tijolo solo cimento submetido a ciclo de exposição a UVB.

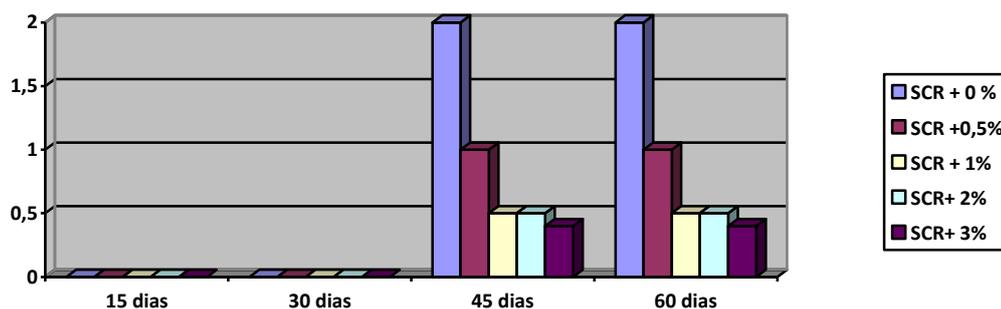


Figura 21 Com os resultados do ensaio de envelhecimento expresso em função da porcentagem de massa perdida em função do tempo decorrido em dias.

Como pode-se perceber as perdas em massa foram pouco significativas nos tijolos solo-cimento, principalmente naqueles que apresentam em seu traço adição de rejeito mineral.

No tocante a câmara de envelhecimento acelerado seu material constituinte interno apresentou danos, devido possivelmente, a degradação causada pela intensa radiação UVB, como ainda, a ação da umidade.

O equipamento continua funcional, todavia, faz-se necessário reparos significativos em sua estrutura física. Fato este que evidencia o efeito consistente de aceleração dos resultados negativos do intemperismo, que a câmara de envelhecimento acelerado consegue expressar em escala temporal menor.

Desse modo, mesmo com a adição de rejeito, o tijolo solo-cimento apresenta-se resistente aos principais agentes intempéricos da região.

6 CONSIDERAÇÕES

Em uma análise global é possível afirmar que o tijolo de solo-cimento com adição de rejeito mineral mostra-se promissor. Pode ser uma outra opção, frente a utilização quase que majoritária de tijolos convencionais quando trata-se de construção de habitações de interesse social. Vale ressaltar que, como não utiliza queima no seu processo de fabricação, não emite gás carbono como os tijolos cerâmicos calcinados convencionais.

O tijolo solo-cimento estudado neste trabalho, em todos os traços que foram utilizados, adequou-se a norma brasileira que regulamenta os requisitos para sua utilização, logo estando deste modo apto para uso. Mais do que isso, sem causar significativa interferência no ciclo produtivo já desenvolvido pelas fábricas de tijolo solo cimento da região.

O ensaio de envelhecimento mostrou que quantidades desprezíveis de material se desprendem do tijolo solo-cimento após dias de exposição, e caso exposto às intemperes apresentaria “resistência” (no sentido de suportar ação dos agentes intempéricos) satisfatória e mínimas chances de liberar ao meio ambiente o rejeito mineral. Lembrando que, mesmo se liberasse, o rejeito é considerado inerte, e está em quantidade deveras reduzida, o que não causaria alterações significativas.

A câmara de envelhecimento acelerado, oportunizou esta consideração anterior, entretanto percebe na literatura um escasso estudo a respeito do comportamento dos materiais expostos a condições ambientais. O que para além das questões estéticas é de sua importância se for analisada dentro visão do custo de manutenção. É crucial o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas que permitam avaliar a durabilidade dos materiais frente as ações do tempo e clima.

