



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS VIII ARARUNA-PB**  
**CENTRO DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E SAÚDE**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

**TÁSSIO GONZALEZ MACHADO PATRIOTA**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO TIJOLO SOLO-  
CIMENTO**

**ARARUNA – PB**  
**2015**

**TÁSSIO GONZALEZ MACHADO PATRIOTA**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO TIJOLO SOLO-  
CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Daniel Baracuy da Cunha Campos

**ARARUNA – PB  
2015**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

P314e Patriota, Tássio Gonzalez Machado  
Estudo das propriedades físico-mecânicas do tijolo solo-  
cimento [manuscrito] / Tássio Gonzalez Machado Patriota. - 2015.  
45 p. : il. color.

Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia  
Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências  
Tecnologia e Saúde, 2015.  
"Orientação: Me. Daniel Baracuy da Cunha Campos,  
Departamento de Engenharia Civil".

1. Tijolos, 2. Sustentabilidade 3. Cimento. I. Título.

21. ed. CDD 621.139

## ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO TIJOLO SOLO-CIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção

Aprovado em 09/06/15.

### BANCA EXAMINADORA



Prof. Msc. Daniel Baracuy da Cunha Campos

Orientador (UEPB)



Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos

Examinador (UEPB)



Prof. Dr. Nivaldo Timóteo de Arruda Filho

Examinador (UEPB)

## **DEDICATÓRIA**

A meus Pais e Irmão, Luiz Gonzaga; Edilene Machado e Irley pela luta e perseverança durante os cinco anos. Sempre presentes no meu dia-a-dia apoiando e mostrando o caminho certo para ser um bom profissional e acima de tudo uma excelente pessoa, visando sempre a educação, humildade, honestidade e solidariedade.

A Maria Isabel pela compreensão e incentivo da minha busca incessante para ser um excelente profissional. Sempre presente nas horas mais difíceis, tornando-as simples.

Aos amigos, Benones Lopez e Kássio D'angelo pelo incentivo e força no início dessa longa jornada.

**MUITO OBRIGADO!**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente na elaboração desse trabalho e do tempo decorrido da graduação. Citarei alguns, e desculpem aqueles os quais esqueci de pronunciar.

Primeiro a Deus, o qual sempre me fortalece nas dificuldades enfrentadas.

Aos Professores Raimundo Leidimar, Nivaldo Arruda, Laercio Leal, Valdecir Santos, Daniel Baracuy, José Jamilton, Joao Hugo Baracuy entre outros, os quais participaram de minha formação ao longo dos cinco anos de curso.

Aos professores que aceitaram participar da banca examinadora.

Aos funcionários da UEPB pela a atenção e colaboração durante o curso.

Ao técnico de Geotecnia da UFCG, por auxiliar nos ensaios feitos para elaboração desse trabalho.

Ao SENAI que disponibilizou a máquina de fabricação dos tijolos.

Ao amigo, Jhonata que ajudou bastante na fabricação dos tijolos.

Muito Obrigado!

## RESUMO

Na produção de tijolos cerâmicos convencionais, cuja matéria prima é argila vermelha, sua etapa de cozimento utiliza-se geralmente como combustível: lenha, serragem, gás natural, energia elétrica e bagaço de cana de açúcar os quais geram prejuízos ambientais. Uma nova técnica de produção de tijolos, surge com futuro promissor na construção civil, é a fabricação de tijolos solo-cimento, onde são produzidos a partir da mistura de solo compactado com cimento e água em proporções adequadas, produzindo assim um tijolo ecologicamente correto, visto que não se utiliza a etapa de cozimento no processo de produção. O objetivo desse trabalho foi estudar as propriedades físico-mecânicas dos tijolos solo-cimento, avaliando a influência do traço, tempo de cura dos tijolos e verificando a viabilidade teórica de aplicação apresentada pelos corpos de prova. A metodologia adotada consistiu no beneficiamento do solo do Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, seguido da análise dos ensaios de granulometria, plasticidade e classificação do solo. O processo de mistura e prensagem foi realizado no laboratório de solo pertencente ao SENAI-PB, localizado em Campina Grande. Uma análise estática compreendendo um planejamento experimental  $2^2 + 3$  repetições no ponto central, estudando como variáveis independentes o tempo de cura e a variável dependente a resistência a compressão. O planejamento mostrou que o modelo de regressão além de ser estatisticamente significativo é preditivo, cuja razão do  $F_{cal}$  e o  $F_{tab}$ , foi de 20,1. Os tijolos que apresentaram maior resistência à compressão foram na condição de 1:10 de traço e idade de cura 21 dias, cuja resistência foi de 3,35Mpa e uma absorção em volume de água de  $13 \pm 0,56\%$ .

Palavras-chave: Tijolos, Planejamento experimental, Solo-cimento.

## **ABSTRACT**

In the production of conventional ceramic bricks whose raw material is red clay, a cooking step generally is used as fuel wood, sawdust, natural gas, electricity, sugar cane bagasse which generate environmental damage. A new brick production technique comes with a promising future in construction, is the manufacture of soil-cement bricks, which are produced from the compacted soil mixed with cement and water in appropriate proportions, thus producing an environmentally friendly brick, seen that does not use the cooking stage in the production process. The objective of this work was to study the physical and mechanical properties of soil-cement bricks, evaluating the influence of trace, bricks healing time and checking the theoretical feasibility of application presented by specimens. The methodology consisted of the Campus soil processing VIII of the State University of Paraíba-UEPB, followed by analysis of particle size tests, plasticity and soil classification. The process of mixing and pressing was conducted in the soil laboratory belonging to SENAI-PB, located in Campina Grande. An experimental design 2<sup>2</sup> + 3 repetitions at the central point was adopted as independent variables studying the healing time and the dependent variable compression resistance. Planning showed that the regression model as well as being statistically significant is predictive, whose reason of F<sub>CAL</sub> and F<sub>tab</sub>, was 20.1. The bricks had greater compression strength were at trace 1:10 curing condition and age of 21 days, which was 3,35Mpa resistance and a water absorption of 13 ± 0.56%.

Keywords: bricks, experimental design, soil-cement.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa popular construída com tijolo-solo cimento na cidade Cuiabá- MT.....	23
Figura 2 - Aparelho de casa grande .....	28
Figura 3 – Ensaio do Índice de Plasticidade.....	29
Figura 4 - Teste da proveta para verificação do percentual de argila presente no solo.....	30
Figura 5 - Processo de mistura para confecção dos tijolos solo-cimento.....	31
Figura 6 - Prensa manual para produção de tijolo solo-cimento .....	32
Figura 7 - Molde da prensa para produção de Tijolo .....	32
Figura 8 - Tijolos moldados e retirados da prensa .....	33
Figura 9 - Tijolos solo-cimento no processo de cura úmida.....	34
Figura 10 - Diagrama de Pareto para interação traço e tempo de cura na análise de resistência à compressão .....	39
Figura 11 - Superfície de Resposta (22) para a resposta resistência à compressão simples.....	39

## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1- Distribuição granulométrica do solo .....	36
------------------------------------------------------	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificação desejada para o solo .....	17
Tabela 2 - Tipos de cimento .....	19
Tabela 3 - Aplicações do solo-cimento .....	23
Tabela 4 – Tipos de tijolos solo-cimento.....	25
Tabela 5 - Matriz de planejamento fatorial $2^2 + 3$ repetições no ponto central.....	33
Tabela 6 - Resultados da análise granulométrica e classificação .....	36
Tabela 7 – Resultados da resistência a compressão .....	37
Tabela 8 - Análise de variância para o processo de resistência à compressão simples.....	38

