



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

HUGO LAVOR FERNANDES

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO TIJOLO ECOLÓGICO DE
ARGILA VERMELHA COM ADIÇÃO DE PÓ DE GRANITO**

**ARARUNA
2016**

HUGO LAVOR FERNANDES

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO TIJOLO ECOLÓGICO DE
ARGILA VERMELHA COM ADIÇÃO DE PÓ DE GRANITO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais e
componentes de construção.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Baracuy da
Cunha Campos.

**ARARUNA
2016**

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.

F363a Fernandes,Hugo Lavor

Análise das propriedades mecânicas do tijolo ecológico de argila vermelha com adição de pó de granito [manuscrito] / Hugo Lavor Fernandes. - 2016.

39 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2016.

"Orientação: Dr.Daniel Baracuy da Cunha Campos, Departamento de Engenharia Civil".

1. Tijolos 2. Análise de estrutura 3.Cimento I. Título.

21. ed. CDD 693.4

HUGO LAVOR FERNANDES

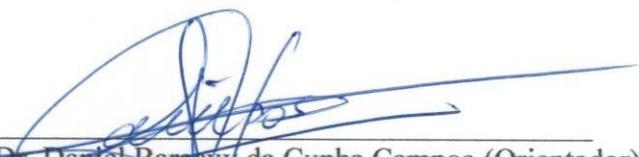
**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO TIJOLO ECOLÓGICO DE
ARGILA VERMELHA COM ADIÇÃO DE PÓ DE GRANITO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

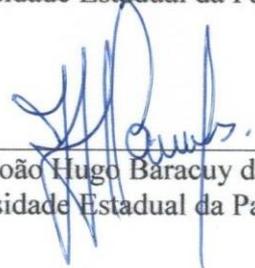
Área de concentração: Materiais e
componentes de construção.

Aprovada em: 17/05/16.

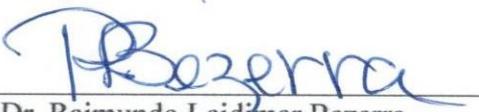
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. João Hugo Baracuy da Cunha Campos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

DEDICATÓRIA

À minha Família, Aparerica Lavor, Neto, Agenor e Carol, pelo apoio, encorajamento e perseverança durante esses anos da graduação, sempre confiando no meu potencial e honestidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois Ele concede a coragem de vencer.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil da UEPB, Daniel Baracuy, Raimundo Leidimar, João Hugo Baracuy, Jamilton Rodrigues, Valdecir Alves, Claudio Pereira entre outros, que contribuíram ao longo dos 10 semestres para a minha formação como profissional.

Aos Professores que aceitaram participar da banca examinadora.

Aos funcionários da UEPB pela atenção durante o curso.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

Aos Senhores Evandi Batista e Doroteia Fialho e sua família, os quais mi adotaram em sua residência como um filho, sempre cuidando de mim pelo período que estive residindo em Araruna.

Ao SENAI, por ter disponibilizado o espaço para confecção dos tijolos e pela prensa de fabricação dos tijolos.

Ao amigo Jonathan e Júlio Lopes, pela ajuda na confecção dos Tijolos.

Obrigado a todos que sempre me apoiaram e contribuíram de todas as formas para minha formação profissional, desculpe aqueles os quais esqueci de pronunciar.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A tecnologia usada na produção de tijolos cerâmicos utiliza como matéria-prima, argila plástica vermelha, e na sua queima geralmente utilizam como combustível: lenha, serragem, gás natural, energia elétrica, bagaço de cana de açúcar que geram prejuízos ambientais. Com a utilização da tecnologia de tijolos de solo-cimento, cujo material é resultante da mistura homogênea do solo compactado com cimento e água em proporções adequadas, reduz-se estes prejuízos, produzindo assim um produto ecologicamente correto, visto que estes tijolos não vão ao forno. O trabalho tem como objetivo analisar as propriedades mecânicas dos tijolos solo-cimento com adição de pó de granito, avaliando a influência do traço, do tempo de cura e da proporção de pó de granito, afim de verificar a viabilidade teórica de aplicação apresentada pelos corpos de prova. A metodologia adotada consiste no beneficiamento do solo do Campus VIII da UEPB, seguido da caracterização física da areia e do pó de granito, que é constituída pela análise granulométrica, tamanho de partículas; das características de plasticidade e dos processos de mistura e ruptura. A análise de resistência à compressão foi analisada com auxílio de uma matriz de planejamento experimental $2^3 + 3$ repetições no ponto central, avaliando a influência do traço, tempo de cura e percentual de pó de granito. O solo utilizado apresentou um limite de liquidez de 25,48% e um limite de plasticidade de 21,43%, caracterizando-o como um solo silte-argiloso orgânico, conforme Sistema Unificado de Classificação de Solos. A areia e o solo utilizados apresentaram boas distribuições granulométricas. A resistência à compressão dos corpos-de-prova atingiu uma resistência de 3,87 MPa para o traço de 1:10, tempo de cura de 23 dias e percentual de granito de 5%.