Outro aspecto salutar é que apesar da tecnologia de fabricação utilizar uma prensa hidráulica no fabrico dos tijolos, está pode ser se substituída por uma prensa manual, e como o processo é deveras simples, poderia naturalmente ser realizado pelos próprios moradores das habitações de interesse social, viabilizando ainda mais sua utilização em prol de um desenvolvimento de fato sustentável, tanto para o meio ambiente como para sociedade.

Uma solução inovadora precisa ser dada à questão dos insumos construtivos utilizados na região amazônica e um novo paradigma precisa ser formulado sobre o processo construtivos das habitações de interesse social, que permita atrelar o desenvolvimento em seu sentido mais próximo do pleno, não apenas levando em consideração o socioambiental de forma teórica, mas através de procedimentos práticos e concretos, em que fatores sociais e antropológicos de inserção do homem no seu processo de construção e transformação do espaço em território seja levado em consideração para assim caminhar-se para o ideário de sustentabilidade.

Recomenda-se alguns estudos para trabalhos futuros:

- replicação dos ensaios com teores mais elevados de rejeito mineral e análise química.
- análise de imagens da microestrutura do tijolo solo-cimento com rejeito mineral, antes e após os ciclos na câmara de envelhecimento acelerado;
- realização de uma análise comparativa com os tijolos convencionais;
- estudo do desempenho térmico e acústico de paredes construídas com este tijolo.
- Análise dos efeitos da lixiviação sobre os tijolos solo cimento.
- Aprimoramento dos materiais utilizados na construção da câmara de envelhecimento acelerado.
- Aprofundar os estudos a respeito da questão habitacional e aplicar em um estudo de caso a tecnologia desenvolvida.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K. **Introdução a gestão habitacional**. São Paulo, EPUSP, 1995. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/12.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio. ABCP, São Paulo, SP, **ET-35**, 51p, 1986.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-6457**: Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaio de caracterização. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986. 3p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-6508**: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 2p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-6459**: Solo - determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 3p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-7180**: Solo - determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 1p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-7181**: Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 13p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-8491**: Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 4p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-8492**: Solo - Cimento - tijolos maciços de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012. 5p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10004**. Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10832**: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com utilização de prensa manual. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012. 3p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10834**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012. 3p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10835**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012, 2p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10836**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012, 2p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-12023**: Solo-Cimento - ensaio de compactação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012. 9p.

AGOPYAN, V. **O emprego de materiais fibrosos na construção civil**. Anais do Simpósio Internacional sobre materiais reforçados com fibras para a construção civil, EPUSP, São Paulo. 1993. p.11-25.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard classification of soils for engineering purposes (Unified soil classification system)**. D 2487-93, Annual Book of ASTM Standards, v. 04.08. Philadelphia, PA, 1993. 11p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Practice for operating light-and water-exposure apparatus (fluorescent UV – condensation type) for exposure of nonmetallic materials** G53-96, Annual Book of ASTM Standards, G. 03.03. Philadelphia, PA, 1996. 11p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil** D 2166-91, Annual Book of ASTM Standards, v. 04.08. Philadelphia, PA, 1993. 11p.

ANDRADE, Luciana da Silva; DEMARTINI Juliana; CRUZ Rogério. *The banality of evil in architecture: challenges os the program Minha Casa, Minha Vida* (A banalidade do mal na arquitetura: desafios de projetos do Programa Minha Casa, Minha Vida). Revista *e-metropolis*. nº 17 ▪ ano 5 , junho de 2014.

ARAÚJO, E. S., HIDALGA, V., GIANNETI, B. F. e ALMEIDA, C. M. V. B. **Fundamentos de Físico-Química Industrial**. Universidade Paulista LaFTA – Laboratório de Físico-Química Teórica e Aplicada, São Paulo, 2007.

ARAÚJO, Roberto Antônio Dantas de. **O Ofício da Construção na Cidade Colonial - Organização, Materiais e Técnicas (O caso pernambucano)**. Tese de doutorado, FAU/USP. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Solo-cimento na habitação popular**. 1985. São Paulo. 14p. ilus. 30cm.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento**; normas de dosagem. 3. ed. rev. atual. São Paulo, 1986, 51p. (Estudo técnico, 35).