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

LL	Limite de Liquidez
LP	Limite Plasticidade
IP	Índice de Plasticidade
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
EUA	Estados Unidos da América
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

## LISTA DE SÍMBOLOS

C<sub>3</sub>S

Silicato Tricálcico

C<sub>3</sub>A

Aluminato Tricálcico

## SUMÁRIO

<b>1.0</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.0</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3.0</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Solo</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Cimento</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Processo de mistura</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Processo de mistura manual</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Processo de mistura mecânica</b> .....	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Estabilização do Solo</b> .....	<b>21</b>
<b>3.5</b>	<b>Água de amassamento</b> .....	<b>22</b>
<b>3.6</b>	<b>Solo-Cimento</b> .....	<b>22</b>
<b>3.7</b>	<b>Aplicação do Solo-Cimento</b> .....	<b>22</b>
<b>3.8</b>	<b>Prensas manuais</b> .....	<b>23</b>
<b>3.9</b>	<b>Tijolos solo-cimento</b> .....	<b>24</b>
<b>3.10</b>	<b>Software STATISTICA</b> .....	<b>26</b>
<b>4.0</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Ensaio de caracterização</b> .....	<b>27</b>
4.2.1.1	Determinação do limite de liquidez (LL) .....	27
4.2.1.2	Determinação do limite de plasticidade (LP) .....	28
4.2.1.3	Ensaio de análise granulométrica .....	29
4.2.1.4	Ensaio da proveta .....	30
<b>4.2.2</b>	<b>Processos de preparação da mistura</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Processos de Prensagem e Cura</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Resistência a Compressão</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Ensaio de absorção de água</b> .....	<b>35</b>
<b>5.0</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
<b>6.0</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>40</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>
--------------------------	-----------

## 1.0 INTRODUÇÃO

A indústria de cerâmica vermelha é o segmento que produz materiais com coloração avermelhada, como blocos, telhas e tijolos cerâmicos, que tem como cliente o setor da construção civil e é formada em sua grande maioria por micro e pequenas empresas, muitas delas sem um modelo organizacional bem definido segundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2011).

Segundo Pisane (2004) devido ao grande crescimento da construção civil houve um aumento da demanda por materiais cerâmicos no Brasil, onde muitas vezes as fábricas não obedecem um modelo sustentável e econômico de fabricação. Usam o solo indiscriminadamente assim como também usam grandes quantidades de lenha a qual sua queima libera um alto percentual de dióxido de carbono no meio, tais maneiras acarretam prejuízos irreparáveis ao meio ambiente como desertificação e agravamento do efeito estufa (aumento da temperatura global).

Diante de uma problemática ambiental e a necessidade de crescimento do setor da construção civil buscou-se novos processos de desenvolvimento de materiais cerâmicos, os quais possam oferecer as cerâmicas tradicionais um novo estágio qualitativo, onde novas tecnologias de fabricação possam apresentar significativa economia, sustentabilidade e reaproveitamento de material.

Como afirma o Portal da Educação (2013) o produto gerado pela mistura solo-cimento resulta em um material consistente e menos permeável que o solo original e com algumas vantagens tais como: boa resistência mecânica, rapidez no assentamento, economia no acabamento, eficiência na estrutura, propriedades acústicas, praticidade nas instalações, estabilidade térmica e o seu excelente aspecto visual.



## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar as propriedades físicos e mecânicos do tijolo solo-cimento, produzidos com o solo oriundo do município de Araruna-PB.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Análise da plasticidade, liquidez e classificação do solo;
- Análise granulométrica do solo;
- Análise da resistência a compressão e absorção de água dos tijolos solo-cimento.

## **3.0 FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA**

### **3.1 Solo**

- Do ponto de vista da construção civil, solo é um corpo passível de ser escavado, sendo utilizado dessa forma como um suporte para construções ou materiais de construções (BRADY, 1989). Na análise de Grande (2003), o solo pode ser definido por um conjunto de partículas sólidas proveniente da degradação das rochas por ações físicas e químicas, com água (ou por outro líquido) ou ar, ou por ambos, em seus espaços intermediários.
- Para Silva (2005), o solo é formado por argila (silicatos hidratados de alumínio, e que constitui o barro), silte (partículas mais finas que a areia, geralmente sedimentadas sob a forma de camadas pulverizadas) e areia (pequenas partículas bem resistentes, duras). Segundo Caputo (1988) a areia apresenta grãos entre 4,8 mm e 0,05 mm, o silte entre 0,05 mm e 0,005 mm e a argila grãos inferiores a 0,005 mm.
- Segundo Castro (2008) o solo é um conjunto de minerais, orgânicos, água e ar, não-consolidados, normalmente localizados à superfície da terra. Na composição do solo-cimento, o solo é o material que entra em maior proporção, mas não pode ser qualquer solo, pois o mesmo deve estar limpo, sem galhos, folhas, raízes ou outro material orgânico visto que esses materiais em composição com o solo podem afetar a qualidade do tijolo.

As propriedades mecânicas dos solos, de maneira geral, apresentam melhorias quando os solos são misturados com cimento e submetidos a processos de compactação. Existem, porém, limitações ao uso de determinados solos, geralmente vinculadas a trabalhabilidade e ao consumo de cimento (SEGANTINI, 2000). Os limites de consistência; LL – limite de liquidez e LP – limite de plasticidade, são as variáveis que melhor expressam as condições de trabalhabilidade. O critério para escolha do melhor solo para o experimento deve ser baseado nos preceitos da norma ABNT NBR 10832, cujos requisitos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1- Especificação desejada para o solo

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>REQUISITOS (%)</b>
% de solo que passe na peneira 4,8 mm (n° 4)	100
% de solo que passe na peneira 0,075 mm (n° 200)	(10 - 50)
Limite de liquidez	$\leq 45$
Limite de plasticidade	$\leq 18$

Fonte - ABCP (1985)

De acordo com a ABCP (1985), o índice de plasticidade e o limite de liquidez são apresentados como índices de consistência dos solos, cuja diferença entre o (LL) e (LP) indica a faixa de valores que o solo se apresenta plástico conforme a equação 1 os ensaios são realizados de acordo o aparelho de Casagrande.

$$IP = LL - LP \quad \text{Equação 1}$$

Os solos que contenham quantidade de materiais finos superior a 50% em sua composição não são aconselháveis, pois podem apresentar alta plasticidade ou baixa plasticidade. Os solos arenosos requerem, quase sempre, menores quantidades de cimento do que os argilosos e siltosos; devem ser evitados solos que contenham matéria orgânica, pois esta pode perturbar a hidratação do cimento e, conseqüentemente, a estabilização do solo como matéria prima (ABIKO, 1984).

### 3.2 Cimento

Coube ao inglês Joseph Aspdin, em 1829, patentear o cimento Portland um ligante hidráulico que possui aspectos e cor semelhante as rochas calcárias da ilha de Portland. Esse

produto tem características bem distintas do cimento conhecido atualmente, resultante de uma série de pesquisas e implementação tecnológica.

Segundo Martins (2008) o cimento é aglomerante hidráulico resultante da mistura homogênea de clínquer Portland, gesso e adições normatizadas finamente moídas. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento portland não se decompõe (ABCP, 2002). Conforme a tabela 2 existem vários tipos de cimentos fabricados que obedecem a limites de adição de materiais como escória siderúrgica, Pozolana e Calcário. Os limites de adição de cada material são especificados segundo a norma da ABNT.