Palavras-chave: Tijolos. Planejamento Experimental. Solo-Cimento.

ABSTRACT

The technology used in the production of clay bricks uses as raw material red plastic clay and, in its burn usually uses as wood fuel sawdust, natural gas, electric power, sugar cane bagasse which generate environmental damages. Using soil-cement bricks technology which material is the result of homogeneous mixture of compacted soil with cement and water in appropriated proportions it reduces these damages producing so an environmentally friendly product since these bricks do not go to the oven. This work aims to analyze mechanical properties of the soil-cement bricks by adding granite powder assessing the influence of the trace, of the healing time and, the granite powder proportion in order to verify the theoretical feasibility of application presented by the proof bodies. The methodology used consists in to benefit the UEPB Campus VIII soil followed by the physical characterization of the sand and the granite powder which is composed of the particle size analysis, particle size, of the plasticity characteristics and, of the mixture and break processes. The resistance and compression analysis was investigated with the aid of an experimental planning matrix $2^3 + 3$ repetitions in the central point assessing the influence of the trace, of the healing time and, the granite powder percentage. The soil used presented a liquidity limit of 25,48% and a plasticity limit of 21,43% characterizing it as an organic clay silt soil according to Soil Classification Unified System. The sand and the soil used presented good particle size distributions. The resistance to the compression of the proof bodies achieved a resistance of 3,87 Mpa to the trace of 1:10, healing time of 23 days and, granite percentage of 5%.

Keywords: Bricks. Experimental Planning. Soil-Cement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Solo utilizado na confecção do tijolos.....	22
Figura 2 – Areia utilizada na confecção dos tijolos.....	23
Figura 3 – Determinação dos limites de liquidez e plasticidade.	24
Figura 4 – Foto ilustrativa do processo de mistura..	25
Figura 5 – Prensa Hidráulica.....	26
Figura 6 – Tijolos após a moldagem.....	27
Figura 7 – Foto ilustrativa do processo de cura manual.....	28
Figura 8 – Prensa hidráulica manual.....	28
Figura 9 – Gráfico de distribuição granulométrica da areia.....	29
Figura 10 – Gráfico do ensaio do limite de liquidez..	29
Figura 11 – Gráfico de granulometria do solo...	31
Figura 12: Diagrama de Pareto para interação traço, tempo de cura, percentual de granito na análise de resistência à compressão.....	33
Figura 13: Superfície de Resposta (2^3) para a resposta resistência à compressão simples.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de Planejamento Fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais.....	27
Tabela 2 - Dados Coletados.....	30
Tabela 3 - Umidade Calculada.....	30
Tabela 4 - Matriz de Planejamento Fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais.....	32
Tabela 5 - Análise de Variância para o processo de resistência à compressão simples.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

LISTA DE SÍMBOLOS

- \$ Dólar
- % Porcentagem
- © Copyright
- ® Marca Registrada

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	16
3.1	PRODUÇÃO DE TIJOLOS TRADICIONAIS.....	16
3.2	TIJOLOS SOLO-CIMENTO.....	17
3.3	PROCESSO DE CONFORMAÇÃO.....	19
3.4	RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	20
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	21
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	MATERIAIS.....	22
4.2	MÉTODOS.....	23
4.2.1	Caracterização da Argila	23
4.2.1.1	Ensaio de Plasticidade.....	23
4.2.1.2	Análise física.....	24
4.2.2	Processo de Preparação da Mistura	25
4.2.3	Processo de prensagem e cura	26
4.2.4	Resistência à compressão	28
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6.	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36

1. 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. Trata-se de uma atividade que demanda matéria-prima mineral (argila) e vegetal (lenha) em grande quantidade (BEZERRA, 2001).