BERALDO, Antonio Ludovico; CARVALHO, José Vitório. ***Eucalyptus grandis wood –Portland cement particleboard***. Agribuilding 2001. 3-6 september 2001. Campinas, SP, Brazil.

BASSO, Rafael Vinícius; FERRAZ, Roberto Lopes; BELINCANTA, Antonio; RAMOS, Fabiano dos Santos. Aplicação do Método Físico-Químico de Dosagem de Misturas Solo-Cimento aos Solos Típicos do Noroeste do Paraná. In: **Anais do IV ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA**. Maringá-PR. 2003. Pg. 248-357.

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral – DNPM. Economia Mineral do Estado do Pará - 2011. **Boletim Informativo**. Belém/Pa, Abril, 2012.

BUENO, Beatriz. **Desenho e Designio: o Brasil dos Engenheiros Militares (1500-1822)**. Dissertação (Mestrado). FAU/USP, São Paulo, 2001.

BUENO B. S.; VILAR O. M. **Mecânica dos Solos**. Apostila nº 69, Imprensa Universitária, UFV, Viçosa-MG, 1980.

CABALA, Guillermo van Erven. **Estudo do comportamento de estruturas de solo-cimento reforçado com fibras de coco e hastes de bambu**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007.

CANETTIERI, Thiago. *Occupations, evictions and the struggle in urban space: the housing matter* (Ocupações, remoções e luta no espaço urbano: a questão da moradia). Revista *e-metropolis*. nº 17 ▪ ano 5 , junho de 2014.

CASTRO, Camila Gonçalves. **Estudo do aproveitamento de rejeitos do beneficiamento do manganês pela indústria cerâmica**. Dissertação. Universidade Federal de Ouro reto. Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Minas Gerais, 2011.

CASTRO, Sidcley Ferreira. **Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis**. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Cento de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2008.

CEBRACE - Centro Brasileiro de Construções e Equipamentos Escolares. **Solo-cimento na construção de escolas – SC01**. 2ª ed. Rio de Janeiro, MEC/CEBRACE, 1981. 39p. il. (sistemas construtivos 2).

CEPED - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. **Manual de construção com solo cimento**. Camaçari: CEPED, 116p, 1984.

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. **Tecnologia das Edificações**, Ed. PINI, São Paulo, 1988.

CONCIANI, Wilson; OLIVEIRA, José Luiz Malheiros de. **Moradias Populares – Opções para a melhoria da qualidade.** 199?. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec>. Acesso em 10 Outubro de 2009.

CONSOLI, N. C.; PRIETO, P. D. M.; ULBRICH, L. A. **Influence of fiber and cement addition on behavior of sandy soil.** Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1998, v. 124, n. 12, p. 1211-1214, *apud* MONTARDO, Júlio Portella; CONSOLI, Nilo Cesar; PRIETTO, Pedro Domingos Marques. **Comportamento mecânico de compósitos Solo-Cimento-Fibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes.** Revista Solos e Rochas, São Paulo. 24, (3): 191-209, Setembro-Dezembro, 2001.

CORDOVIL, Gilber Valério. **Pólo cerâmico e dinâmica territorial do desenvolvimento em São Miguel do Guamá – Pará.** orientador, João Santos Nahum. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém, 2010.

ERKMAN, J. S. **Cleaner Production**, 5 (1-2) (1997)

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos** - Brasília. Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999.

ENGELS, Friederich. **A Situação da Classe Trabalhadora na Inglaterra.** São Paulo: Editora Boitempo, 2008.

FERRAZ, R. L.; BELICANTA, A.; GUTIERREZ, N. H. M. **Estudo comparativo de alguns métodos de dosagens de misturas solo-cimento.** Editora EDUEM, UEM, Maringá, Paraná, 2000.