Segundo Martins (2007). Existem vários compostos que adicionado ao cimento apresentam propriedades distintas que lhe conferem melhores propriedades, tais como:

- **GESSO:** A gipsita, sulfato de cálcio di-hidratado, é comumente chamada de gesso. É adicionada na moagem final do cimento, com a finalidade de regular o tempo de pega, permitindo com que o cimento permaneça trabalhável por pelo menos uma hora e trinta minutos, conforme ABNT. Sem a adição de gipsita, o cimento tem início de pega em aproximadamente quinze minutos, o que tornaria difícil a sua utilização em concretos.
- **FÍLER CALCÁRIO:** A adição de calcário finamente moído é efetuada para diminuir a porcentagem de vazios, melhorar a trabalhabilidade, o acabamento e pode até elevar a resistência inicial do cimento.
- **POZOLANA:** A pozolana é a cinza resultante da combustão do carvão mineral utilizado em usinas termoelétricas. A adição de pozolana propicia ao cimento maior resistência a meios agressivos como esgotos, água do mar, solos sulfurosos e a agregados reativos. Diminui também o calor de hidratação, permeabilidade, segregação de agregados e proporciona maior trabalhabilidade e estabilidade de volume, tornando o cimento pozolânico adequado a aplicações que exijam baixo calor de hidratação, como concretagens de grandes volumes.
- **ESCÓRIA DE ALTO-FORNO:** A escória de alto-forno, é subproduto da produção de ferro em alto-forno, obtida sob forma granulada por resfriamento brusco. Os diferentes tipos e teores de adições usados na moagem do clínquer permitem que se obtenham cimentos de características diversas, possibilitando ao construtor conseguir sempre um cimento mais adequado ao concreto e argamassa a que se destina.

Tabela 2 - Tipos de cimento

TIPO	Classe de Resistência (Mpa)	Composição (%)				Norma Brasileira
		Clinker + Gesso	Escória de Alto-Forno	Pozolana	Fíler	
CP I	25, 32, 40	100		0		NBR 5732
CP I-S		95 - 99		01 - 05		
CP II-E	25, 32, 40	56 - 94	06 - 34	0	0 - 10	NBR 11578
CP II-Z	25, 32, 40	76 - 94	0	06 - 14	0 - 10	
CP II-F	25, 32, 40	90 - 94	0	0	06 - 10	
CP III	25, 32, 40	25 - 65	35 - 70	0	0 - 5	NBR 5735
CP IV	25, 32	45 - 85	0	15 - 40	0 - 5	NBR 5736
CP V - ARI		95 - 100	0	0	0 - 5	NBR 5733
CP V - ARI RS		*	*	*	0 - 5	NBR 5737

\* CP V-ARI RS Admite adição de escória ou material pozolânico, porém a NBR 5737 (Cimentos Portland resistentes a sulfatos) não fixa limites.

Fonte - CIMENTO ITAMBÉ, (2008)

Sabe-se que diferentes composições do cimento conduzem a comportamentos distintos da mistura de solo-cimento principalmente no que se referem a fissuração por retração. (SOBBAG, 1980) afirma:

- Retração do solo-cimento diminui com o aumento do  $C_3S$  na composição do cimento.
- A retração aumenta com teores mais elevados dos  $C_3A$  de acordo com as análises de (YENZENGA1967).
- Verbeck e Helmuth (1968) afirma que existe uma porcentagem ótima de gesso para um dado clínquer, tal que a retração por secagem aos sete dias de idade é mínima. Esse teor ótimo de gesso é função do conteúdo de  $C_3A$ , de álcalis ou da finura do cimento;
- A retração aumenta com aumento da área específica do cimento;
- O processo de hidratação característico dos diversos tipos de cimento é responsável pela ocorrência de fissuras causadas, segundo George (1968), por um auto secagem.

Com a compreensão das propriedades tecnológicas dos tipos de cimentos e o entendimento das características do solo, existe uma maior chance de realizar uma mistura de solo-cimento de boa qualidade.

### **3.3 Processo de mistura**

Segundo a ABCP (2002) o preparo da massa deve atender requisitos básicos de mistura onde garanta a homogeneidade dos componentes, isto é, os materiais devem estar bem distribuídos. Existem duas formas de se realizar a mistura conforme será apresentado, a seguir.

#### **3.3.1 Processo de mistura manual**

Recomenda-se que cada mistura de massa, seja feita para um traço correspondente não mais que 100Kg de cimento e deve ser preparado sobre uma superfície rígida e limpa.

Segundo a ABCP (2002) deve seguir os seguintes passos:

- Espalhar o solo formando uma camada de 15cm;
- Inserir o cimento;
- Misturar para homogeneizar;
- Adicionar água aos poucos até atingir trabalhabilidade ideal.

#### **3.3.2 Processo de mistura mecânica**

É feita em equipamentos chamados betoneiras. Nesses casos obtém-se uma mistura mais homogênea e uma maior produção relacionado ao processo manual. Entretanto, como é um equipamento eletromecânico, exige instalação adequada e treinamento para sua operação.

Segundo a ABCP (2002) deve seguir os seguintes passos:

- Inserir o cimento;
- Por último o solo e água;
- Betoneira girar por aproximadamente três minutos até total homogeneização e apresentar boa trabalhabilidade.

### 3.4 Estabilização do Solo

Na utilização de um solo para fabricação de tijolos solo-cimento é importante conhecer características e composição do mesmo, devido a sua heterogeneidade. Mediante o desconhecimento do solo corre-se o risco de após a mistura reagir apresentar baixa resistência e alta absorção de água.

Segundo Ingles e Metcalf (1972) os princípios das reações que regem a estabilização dos solos devem conferir ao produto final uma melhor estabilidade em suas dimensões, redução da permeabilidade, controle da fissuração por retração e secagem, resistência à erosão e abrasão superficial e aumento da durabilidade do material. Para Silva (2001) o processo de estabilização modifica as propriedades do sistema solo-água-ar conclui-se que a estabilização pode ser direcionada para apenas duas características do solo: a textura (grau de finura do solo) e a estrutura.

Os estudiosos Houben e Guiland (1994) e Ingles e Metcal (1972) apontam que são três os principais métodos de estabilização do solo:

- Estabilização mecânica: Que consiste em compactar o solo por meio de ação (aplicação de energia) mecânica.
- Estabilização Física: Atua diretamente sobre a textura do solo, ou seja, adicionam-se frações de grãos de diferentes granulometrias e, portanto, otimiza-se as proporções entre areia, silte e argila, fato é que causam melhor rearranjo entres os grãos.
- Estabilização química: Quando matérias são adicionados ao solo, modificando suas propriedades ou por reação físico-química entre os grãos e o material, ou criando uma matriz que aglutina e cobre os grãos (SILVA, 2001). Os materiais mais utilizados são cimento Portland, cal, betume e fibras.

Segundo Guimarães (1998) para realizar uma boa estabilização faz necessário conhecer que os fatores que o influenciam, tais como viabilidade econômica, finalidade da obra, características dos materiais e as propriedades do solo os quais deseja-se corrigir.

### **3.5 Água de amassamento**

Devido a reação de hidratação a água ao lado do aglomerante é um constituinte fundamental na mistura da massa, onde a água serve de lubrificação entre os grãos e controle do calor de hidratação do cimento evitando possíveis fissuras. Para seu uso na construção civil a NBR 6118/2014 e NBR 12655/2006 estabelecem teores máximos de cloretos, matéria orgânica, sulfatos, açúcar e resíduos sólidos. Em casos que utilizam grande quantidade de água e faz necessário um armazenamento, o ideal é ser guardada em caixas estanques e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas. A água que abastece as cidades atende os requisitos exigidos por norma (TECNE, 2003).