Novos materiais cerâmicos estão sendo desenvolvidos através de pesquisas e o desenvolvimento desses novos materiais estão sendo repassados à cerâmica tradicional que abre perspectivas para um novo e importante estágio qualitativo.

A conscientização ambiental dos nossos dias agrega esforços para um processo de extração mais racional das matérias-primas naturais. A extração das argilas requer estudos geofísicos para melhor dimensionar os métodos de extração.

A energia e os combustíveis são alguns dos itens mais importantes no dia-a-dia de uma indústria de cerâmica vermelha, independente do seu porte ou alternativas utilizadas na fábrica.

O produto da mistura argila + cimento + água = tijolo ecológico, que apresenta boa resistência mecânica, entre outras vantagens como: rapidez no assentamento, economia no acabamento, eficiência na estrutura, propriedades acústicas, praticidade nas instalações, estabilidade térmica e o seu excelente aspecto visual.

Nesse sentido é importante o emprego das novas tecnologias para fabricação do tijolo solo-cimento devido aos bons resultados alcançados pelos mesmos de acordo com a literatura e uma das grandes vantagens deste tipo de aplicação está no aspecto da limpeza do processo de fabricação, sem danos ao meio ambiente, desde que haja uma exploração das jazidas de forma racional e equilibrada.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar o potencial do solo do município de Araruna-PB na fabricação de tijolos solo-cimento com adição do pó de granito obtido do beneficiamento do granito oriundo da empresa Gran Fuji S.A, localizada no município de Campina Grande-PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar fisicamente o solo e areia quanto à análise granulométrica e ensaio de plasticidade;
- Conformer os corpos-de-prova de tijolo solo-cimento com auxílio de uma matriz de planejamento experimental 2^3 variando o tempo de cura, o traço e o percentual de pó de granito;
- Caracterizar mecanicamente os corpos-de-prova através do ensaio de resistência a compressão simples.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PRODUÇÃO DE TIJOLOS TRADICIONAIS

Na indústria cerâmica tradicional, as matérias-primas são as argilas, um conjunto de minerais, compostos principalmente de silicatos de alumínio hidratados, que possuem a propriedade de formarem com a água uma pasta plástica moldável, conservando a forma moldada, endurecendo com a perda de água e solidificando-se definitivamente com o calor. Podemos citar como razões para a utilização da argila como matéria-prima para os materiais cerâmicos as seguintes afirmações: disponibilidade deste material em grandes quantidades, permite aplicações de técnicas de processamento relativamente simples e apresenta resistência mecânica após a queima, adequada para este tipo de aplicação (SOUZA SANTOS, 1992).

A matéria-prima é armazenada a céu aberto, ou seja, o sazonalidade das argilas é comum desde a antiguidade e atua de forma positiva no tratamento de argilas. O processo de intemperismo (sol-chuva) alivia as tensões no solo, auxiliam na plasticidade, na trabalhabilidade da argila e na homogeneização e distribuição da umidade nas massas.

As matérias primas utilizadas na indústria cerâmica tradicional são naturais, encontrando-se em depósitos espalhados na crosta terrestre. Após a mineração, os materiais devem ser beneficiados, isto é, desagregados ou moídos e classificados de acordo com a granulometria, e muitas vezes também purificados. O processo de fabricação, propriamente dito, tem início somente após essas operações (MACEDO, 1997).