FERREIRA, Alexandre Rodrigues. Miscelânea histórica para servir de explicação do prospecto da cidade do Pará. 1783. *Apud* CRUZ, Ernesto Horácio. **As edificações de Belém – 1783 - 1911.** Conselho Estadual de Cultura. Belém-Pa. 1971.

FERREIRA, Régis de C.; FREIRE, Wesley J. Eficiência Da Estabilização do Solo e Qualidade de Tijolos Prensados de Terra Crua Tratada com Aditivos Químicos, Avaliadas pela Combinação de Testes Destrutivos e Não-Destrutivos. In: **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.24, n.3, p.501-511, set./dez. 2004.

FERREIRA, R. de C.; FALEIRO, H. T.; FREIRE, W. J. Desempenho Físico-Mecânico de Solo Argiloso Estabilizado com Cal e Silicato de Sódio Visando Aplicação em Construções Rurais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 35 (3): 191-198, 2005.

FIX, Mariana; ARANTES, Pedro Fioro. **Minha Casa, Minha Vida: uma análise muito interessante.** 2009. Disponível em: <http://turcoluis.blogspot.com/2009/08/minha-casa-minhavidaanalise-muito.html>. Acesso em: 15/04/2010

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de Tijolos odulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. São Carlos, 2003. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

GRAY, D. H.; AL-REFEAI, T. **Behavior of fabric versus fiber-reinforced sand**. Journal of the Geotechnical Engineering, New York, 1986, v. 112, n. 8, p. 804-820, *apud* MONTARDO, Júlio Portella; CONSOLI, Nilo César; PRIETTO, Pedro Domingos Marques. **Comportamento mecânico de compósitos Solo-Cimento-Fibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes**. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 24, (3): 191-209, Setembro-Dezembro, 2001.

GRAY, D. H.; AL-REFEAI, T. **Behavior of fabric versus fiber-reinforced sand**. Journal of the Geotechnical Engineering, New York, 1986, v. 112, n. 8, p. 804-820 *apud* SPECHT, L. P. *et al.* **Comportamento de misturas Solo-Cimento-Fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos**. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 25(1) 15-34, Janeiro-Abril, 2002.

GRAY, D. H.; MAHER, M. G. **Admixture stabilization of sands with random fibers**. 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, 1989, v. 2, p. 1363-1366, *apud* MONTARDO, Júlio Portella; CONSOLI, Nilo Cesar; PRIETTO, Pedro Domingos Marques. **Comportamento mecânico de compósitos Solo-Cimento-Fibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes**. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 24, (3): 191-209, Setembro-Dezembro, 2001.

HIDALGO-LÓPEZ, Oscar. **Bamboo-The gift of the gods**. Bogotá: Oscar Hidalgo-López Editor, 2003. 553p.

JOHN, V. M., **Reciclagem de Resíduos Sólidos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento** (tese de livre docência). EPUSP. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo:. 120p. 2000.

LIRA, Sérgio Roberto Bacury de. **Pólo oleiro-cerâmico de Abaetetuba expansão e crise**. Belém, PA: UFPA: NUMA-POEMA: IDESP. 1998.

LOPES, Wilza Gomes Reis. **A taipa de mão no Brasil**. I SIACOT – I Seminário Ibero-Americano de construção com terra, Anais. 16-18 setembro de 2002. Salvador, Ba, Brasil.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 1991.

MATTHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D. **Composite materials: engenering and science**. Great Britain. Chapman & Hall. 470p. 1994

MENDES, Armando Dias. **Amazônia – modos de (o)usar**. Manaus: Editora Valer, 2001.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 1-10, jan./abr. 2006.

MONTARDO, Júlio Portella; CONSOLI, Nilo César; PRIETTO, Pedro Domingos Marques. **Comportamento mecânico de compósitos Solo-Cimento-Fibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes**. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 24, (3): 191-209, Setembro-Dezembro, 2001.