### **3.6 Solo-Cimento**

O solo-cimento é uma mistura íntima de solo, cimento Portland e água. Segundo Abiko (1983) esse material foi empregado pela primeira vez nos EUA no ano de 1915, pelo engenheiro Bert Reno, para realização de pavimentos.

De acordo com a Castro (2008), o solo-cimento é o produto resultante da cura da mistura íntima compactada de solo, cimento Portland e água, em proporções estabelecidas através de dosagem e executada conforme norma da ABNT NBR 12253/92.

O uso do solo-cimento para fabricação de blocos ecológicos vem sendo pesquisado no Brasil, Silva (1994) comenta que o seu emprego na construção de habitações teve início em 1948.

A adição de cimento ao solo permite a mistura algumas características importantes tais como: absorção e a perda de umidade do material não causem variações volumétricas consideráveis, significativo aumento de resistência a compressão e maior durabilidade.

### **3.7 Aplicação do Solo-Cimento**

No Brasil pesquisas sobre a utilização solo-cimento já vem sendo desenvolvidas há muito tempo, em 1941 boa parte da sub-base do aeroporto de Petrolina-PE foi feita com solo-cimento, Silva (1994) comenta que o seu emprego na construção de habitações teve início em 1948, com a construção das casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis (RJ).

Atualmente existem diversas aplicações do tijolo solo-cimento. De acordo com Campos (2007) os tijolos são aplicados em edificações, paisagismo, contenção de encosta, contenção de córregos e pequenas barragens tabela 3.

Tabela 3 - Aplicações do solo-cimento

<b>APLICAÇÕES DO SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b>	
<b>Local</b>	<b>Aplicação</b>
Edificações	Fundação. Baldrame, sapata corrida ou parede maciça apoiada diretamente sobre o solo
	Alvenaria, com tijolos e blocos ou então em paredes maciças
Paisagismo	Piso e contra-piso, pavimentação
	Piso e contra-piso de passeios e calçadas
Pavimentação	Base e sub-base de ruas e estradas

Fonte - fórum da construção, (2007)

Exemplos de edificações utilizando o solo cimento, são casas populares, conforme a figura 1.

Figura 1 - Casa popular construída com tijolo solo-cimento na cidade Cuiabá- MT



Fonte - Fórum da construção, (2007)

### 3.8 Prensas manuais

Os fabricantes de tijolos manual prensado ecológico, possuem uma boa capacidade de produção chegando até 2000 unidades ao dia, onde para confeccionar os tijolos faz necessário um treinamento de capacitação de uso da máquina e manuseio dos materiais segundo (PISANE, 2004). A área desejada para produção dos tijolos compreende um espaço de cinco metros quadrados e um pé direito no mínimo de dois metros e meio de altura.



Segundo Pisane, (2004) as prensas manuais e portáteis são mais indicadas para a utilização de pequenas obras, pois chegam a produzir 1500 unidades diárias, apresentam facilidade de manuseio. Essas prensas manuais chegam a pesarem cerca de 150kg, tornando o serviço mais rápido e eficaz devido a sua mobilidade.

- Tijolos maciços comuns de dois furos de (5cm x 10cm x 20cm) e com diâmetro de 5cm. Apresentam uma produção que varia entre 200 a 300 módulos por hora de acordo com o tipo de prensa utilizada.
- Tijolos de encaixes universal de dois furos com (6,25cm x 12,5cm x 25cm) e diâmetro de 6,66cm. Apresentam produção de 150 a 200 módulos por hora, de acordo com a prensa utilizada.

### **3.9 Tijolos solo-cimento**

Os tijolos prensados de solo-cimento, também chamados tijolos ecológicos apresentam diversas vantagens quanto aos tijolos convencionais, tais como, melhor conforto térmico e acústico, condições de trabalho, local de trabalho mais bem organizado proporcionando redução de desperdícios e geração de menor quantidade de entulho segundo (PISANE, 2004).

A produção de tijolos solo-cimento apresenta uma grande vantagem que é o fator econômico. Os tijolos ecológicos possuem um menor custo de produção uma vez que os equipamentos utilizados em sua produção são simples e de baixo custo, e não necessita de mão-de-obra especializada para operar, além disso, pode ser feita no próprio canteiro de obras, reduzindo os custos com transporte. Outra vantagem é a redução do uso de argamassas de assentamento e revestimento já que a qualidade e o aspecto final das peças são notadamente superiores, com maior regularidade dimensional e planicidade de suas faces, podendo ser utilizado em alvenaria aparente, necessitando apenas de uma cobertura impermeabilizante como acabamento (SOUSA, 2006).

Do ponto de vista da sustentabilidade uma das principais vantagens dos tijolos ecológicos é não necessitar realizar cozimento, o qual são consumidas grandes quantidades de madeira ou de outros combustíveis, como é o caso dos tijolos comuns produzidos em olarias. Além disso, ao contrário dos tijolos de argila queimada, que quando quebram não podem ser

reaproveitados, os tijolos de solo-cimento podem ser moídos e prensados novamente, evitando o desperdício (SOUSA, 2006).

O processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento é bastante simples, após o preparo da mistura de solo, cimento e água nas proporções adequadas, a massa é compactada em prensa que pode ser manual ou hidráulica (NBR 8491, 1984).

Os requisitos segundo a ABNT (1984), afirma que a quantidade de cimento necessária para a fabricação dos tijolos será a que lhes conferir o valor médio de resistência à compressão igual a 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>), de modo que nenhum dos valores individuais esteja abaixo de 1,7 MPa (17 kgf/cm<sup>2</sup>), com idade mínima de 7 dias. A absorção de água não deve ser superior a 20%, nem apresentar valores individuais superiores a 22%. Os ensaios devem ser realizados de acordo com a NBR 8492.

No Brasil são produzidos diversos tipos de tijolos prensados de variados tamanhos e modelos, conforme apresenta a tabela 4. Os tijolos são escolhidos de acordo com as necessidades do projeto, seguindo as especificações das referidas normas NBR 8491/1984, NBR 8492/1984, NBR 10832/1989, NBR 10833/1989.

Tabela 4 – Tipos de tijolos-solo cimento

<b>Tipo</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Características</b>
Maciço comum	5x10x20cm 5x10x21cm	Assentamento com consumo de argamassa similar dos tijolos maciços comuns.
Maciço com encaixes	5x10x21 cm 5x10x23cm	Assentamento com encaixes com baixo consumo de argamassa.
1/2 tijolo com encaixes	5x10x10,5cm 5x10x11,5cm	Elementos produzidos para que não haja quebras na formação dos aparelhos com juntas desencontradas.
Tijolos com dois furos e encaixes	5x10x20 cm 6,25x12,5x25cm 7,5x15x30cm	Assentamento a seco, com cola branca ou argamassa bem plástica. Tubulações passam pelos furos verticais.
1/2 tijolo com furo e encaixes	5x10 x10cm 6,25x12,5x12,5cm 7,5x15x15cm	Elementos produzidos para acertar os aparelhos, sem necessidade de quebras.