Estudos realizados por DURÃES (1983) demonstram que as argilas, para terem emprego na fabricação de tijolos, devem ter valor médio ou elevado para a tensão ou módulo de ruptura à flexão, antes e após a queima. Apresentam cor vermelha após a queima a 950°C, apresentam um produto com poucas trincas e empenamentos, devido à pouca retração. Elevados teores de ferro divalente, elementos alcalinos e alcalinos terrosos são prejudiciais pelo fato de causarem uma excessiva retração, reduzir a faixa de vitrificação e causam colorações indesejáveis.

As argilas que são as matérias-primas básicas da indústria cerâmica estão amplamente distribuídas no Estado da Paraíba, chegando a formar reservas com qualidade e volume apreciável, que sustenta o parque cerâmico Paraibano, na produção de tijolos, telhas, ladrilhos

de piso, filtros, talhas, louças domésticas, e outros produtos. Essas argilas são amplamente utilizadas por empresas atuantes na área da cerâmica vermelha (MACEDO, 1997).

Nos últimos anos vêm sendo observados novos produtos nas construções, como blocos para laje de isopor e telhas de polipropileno, isto absorve um mercado que antes era de total fornecimento da indústria cerâmica. Diante desses fatos, o setor cerâmico vem procurando investir na qualificação dos seus produtos, adquirindo conhecimentos tecnológicos e adequando seus processos aos novos rumos da qualidade (MACEDO, 1997).

Nesse sentido, é importante o emprego das novas tecnologias na extração e no beneficiamento, monitorando as jazidas e recuperação para o controle do esgotamento da argila, prevendo a recuperação das áreas para o ressurgimento da vegetação de reposição do solo arável.

3.2 TIJOLOS SOLO-CIMENTO

O tijolo solo-cimento é uma mistura íntima e bem proporcionada de solo com aglomerante hidráulico artificial denominado cimento Portland, de modo que haja uma estabilização do solo pelo cimento, melhorando as propriedades da mistura. Os fatores que podem influenciar nas características do produto final são: dosagem do cimento, natureza do solo, teor de umidade e prensagem.

A coesão do solo-cimento é determinada pela constituição do cimento, sua finura, quantidade de água e temperatura ambiente. As impurezas que podem aparecer na água de amassamento podem ser agressivas ao cimento, como por exemplo sulfatos, matéria orgânica, resíduos sólidos, citratos, iodetos entre outros.

As quantidades mais adequadas dos componentes são determinadas através dos ensaios de laboratório ou ensaios solicitados de acordo com os tipos de solo e cimento a serem usados. Os ensaios de resistência à compressão podem ser executados em corpos de prova cilíndricos, ou ainda diretamente sobre os tijolos de solo-cimento.

O solo é o componente de maior proporção na mistura, devendo ser selecionado de modo que se possibilite o uso da menor quantidade possível de cimento. Em geral, os solos mais adequados à fabricação de tijolos de solo-cimento são os que possuem as seguintes características: passando 100% na peneira ABNT 4,8mm, passando de 10 a 50% na peneira

ABNT 0,075mm, que possua um limite de liquidez menor ou igual a 45% e um índice de plasticidade menor ou igual a 18% (PIRES, 2004).

Os ensaios necessários para a seleção de solo são:

- Preparação da amostra de Solo para Ensaio de compactação e Ensaio de caracterização (NBR 6457);
- Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solo (NBR 6508);
- Solo – Determinação do Limite de Liquidez (NBR 6459);
- Solo – Determinação do Limite de plasticidade (NBR 7180);
- Solo – Análise Granulométrica (NBR 7181).

O solo com uma quantidade de argila e silte acima de 50% em sua composição não são aconselháveis. A argila é um importante componente devido suas propriedades aglomerantes, promovendo a resistência inicial do material e melhorando sua trabalhabilidade.

O solo arenoso requer, quase sempre, menor quantidade de cimento do que o argiloso, devendo ser evitado solo que contenha matéria orgânica, pois esta pode alterar a hidratação do cimento e, conseqüentemente, a estabilização do solo, deixa o produto com poros.

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 Houben e Guiland (1994) e Ingles e Metcalf (1972), existem três principais métodos de estabilização do solo:

- estabilização mecânica: que consiste em compactar o solo por meio de ação 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 entre os grãos.
- estabilização química: quando materiais 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.