NASCIMENTO, M. A.; CARVALHO, P. F. Pensando o Planejamento Ambiental para pequenas cidades: o caso de Perdões-MG. In: **Paisagens Geográficas e Desenvolvimento Territorial**. Auro Aparecido Mendes, Magda Adelaide Lombardo. Rio Claro: Programa de Pós Graduação em geografia – UNESP; Associação de Geografia Teórica- AGETEO, 2005.

NEVES, Célia M. M. **Novos materiais para melhoria da habitação popular**. Camaçari: CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. 1978.

NEVES, G. A.; BRASILEIRO, M. I.; OLIVEIRA, D. H. S.; OLIVEIRA, M. F. DE; OLIVEIRA, M. P. de; NÓBREGA, A. F. da; Campos M. S. DI; BARBOSA, N. P. Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland. In: Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não Convencionais: Habitações e Infra-Estrutura de Interesse Social Brasil-NOCMAT, 2004. **Anais Conferência Brasileira de Materiais. Tecnologias Não Convencionais: Habitações e Infra-Estrutura de Interesse Social Brasil-NOCMAT**. 2004, Pirassununga, SP, pp. 337-378, 2004.

O LIBERAL DO PARÁ. Edição de 21 de fevereiro de 1865.

OLIVEIRA, M. J. E. **A influência dos tratamentos simples para as fibras de malva empregadas em reforço de argamassa de cimento Portland**. São Paulo, 1989. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 170p. *Apud* RODRIGUES, Leonardo Pereira Sarmiento. **Efeito do envelhecimento ambiental acelerado em compósitos poliméricos**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007.

PAIXÃO, J. M. M.; AMARAL; J. C. MEMÓRIA; L. e. FREITAS. L. R. (1995) Sulphation of Carajás manganese ore. **Hydrometallurgy**, (39) 215-222.

PERCORIELLO, L. A. **Recomendações práticas para uso de tijolo furado de solo-cimento na produção de alvenaria**. Manual, São Paulo, 2003.

PÉREZ, D. V. & CASANOVA, F. J. Avaliação de três métodos de determinação de superfície específica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, 1994, v.18, p.151-153.

PESSOA, Francisco Hélio Caitano. **Análises dos solos de urucu para fins de uso rodoviário.** Distrito Federal, 2004. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Brasília.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas.** 3ª Edição. Oficina do Texto. São Paulo, 2006.

PINTO, C. S. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento.** ABCP, São Paulo, 1980.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento.** aedificandi - revista de arquitetura e construção. vol.I n.1, junho de 2006. São Paulo: Grupo de Pesquisa Arquitetura e Construção, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Mackenzie. Quadrimestral. 02-17. In: http://www.sahara.com.br/files/catalogos/estudo_solocimento.pdf. Acesso em 08 de janeiro de 2014.

RODRIGUES, Leonardo Pereira Sarmento. **Efeito do envelhecimento ambiental acelerado em compósitos poliméricos.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007.

SAMPAIO, J. A.; PENNA, M. T. M. Manganês - Mina do azul - Carajás/CVRD. [A. do livro] Centro de tecnologia mineral - CETEM. [ed.] J. A. SAMPAIO, A. B. LUZ e F. F. LINS. **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil.** Rio de Janeiro : CETEM, 2001, pp. 46-60.

SAMPAIO, João Alves; ANDRADE, Mônica Calixto de; DUTRA, Achilles Junqueira Boudort; PENNA, Márcio Torres Moreira. Manganês. Capítulo 24. **Comunicação Técnica** elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações Pág. 515 a 530. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Ministério de Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro. Dezembro, 2005.

SARON, C.; FELISBERTI, M. I.; SANCHEZ, E. M. S. Construção de um simulador ambiental para envelhecimento acelerado de polímeros. In: **Anais...** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências do Materiais 14, p. 51401-51409. São Paulo, 2000.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** Capítulo 4, Volume II, 1ª Edição, Editora Pini, São Paulo, 2001. p.46-143.