Fonte - ARQUITETANDO NA NET, (2009)

### 3.10 Software STATISTICA

Segundo Sousa, (2011) o STATISTICA é um software de métodos estatísticos que possui um conjunto de análises estatística que pode prevê um conjunto de ferramentas para análise, gestão e visualização de bases de dados. As suas técnicas incluem uma seleção de modelação preditiva, agrupamentos e ferramentas exploratórias (diagrama de Pareto, Superfície de respostas, etc.).

- Diagrama de Pareto: É uma técnica estatística que auxilia na tomada de decisões, permitindo selecionar (um pequeno número de itens) quando há um grande número de problemas. Segundo esse princípio, os itens significativos de um grupo normalmente representam uma pequena proporção do total de itens desse grupo.
- Superfície de Resposta: É uma técnica matemática e estatística útil para modelagem e análise de aplicações em que a resposta de interesse é influenciada por muitas variáveis (fatores) e o objetivo é otimizar essa resposta.

## 4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos desse trabalho, foram realizados nos laboratórios de solo-cimento do SENAI-PB localizado no distrito industrial em Campina Grande – PB, laboratório de pavimentação e geotécnica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.

### 4.1 Materiais

- Solo proveniente do Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba, situado no município de Araruna-PB;
- Cimento Portland CP-II Z 32;
- Água de amassamento, obtida da rede de abastecimento da cidade de Campina Grande-PB;
- Prensa manual modelo mutirão marca SAHARA;
- Estufa modelo TE-394/3 e marca TECNAL;
- Aparelho de Casagrande com características e dimensões padronizadas;
- Espátula de metal flexível;
- Cinzel com as características e dimensões padronizadas;

- Cápsulas de alumínio;
- Peneiras de N° 4, 10, 40, 80 e 200, inclusive tampa e fundo, conforme ABNT NBR NM ISO 2395:1997, designada para ensaio;
- Balança analítica com precisão de 0,01 g;
- Almofariz e mão de gral recoberta de borracha;
- Pá de mão de forma arredondada, com lâmina de alumínio;
- Enxada com lâmina de alumínio;

## **4.2 Métodos**

As metodologias utilizadas seguiram as normas da ABNT e adaptadas quando necessárias.

### **4.2.1 Ensaios de caracterização**

O conjunto de ensaios descrito abaixo os quais chamam de caracterização física servem para a obtenção de parâmetros índice onde identificamos a natureza do solo, bem como suas propriedades mecânicas.

#### **4.2.1.1 Determinação do limite de liquidez (LL)**

O ensaio para determinação do limite de liquidez foi realizado com o aparelho de Casagrande, conforme a figura 2;

Figura 2 - Aparelho de casa grande



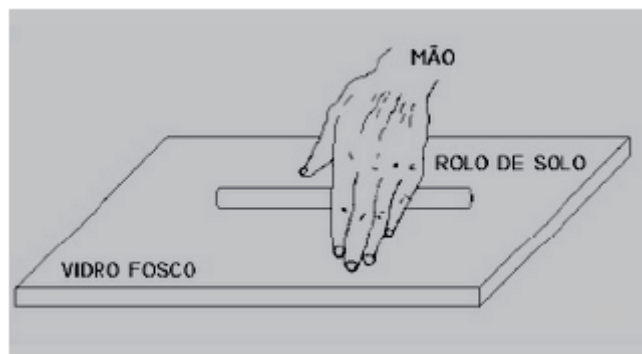
Fonte – Soloteste

De acordo com a NBR-6459/84, o solo foi distribuído em cinco cápsulas, com diferentes quantidades de massa bruta úmida. Após serem secas na estufa e pesadas, foi determinado teor de umidade do solo através do método da estufa. Em seguida traçamos a curva conforme a distribuição dos pontos obtidos em relação ao número de golpes aplicados para fechar a ranhura em cada amostra (pela norma, os valores devem ser entre 15 e 35 golpes).

#### 4.2.1.2 Determinação do limite de plasticidade (LP)

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7180. Inicialmente colocamos as amostras de solo no recipiente de porcelana e adicionou-se água até se obter uma massa bem homogeneizada, misturando-a continuamente com a espátula. Com a pasta de solo obtida, moldamos uma pequena quantidade da massa em forma elipsoidal, rolando-a sobre a placa de vidro, com pressão suficiente da mão para lhe dar a forma de cilindro, até que a massa se fissure em pequenos fragmentos quando a mesma atingiu 3mm de diâmetro e 10 cm de comprimento. Ao cilindro se fragmentar, coletamos alguns fragmentos fissurados desta massa de solo para a determinação da umidade, repetimos o processo, por mais quatro vezes, até que tenhamos três valores que não difiram da respectiva média em mais de 5%, conforme figura 3.

Figura 3 – Ensaio do Índice de Plasticidade



Fonte – teconconcursos.com

#### 4.2.1.3 Ensaio de análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a NBR 7181, a amostra foi seca em estufa a uma temperatura de 105°C até que fosse atingida a constância de massa, em seguida a mesma foi retirada da estufa e foi realizado o quarteamento. Após ter sido quarteada tomou-se aproximadamente 1000,00g de material, os quais foram passadas na peneira N° 10, com abertura de 2,0 mm, tomando a precaução de desmanchar no almofariz todos os torrões eventualmente ainda existente de modo a assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que a abertura da malha. O que ficou retido na peneira foi lavado e colocado na estufa durante 24 horas, à uma temperatura de 105 °C à 110 °C. O material assim obtido foi usado no peneiramento grosso.

O material que passou na peneira #10, com abertura de 2,0 mm, retirou-se aproximadamente 100,00g para o peneiramento fino (amostra parcial) e lavou-se na peneira #200, com abertura de 0,075 mm, o que ficou retido na mesma foi colocando assim em estufa durante 24 horas a uma temperatura de 105 °C à 110 °C, até constância de massa. O material que passou na peneira #10, retirou-se duas cápsulas para a determinação da umidade higroscópica (natural). Após a secagem do material em estufa, procedeu-se ao peneiramento do material seco na seguinte serie de peneiras N° (4, 10, 40, 80 e 200). Pesou-se com a aproximação de 0,1 g as frações da amostra retidas nas peneiras consideradas.

#### 4.2.1.4 Ensaio da proveta

Para a realização do ensaio da proveta foi utilizado uma proveta de capacidade de 500mL a qual preenchemos com aproximadamente 300mL de água, onde foram inseridas 100,00g de amostra de solo. Passando cerca de 10 minutos até que todo solo decantasse, pode-se verificar a quantidade de finos presente no solo, cujas partículas de diâmetros maiores são depositadas no fundo da proveta e a aglomeração das partículas menores (argila, silte e areia fina) pode-se visualizar a olho nu, quantificando-se aproximadamente o percentual de finos presente no solo de acordo com a figura 4. Onde junto com o resultado da análise granulométrica identificamos a porcentagem dos materiais.

Figura 4 - Teste da proveta para verificação do percentual de argila presente no solo



Fonte – Própria laboratório do SENAI

#### 4.2.2 Processos de preparação da mistura

Visto a grande quantidade de finos presente no solo, fez-se necessário uma estabilização física, para isso, utilizou-se uma correção de 20% de areia peneirada na peneira #4.8. Isso foi feito para que o tijolo de solo cimento oferecesse retrações mínimas, resistência à erosão, resistência à abrasão superficial e, conseqüentemente aumento da durabilidade.

O solo e o cimento foram misturados manualmente com auxílio de pá conforme figura 5. O traço foi medido em volume com auxílio de uma lata de capacidade de 5L para maior facilidade da operação e obtenção de volume suficiente para a confecção dos tijolos necessários aos ensaios propostos.