3.3 PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Processo de conformação é o processo mecânico onde se obtém peças através da compressão de metais sólidos em moldes, utilizando a deformação plástica da matéria-prima para o preenchimento das cavidades dos moldes (KALPAJIAN, 2000).

Processos de conformação podem ser classificados em:

- processo de compressão direta (forjamento, laminação);
- processo de compressão indireta (trefilação, extrusão);
- processo de dobramento;
- processo de cisalhamento.

Forjamento é conformação por esforços compressivos tendendo a fazer o material assumir o contorno da ferramenta conformadora, chamada matriz ou estampo. O forjamento consiste na alteração da forma de um metal por meio de prensagem ou de martelamento. A maioria das operações de forjamento é realizada a quente, entretanto certas ligas podem ser forjadas a frio (CHIAVERINI, 1986).

Laminação é o conjunto de processos em que se faz o material passar através da abertura entre cilindros que giram, modificando-lhe (em geral reduzindo) a seção transversal; os produtos podem ser placas, chapas, barras de diferentes seções, trilhos, perfis diversos, anéis e tubos. É também um processo de deformação plástica dos metais no qual o material passa entre rolos é conhecido como laminação. Na laminação, o metal é submetido a elevadas tensões de compressão, resultantes da ação de prensagem dos rolos, e tensões cisalhantes superficiais, resultantes da fricção entre os rolos e o material (CHIAVERINI, 1986).

Trefilação obtém-se de fios (elétricos) e arames (construção) a partir do fio-máquina (produto semi-acabado de aproximadamente 6,4 mm de diâmetro, obtido por laminação). Fio-máquina é forçado a passar por matriz (fieira) que reduz seu diâmetro. Diferentemente da extrusão, forças de tração são aplicadas no produto que está saindo da matriz (KALPAJIAN, 2000).

Extrusão é o processo em que a peça é “empurrada” contra a matriz conformadora, com redução da sua seção transversal. A parte ainda não extrudada fica contida num recipiente ou cilindro (container); o produto pode ser uma barra, perfil ou tubo. O processo de extrusão de metais pode ser classificado de acordo com o método em: direto, onde o material é forçado pela prensa a passar pela matriz ocasionando grande atrito – método de alto

impacto. Uma variação do processo direto é a denominada extrusão vertical, onde a direção de escoamento do material forma um ângulo reto com a direção da força exercida pelo êmbolo. Outro processo de extrusão é o indireto no qual o material permanece fixo enquanto a matriz é deslocada em direção a ele ocasionando a conformação. Esse processo não permite a aplicação de grandes pressões (GROOVER, 1996).

Dobramento é uma operação onde ocorre uma deformação por flexão. Quando um metal é dobrado, a sua superfície externa fica tracionada e a interna comprimida. Essas tensões aumentam a partir de uma linha interna neutra, chegando a valores máximos nas camadas externa e interna. Em outras palavras, em um dobramento a tensão varia de um máximo negativo na camada interna para zero na linha neutra e daí sobe a um máximo positivo na camada externa (KALPAJIAN, 2000).

Cisalhamento é executado colocando-se a chapa e/ou o material a ser cortado entre duas facas de corte de aço especial. A faca inferior é fixa e a superior é dotada de movimento ascendente/descendente. O esforço cortante é produzido pelo movimento descendente da faca superior que, ao penetrar no material a ser cortado (GROOVER, 1996).

A prensagem é a operação de conformação baseada na compactação de um pó granulado contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão. Este é o procedimento de conformação mais utilizado pela indústria cerâmica devido à sua elevada produtividade, facilidade e automação, e capacidade de produzir peças de tamanhos e formas variadas, sem contração de secagem e com baixa tolerância dimensional (ALBARO, 2000).

Para a produção de tijolo solo-cimento, faz-se necessário determinar o traço ideal, o qual é aquele que lhe conferir o valor médio da resistência à compressão simples igual a 2,0 MPa, de modo que nenhum dos valores individuais estejam abaixo de 1,7 MPa, na idade mínima de 7 dias.