SILVA, Sandra Regina da. **Tijolos de Solo-Cimento Reforçado com Serragem de Madeira.** Dissertação. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

SUDAM. Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia. **II Plano Nacional de Desenvolvimento**. Programa de Ação do Governo para a Amazônia, Belém 1976.

SPECHT, L. P. *et al.* **Comportamento de misturas Solo-Cimento-Fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos**. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 25 (1) 15-34, Janeiro-Abril, 2002.

TAVEIRA, Eduardo Salmar Nogueira. **O solo-cimento no campo e na cidade. Construir, morar, habitar**. Coleção Brasil Agrícola, Ícone editora. 2ª edição. São Paulo, SP, 1987.

TEIXEIRA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas Rich; TOLEDO, M. Cristina Motta de Toledo; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra**. 2ª Edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009.

TOMÉ Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba-RS, 1997.

UCHIMURA, M. S. **Cintas de amarração com tijolo ecológico**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - Banco de Respostas - Resposta Técnica - Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, 10/01/2008. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>> Acesso em: 15 jun. 2007.

VELOSO, A. C. e CANELLAS L. P. **Notas de Aula da disciplina: Mineralogia e Química de Superfície de Solos**. (SOL – 3732). 2º Período, UENF/CCTA – LSOL, 2004.

VENTURA, Ana Mafalda F.M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. In: **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Vol. 21, n.º 3/4, 2009.

VIEIRA, Arnon; CECHINEL, Bruna; DEGHEHARD, Caroline; MAGNUS, Debora; HOLTHAUSEN, Rafael; TASSI, Reginaldo; MODESTO, Claudio; DE NONI JR, Agenor; CARGNIN, Maykon. Estudo do Processo de Obtenção e Caracterização de Tijolos Solo-Cimento. In: **Cerâmica Industrial**, 12 (6) Novembro/Dezembro, 2007.

APÊNDICE 1

Apêndice A - Registro Fotográfico da confecção dos Tijolos.



Figura 22 Rejeito sendo peneirado.



Figura 23 Solo sendo peneirado.



Figura 24 Mistura ao solo do cimento juntamente com o rejeito mineral.



Figura 25 Homogeneização da mistura.



Figura 26 Pulverização da água.