Figura 5 - Processo de mistura para confecção dos tijolos solo-cimento



Fonte – Própria

A água foi adicionada em forma de chuveiro até atingir a umidade ideal, obtendo uma argamassa farofada. O percentual ideal atingido foi na faixa de 12% de água, o solo foi espalhado sobre uma superfície lisa numa camada de aproximadamente 20cm, e em seguida, o cimento foi distribuído sobre a camada de solo e, com o auxílio de pás e enxadas processou-se a mistura do solo com o cimento.

A verificação da umidade da mistura foi feita, com razoável precisão da seguinte forma prática: foi pegado uma quantidade de material da mistura e apertou-a energicamente entre os dedos e a palma da mão, ao se abrir a mão, o bolo deverá ter a marca deixada pelos dedos. Deixando-se o bolo cair de uma altura de aproximada de 1m, sobre uma superfície dura, ela deverá esfarelar-se ao chocar-se com a superfície, se isto não ocorrer, a mistura estará muito úmida.

#### **4.2.3 Processos de Prensagem e Cura**

O processo de prensagem foi realizado obedecendo a NBR 10832/1989. A prensa utilizada pertence ao laboratório de solo-cimento do SENAI-PB, localizado no distrito industrial em Campina Grande – PB. Pode-se verificar a prensa manual através das figuras 6 e 7.



Figura 6 - Prensa manual para produção de tijolo solo-cimento



Fonte – Própria

Figura 7 - Molde da prensa para produção de Tijolo



Fonte - Própria

Ao realizar as moldagens dos corpos de prova, onde os mesmos obedeceram ao tempo de cura mostrado pela matriz de planejamento experimental do tipo  $2^2 + 3$  repetições no ponto central de acordo com a tabela 5. Para avaliar a influência das variáveis independentes seguiu os itens da matriz de planejamento, tempo de cura e traço, na variável dependente resistência a compressão

Para cada traço, foram moldados três tijolos, dos quais serviu-se para a realização do ensaio de compressão simples e absorção. Os valores usados para se obter os resultados de resistência a compressão são valores codificados variando de -1 a +1 indicados na matriz de planejamento. Criada a matriz de planejamento inserimos a tabela no software STATISCA e chegaremos a análise de variância para o modelo inteiro.

Tabela 5 - Matriz de planejamento fatorial  $2^2 + 3$  repetições no ponto central

Experimentos	Idade de Cura (I)	Traço (T)
1	7	1:10(-1)
2	7	1:14(+1)
3	21	1:10(-1)
4	21	1:14(+1)
5	14	1:12(0)
6	14	1:12(0)
7	14	1:12(0)

Fonte – Própria

Definido o traço da composição, e realizado o processo de mistura, a massa foi transferida para a prensa, que é provida de um molde que dá a forma à peça de acordo com a figura 8. Logo após a prensagem, a peça produzida foi expelida estando pronta para ser curada na sombra, sobre uma superfície plana, conforme figura 8 e 9.

Figura 8 - Tijolos moldados e retirados da prensa



Fonte – Própria

Figura 9 - Tijolos solo-cimento no processo de cura úmida



Fonte – Própria

As peças apresentam dimensões (6,25x12,5x24cm). As mesmas, após 24 horas, foram submetidas ao processo de cura úmida, onde os protótipos foram umedecidos constantemente e com uma frequência de três vezes ao dia com um regador tipo chuveiro, a fim de garantir a cura necessária.

Os tijolos assim produzidos dispensam a utilização de fornos a lenha. Eles só precisam ser umedecidos, para que adquiram a resistência ideal para o referido traço indicado.

#### **4.2.4 Resistência a Compressão**

A análise da resistência a compressão obedeceu à idade de cura da matriz de planejamento experimental conforme especificado no item 4.2.3. A regressão dos dados experimentais foi realizada utilizando o programa STATISTICA™. Os tijolos foram rompidos a cutelo (sentido transversal). Para cada ensaio foram utilizados três tijolos com composições diferentes variando o traço em 1:10, 1:12 e 1:14, assim como o tempo de cura variando de 7, 14 e 21 dias, de acordo com a tabela 5. Os valores escolhidos para a matriz do planejamento experimental foram de acordo com a literatura.

#### 4.2.5 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água, foi realizado de acordo com os procedimentos da NBR 8492. Este ensaio foi realizado aos 21 dias de idade, sendo os resultados expressos em porcentagem. Os corpos de provas que se utilizou no ensaio foram para melhor condição onde o ensaio foi realizado em triplicata. Os tijolos foram levados à estufa, há uma temperatura variando entre 105 °C e 110 °C, até apresentarem uma constância de massa, obtendo-se assim a massa do tijolo seco, em gramas. Em seguida deixou-se os tijolos imersos em água durante 24 h, ao passar esse tempo os tijolos foram retirados, enxugados superficialmente e novamente pesados, anotando-se sua massa saturada. Os valores individuais de absorção de água, foram obtidos pela equação 2 e a absorção média foi determinada pela média aritmética de três repetições.

$$A (\%) = \frac{(Mu - Ms)}{Mu} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Ms: Massa corpo-de-prova seco em estufa (g);

Mu: Massa corpo-de-prova saturado (g);

A: absorção d'água (%).

## 5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a tabela 6 onde temos a porcentagem e classificação do solo. Percebe-se que o mesmo apresenta uma quantidade muito alta de material fino. Através dos métodos da proveta e análise granulométrica observa-se aproximadamente 55% de material fino (areia fina, sílto e argila) e entorno de 45% de material grosso (areia fina, cascalho e areia grossa). Visto a grande quantidade de matérias finos presente no solo realizou-se uma correção granulométrica de 20% de areia grossa.

Dessa forma o solo agora passou a apresentar 54,16% de materiais grossos e 45,84% de materiais finos, onde atende a condição indicada na tabela 1 da ABCP, pois a quantidade de materiais finos é inferior a 50%. O solo foi classificado como Areia argilosa (SC).

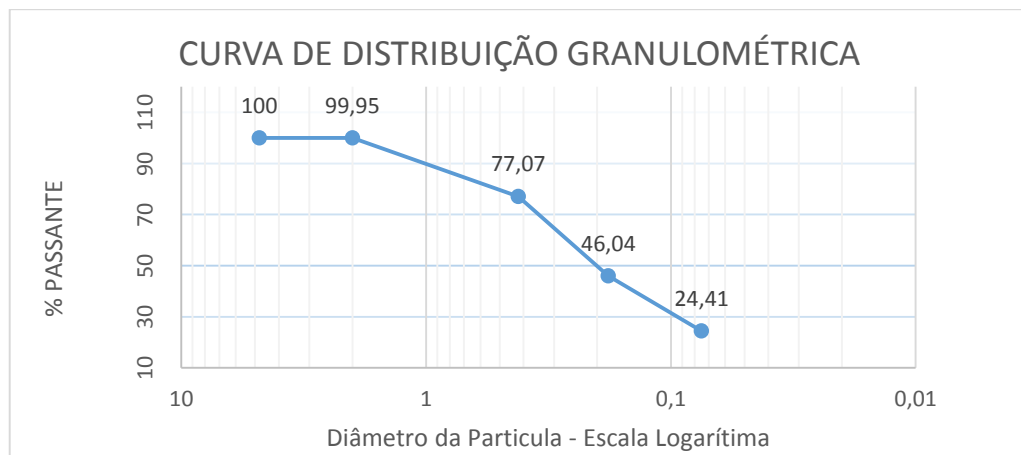
Tabela 6 - Resultados da análise granulométrica e classificação

	<b>Parâmetros</b>	<b>Solo (%)</b>
Distribuição Granulométrica	Pedregulho (Acima de 2,00mm)	0,54
	Areia grossa (2,0-0,42mm)	22,34
	Areia fina (0,42-0,075mm)	52,66
	Silte + Argila (Abaixo de 0,075mm)	24,46
Índices físicos	Limite de Liquidez (LL)	27,5
	Limite de Plasticidade (LP)	19,9
	Índice de Plasticidade (IP)	5,625
Sistema Unificado de Classificação de Solos		SC

Fonte - Própria

No gráfico 1 temos a curva de distribuição granulométrica, apresentando a quantidade de matérias passante nas peneiras N° (4, 10, 40, 80 e 200) as quais são indicadas em escala logarítmica.