3.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA

Resistência mecânica é definida como sendo a resistência que um corpo suporta sob a ação de determinados tipos de esforços, como tração, compressão, torção, cisalhamento, flexão simples e composta, ou a combinação de ambos.

A resistência mecânica corresponde à tensão na qual o material se rompe, sendo considerada a propriedade mais importante para os materiais estruturais. Para determinação da resistência mecânica dos materiais é necessário à realização de ensaios destrutivos com

corpos-de-prova padronizados, gerando diagramas de tensão x deformação. Através do diagrama tensão x deformação pode-se determinar o comportamento dos materiais como sendo frágil ou dúctil, além de determinar características importantes como ductilidade, tenacidade, resiliência, limite de escoamento, estricção e tensão de ruptura.

Pode-se também determinar a resistência de um corpo através de ensaios não destrutivos, como é o caso da esclerometria, que usa um aparelho esclerômetro no qual mede-se a dureza superficial do corpo, e assim tendo uma boa noção da sua resistência mecânica.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O STATISTICA é um software de métodos estatísticos que possui um conjunto de ferramentas para análises estatísticas. O software também possui ferramentas de gestão e visualização de bases de dados e Data Mining. As suas técnicas incluem uma seleção de modelação preditiva, agrupamentos (clustering) e ferramentas exploratórias (CPD UFRGS, 2015).

O STATISTICA foi adotado devido a seu conjunto de análise estatística, incluindo uma seleção de modelação preditiva, agrupamento e ferramentas exploratórias (Diagrama de Pareto e Superfície de respostas).

Analisa-se a situação (evento) e constrói-se um gráfico ou diagrama de Pareto, ordenando-se os itens (problemas, requisitos, etc) em ordem decrescente de ocorrência (frequência) e traçando-se uma linha que mostra o percentual acumulado dessas causas (Portal Administrador, 2014).

As técnicas de superfície de resposta são ferramentas matemáticas muito úteis quando estamos interessados na otimização de um processo em que temos a influência de vários fatores em uma variável resposta, ou seja, os modelos dos níveis dos fatores de interesse. Superfície de resposta podem ser explorados para determinar condições ótimas para se trabalhar ou a sensibilidade da variável resposta a mudanças (Portal Administrador, 2014).

Segundo BUTTON (2001), o planejamento fatorial é indicado para a fase inicial do procedimento experimental quando há necessidade de se definir os fatores mais importantes e estudar os efeitos sobre a variável resposta escolhida. Ainda, “é um modelo de efeito fixos, isto é, a análise dos efeitos provocados pelos fatores não pode ser transferida para outros níveis que não sejam analisados no planejamento”.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos desse trabalho foram realizados no laboratório de pavimentação do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e no laboratório de Solo-Cimento do Senai-PB, localizado no distrito industrial de Campina Grande-PB.

As metodologias utilizadas nos experimentos de caracterização do solo e da areia foram realizadas de acordo com as normas: DNER 080/94 ME, DNER 082/94 ME, DNER 122/94 ME. As normas têm sido adaptadas quando necessário. Já a metodologia utilizada no ensaio para determinação das propriedades mecânicas foi baseada em protocolos usados no laboratório de solo-cimento do Senai-PB.

4.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados foram: o solo proveniente do Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba (Figura 1), situado no município de Araruna-PB; a areia utilizada (Figura 2) foi adquirida no SENAI-PB situado no município de Campina Grande-PB; o cimento utilizado foi do tipo CP II-F-32, adquirido no comércio da cidade de Campina Grande-PB; a água utilizada foi a do abastecimento da cidade de Campina Grande-PB, proveniente do açude de Boqueirão-PB.

Figura 1: Solo utilizado na confecção dos tijolos



Fonte: Própria do autor

Figura 2: Areia utilizada na confecção dos tijolos



Fonte: Própria do autor

O pó de granito utilizado na fabricação dos tijolos solo-cimento, foi proveniente do beneficiamento do granito da empresa GRAN FUJI S.A.- Mármores e Granitos, situada na cidade de Campina Grande/PB. O pó foi obtido através do corte e polimento das peças de granito.