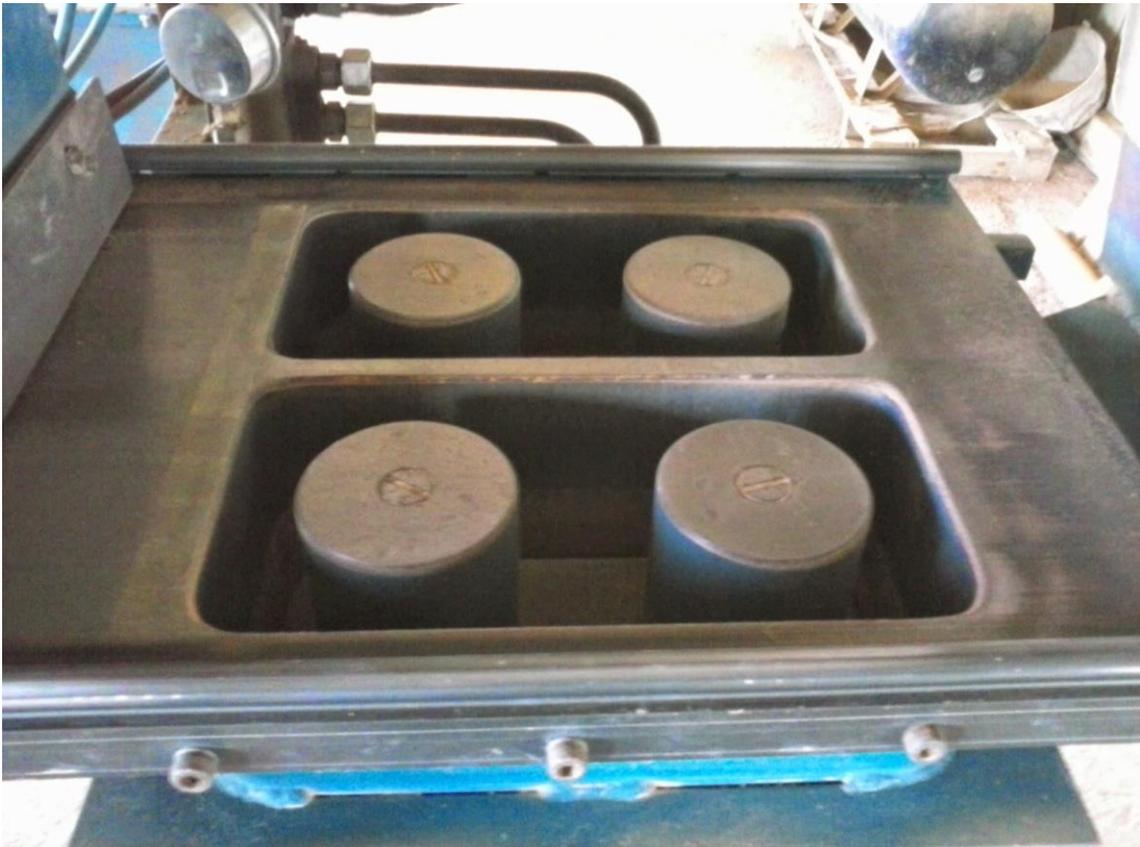


Figura 27 Colocação da “farofa” da prensa hidráulica, detalhe do molde na prensa.



Figura 28 Tijolos solo-cimento com rejeito mineral, após prensagem.

APÊNDICE 2

Valores obtidos em cada uma das amostras de tijolo solo cimento submetidas ao ensaio de compressão preconizados pela NBR 8491:2002 contam na Tabela 15. Os valores para cada traço apresentam discrepâncias inferiores a 5%.

Tabela 14 Resultados do ensaio de compressão simples para cada amostra ensaiada.

Traços	Amostras	7 dias	28 dias
SC + 0,0%	1	2,97	3,15
	2	2,98	3,14
	3	2,97	3,15
	4	2,96	3,16
	5	2,97	3,13
	6	2,98	3,15
	7	2,97	3,14
SCR+ 0,5%	8	3,25	3,26
	9	3,25	3,26
	10	3,24	3,29
	11	3,22	3,28
	12	3,25	3,29
	13	3,25	3,28
	14	3,26	3,28
SCR+ 1,0%	15	3,27	3,32
	16	3,28	3,31
	17	3,26	3,31
	18	3,27	3,32
	19	3,27	3,31

	20	3,28	3,32
	21	3,28	3,31
SCR + 2,0%	22	3,32	3,32
	23	3,32	3,34
	24	3,31	3,33
	25	3,3	3,32
	26	3,32	3,34
	27	3,32	3,33
	28	3,32	3,33
SCR+ 3,0%	29	3,33	3,34
	30	3,31	3,33
	31	3,32	3,34
	32	3,32	3,35
	33	3,32	3,32
	34	3,33	3,34
	35	3,32	3,34

A tabela 15 apresenta os valores individuais das amostras submetidas ao ensaio de absorção, três tijolos solo cimento por traço estudado.

Tabela 15 Valores por amostra de tijolo solo cimento para cada traço.

	Absorção valor médio (%)	Absorção valor por Amostras (%)		
SC + 0,0%	17,4	17,4	17,4	17,3
SCR+ 0,5%	14,3	14,3	14,3	14,2
SCR+ 1,0%	13,2	13,2	13,1	13,2
SCR + 2,0%	12,5	12,5	13	12
SCR+ 3,0%	11,5	11,5	11,6	11,4