Gráfico 1- Distribuição granulométrica do solo



Fonte – Própria

A tabela 7 apresenta os resultados da resistência a compressão simples dos tijolos para os referidos traços.

Tabela 7 – Resultados da resistência a compressão

Experimentos	Traço (T)	Cura (C)	Resistência (Mpa)
1	1:10(-1)	7	1,73
2	1:14(+1)	7	1,26
3	1:10(-1)	21	3,35
4	1:14(+1)	21	2,75
5	1:12(0)	14	2,37
6	1:12(0)	14	2,35
7	1:12(0)	14	2,33

Fonte – Soft STATISTICA

De acordo com os dados presentes na tabela 7, o traço 1:10 nos seus primeiros setes dias obteve resistência superior a 1,7 Mpa, ou seja, atingiu as condições exigidos pela norma NBR 8491. O ensaio de absorção foi realizado para melhor condição, cujo foi obtido no experimento 3, onde o tijolo atingiu uma resistência a compressão simples de 3,35 Mpa. No experimento 3 o traço foi de 1:10, tempo de cura 21 dias, e absorção de água foi de  $13 \pm 0,56\%$  atendendo os padrões da norma NBR 8491, que especifica valores inferiores a 20%. A tabela 8 mostra a análise do meu modelo por completo, onde o  $F_{tab}$ , foi encontrado mediante a uma tabela especificando regressão e resíduo para um grau de liberdade (GL) de 3, quanto ao  $F_{cal}$  seu valor encontra pela razão do valor indicado na soma quadrática (regressão) dividida pela soma quadrática (resíduo).

A tabela 8 apresenta a análise de variância para o modelo completo.

Tabela 8 - Análise de variância para o processo de resistência à compressão simples.

Fonte de variação	G.L	Soma quadrática	Média quadrática	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
Regressão	3	2,708475	0,902825	186,51	9,28
Resíduo	3	0,014521	0,00484	25,75	
Falta de ajuste	1	0,010296	0,010296		
Erro puro	2	0,000800	0,0004		
Total	6	2,722996			

Fonte – Soft STATISTICA

O teste F apresenta a razão entre o F calculado e o F tabelado, sempre que esta relação for maior que um a regressão é estatisticamente significativa havendo relação entre as variáveis independentes e dependentes. Para que uma regressão seja não apenas estatisticamente significativa, mas também útil para fins preditivos, o valor da razão deve ser no mínimo maior que quatro (BARROS NETO, 1996).

O coeficiente de determinação ou explicação  $R^2$  quantifica a qualidade do ajustamento, pois fornece uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em relação à variação total das respostas. Varia de 0 a 100% (RODRIGUES & IEMMA, 2005).

O modelo obtido para o rendimento da Resistência a Compressão é apresentado pela equação 3:

$$RC = 2,31 - 0,27 * T + 0,78 * I \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

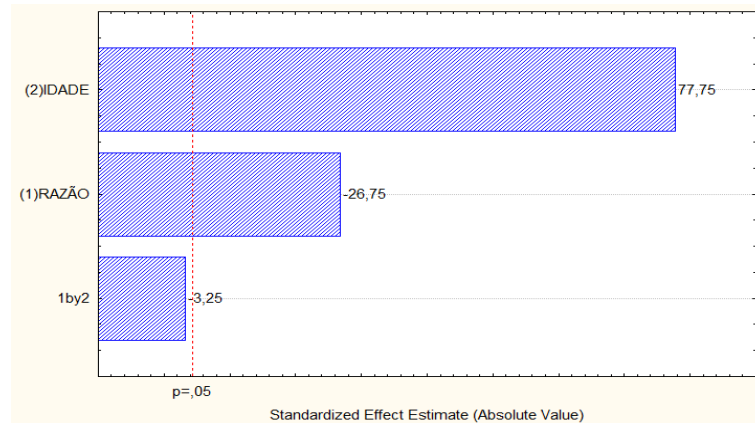
T: traço

I: Idade de Cura

Neste caso, o modelo dos dados apresentados na tabela 8 tem 99,57% das variações obtidas explicadas pelo modelo e com um valor da razão  $F_{\text{calculado}}$  e  $F_{\text{tabelado}}$  de 20,1, indicando que o modelo além de ser estatisticamente significativo é também preditivo.

As análises estatísticas a um nível de significância de 5% mostraram que o traço, e o tempo de cura, e a interação entre ambos são significativos, conforme apresenta o diagrama de Pareto, figura 10.

Figura 10 - Diagrama de Pareto para interação traço e tempo de cura na análise de resistência à compressão

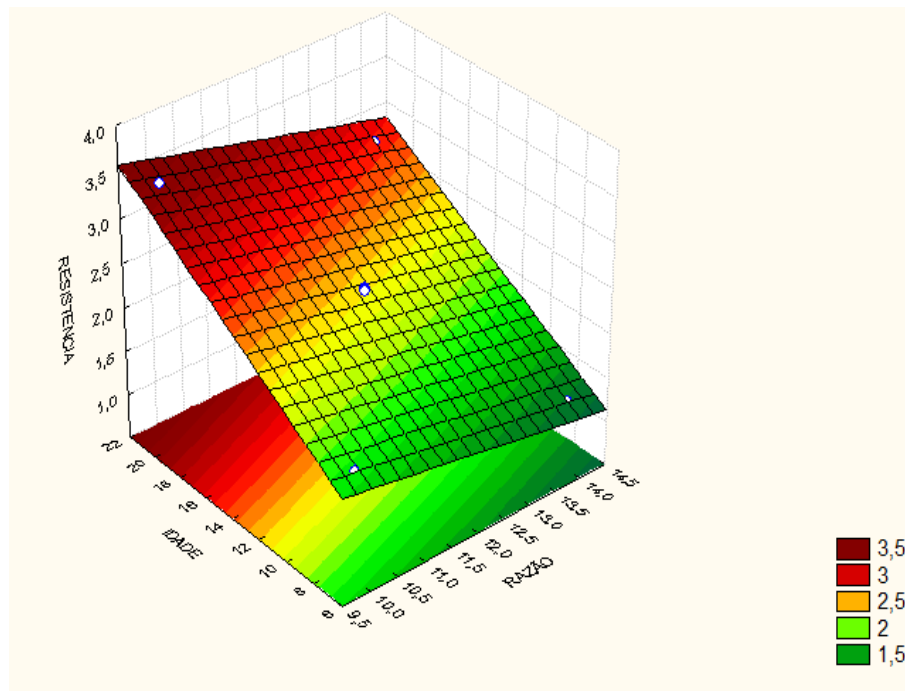


Fonte – Soft STATISTICA

De acordo com o diagrama de Pareto mostrado na figura 10, verifica-se que a variável de maior influência é o tempo de cura, e que a interação entre o traço e o tempo de cura apresenta um valor negativo, mostrando que se aumentar o tempo de cura e diminuir a relação cimento-solo, a resistência à compressão diminui, ou seja, para a mesma quantidade de cimento for aumentada a quantidade de solo.

A figura 11 mostra a superfície de resposta do planejamento experimental.

Figura 11 - Superfície de Resposta ( $2^2$ ) para a resposta resistência à compressão simples



Fonte – Soft STATISTICA



De acordo com a superfície de resposta mostrada na figura 11, verifica-se que as variáveis independentes, traço e tempo de cura, influenciam aumentando a resistência à compressão axial, porém, a interação entre elas é significativa, indicando que diminuindo a idade de cura e a relação cimento-solo, diminui a resistência. A explicação para tal fato deve ser porque quanto maior for o tempo de cura do cimento presente na massa, maior será a resistência mecânica da minha peça, visto que passado o tempo, já terá ocorrido todas as reações de hidratação do cimento, assim como se aumentarmos o percentual de cimento em relação a mesma quantidade de solo, a resistência mecânica da peça também irá aumenta.

## 6.0 CONCLUSÕES

- A caracterização física do solo do campus VIII, mostra que é um material viável para a produção de tijolos solo-cimento, visto que se faça uma correção granulométrica, ou seja, um melhoramento de solo, onde tal influencia os índices de consistência e resistência a compressão simples.
- De acordo com os resultados de resistência a compressão para os traços visto na matriz de planejamento experimental, a melhor condição de trabalho para confecção dos tijolos solo-cimento é o traço 1:10, onde nos primeiros 7 dias obteve resistência 1,73Mpa e nos vinte uns dias apresentou 3,35Mpa.
- O resultado de absorção de água foi realizado para o experimento 3, cujo traço foi 1:10, tempo de cura 21 dias e resistência compressão de 3,35Mpa, apresentando valores de absorção de água  $13 \pm 0,56\%$ , atingindo assim os padrões aceitáveis da norma NBR 8491.
- A utilização do soft STATISTICA<sup>TM</sup>, foi de extrema importância, pois foi observado qual o melhor traço e a melhor idade para confecções dos tijolos, visto que quando aumentamos a idade de cura e diminuimos a razão entre os componentes, aumenta-se a resistência mecânica, havendo uma boa interação entre as variáveis, auxiliando assim estudos futuros.

## REFERÊNCIAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM ISO 2395: Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5732/91: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5733/91: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5735/91: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5736/91: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5737/92: Cimentos resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118/14: Projeto de estrutura de concreto – procedimento: ABNT, 2014.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459- Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984c. 6 p.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180-Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984d. 3 p.

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

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

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8492. Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência a compressão e absorção de água. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10832- Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989. 3p.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10833/1989 - Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11578/91: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12253. Solo cimento: Dosagem para emprego como camada de pavimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, procedimento e controle ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia básico de utilização do cimento portland. São Paulo – SP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2011. [www.abceram.org.br](http://www.abceram.org.br)

ABIKO, A. K. (1983). Solo-cimento tijolos, blocos e paredes monolíticas. In: Construção São Paulo n. 1863. Pini-SP.

ABIKO, A.K. Solo-Cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas. IPT/Ded, Tecnologia Edificações, 13:61-64, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP (1985) Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. Publicações ABCP, São Paulo.

\_\_\_\_\_ (1986) Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo, SP, ABCP, ET-35, 51p.

\_\_\_\_\_ (1987) Solo-cimento na habitação popular. São Paulo, SP. ABCP, 2.<sup>a</sup> Ed., EC-4, 14p.

BARROS NETO, B.; Scarminio, I.S.; Bruns, R.E. Planejamento e otimização de experimentos. 2ª Ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1996, 299p.

BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Filho. 7ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

CASTRO, S. F. Incorporação de resíduo de caulim para uso em solo-cimento em construções civis. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 2008.

CAPUTO, HOMERO PINTO. Mecânica dos solos e suas aplicações, fundamentos. 6 eds. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1988.

CASTRO, W. A. M. Incorporação de resíduos de caulim em argamassas para uso na construção civil. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

CAMPOS, I. M. Solo-cimento, solução para economia e sustentabilidade.

[forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23](http://forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23), 2007.

GUIMARÃES, J. E. P. (1998). A cal – fundamentos e aplicações na construção civil. São Paulo, Pini.

GRANDE, F. M. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com adição de sílica ativa. São Carlos: EESC-USP, 2003.

HOUBEN, H.; GUILLAND, H. (1994) Earth construction: a comprehensive guide. IT publications p.362.

INGLES, O. G. e METCALF, J. B. (1972). Soil stabilization: principles and practice.

MARTINS, A. et al. Apostila de treinamento de mão de obra para construção civil: Cimento. Cia. de Cimento Itambé. Curitiba, 2007 e 2008.

Portal da Educação, 2013. [www.portaleducacao.com.br/engenharia/artigos/62692/os-tipos-de-tijolos](http://www.portaleducacao.com.br/engenharia/artigos/62692/os-tipos-de-tijolos).

PISANI, Maria Augusta Justi Pisani. Execução do tijolo de solo-cimento. In: Bruna, Gilda Collet. Relatório de Pesquisa: Promoção de Desenvolvimento Sustentável do semi-árido da Bahia. Universidade Presbiteriana Mackenzie. MackPesquisa, São Paulo, 2004.

REVISTA TECNE, 2003; Edição 81 - Dezembro/2003, escrito por Carlos Eduardo de Siqueira Tango.

RODRIGUES, M.I.; Iemma, A.F. Planejamento de experimentos e otimização de processos. 1ª Ed. Campinas, SP: Editora Casa do Pão, 2005. 326p.

SABBAG, P. Y. Solo-Cimento: O Estudo da Retração e suas Implicações. Dissertação de Mestrado. São Paulo - SP: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP, 1980.

SOUZA, M. I. B. Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento. Ilha Solteira: UNESP, 2006.

SOUZA, Emanuel F. M. de. PETERNELLI, Luiz A. MELLO, Márcio P de. Software Livre R: aplicação estatística. Disponível em: Acessado em 8 setembro de 2011. - StatSoft Company History. Disponível em: Acessado em 21 de outubro de 2011.

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

SILVA, SANDRA REGINA. Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira. 219 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SILVA, M. S. (2001). A terra crua como alternativa sustentável para a produção de habitação social. Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo.

SILVA, M. R. (1994) O solo-cimento, In: Bauer L. A. F., 5ª Edição, Materiais de Construção, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1994, Cap. 24, p. 704-729.

[thonilitsz.arq.br/tijolo-ecologico-utiliza-residuos-da-industria/#.vuqtsy5viko](http://thonilitsz.arq.br/tijolo-ecologico-utiliza-residuos-da-industria/#.vuqtsy5viko)

VERBECK, H. C.; HELMUTH, R. H. (1968). Structures and physical properties of cement past. In 5th International Symposium of the chemistry of cement. Tokio. Vol. 3, p. 1-32, apud MAZZEO, F. G. (2003), Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa, dissertação de mestrado, p. 15.

YNZENGA, J. I. M. (1967). Retracion de morteiros y harmigones. Madrid. Inst. Eduardo Torroja (pub 260) apud MAZZEO, F. G. (2003), Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa, dissertação de mestrado, p. 15.