4.2. MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho consistiu nas etapas descritas a seguir, conforme atividades desenvolvidas e ensaios realizados.

4.2.1. Caracterização da Argila

A caracterização da argila foi realizada através dos ensaios de plasticidade e análise granulométrica por peneiramento.

4.2.1.1. Ensaio de Plasticidade

A plasticidade tem uma importância fundamental nas propriedades tecnológicas, pois define o ponto ótimo de trabalhabilidade da massa para conformação.

O limite de plasticidade corresponde à quantidade de água mínima necessária para uma argila (solo) possa alcançar o estado plástico.

A argila foi passada em peneira ABNT n°200, em seguida foi determinada as características de plasticidade: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP). As características de plasticidade das amostras foram determinadas pelo aparelho de Casagrande, segundo o método do NBR. A Figura 3 apresenta o aparelho Casagrande utilizado na determinação do limite de plasticidade do solo.

Figura 3: Aparelho casa grande utilizado no ensaio de plasticidade



Fonte: Arquivo do autor

4.2.1.2. Análise Física

A caracterização física é constituída pela análise granulométrica, tamanho de partícula por peneiramento e diâmetro máximo.

As propriedades de um solo dependem das funções das propriedades intrínsecas das fases constituintes e dos limites entre as fases.

A distribuição granulométrica foi determinada pesando-se 1000,00 g da areia em balança analítica, o qual foi transferido para um agitador de peneiras PRODUTEST na frequência de 50 RPM durante treze minutos, em jogo constituído por sete peneiras, seguindo as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1984): 14 mesh (1,180mm), 20 mesh (0,850 mm), 24 mesh (0,710 mm), 35 mesh (0,425 mm), 42 mesh (0,355 mm), 65 mesh (0,212 mm) e 115 mesh (0,125 mm). O material retido em cada peneira foi pesado e os resultados expressos percentualmente em relação à massa do material original.

Uma distribuição granulométrica adequada é aquela em que as partículas grossas e finas agrupam-se de tal forma que deixam espaços vazios entre si suficientes apenas para a passagem do fluido que garante a trabalhabilidade da massa (PASCHOAL, 2003).

A distribuição granulométrica do solo foi determinada pesando-se 1000,00 g do solo em balança analítica. As peneiras utilizadas foram segundo a norma do DNER 080/94 ME. As peneiras empregadas na análise foram as seguintes: Nº 4, 10, 40, 80 e 200.

4.2.2. Processo de preparação da mistura

Inicialmente todo o solo foi destorroado e peneirado, em seguida a argila, o cimento e o pó de granito a serem misturados foram medidos em volume, com auxílio de béqueres e provetas, para maior facilidade da operação, obtendo volume suficiente para a confecção dos tijolos necessários aos ensaios propostos.

Foi utilizado um percentual de 20% de areia devido à alta plasticidade do solo, a qual foi peneirada na peneira número 4,8 mm para retirada dos grãos maiores e impurezas tais como galhos e folhas.

A água foi adicionada em forma de chuva, até atingir a umidade ideal, obtendo uma argamassa farofada, com percentual de água ideal atingido na faixa de 5% de água. Como não foi utilizado misturador mecânico, o solo foi espalhado sobre o chão numa camada de até 20 cm, e em seguida, o cimento foi distribuído sobre a camada de solo, em seguida adicionando o pó de granito e areia nas devidas proporções, e com o auxílio de pás e enxadas foi realizado o processo de mistura para confecção dos tijolos solo-cimento, conforme Figura 4.

Figura 4: Processo de mistura para confecção dos tijolos solo-cimento



Fonte: Arquivo Próprio do autor

A verificação da umidade da mistura foi realizada, com razoável precisão da seguinte forma prática: foi pego um pouco da mistura e em seguida a mesma foi apertada energicamente entre os dedos e a palma da mão, e ao se abrir a mão, o bolo não deveria ter a marca deixada pelos dedos. Deixando-se o bolo cair de uma altura de aproximadamente 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. Processo de Prensagem e Cura

O processo de prensagem foi realizado em uma prensa hidráulica (Figura 5), pertencente ao laboratório de solo-cimento do SENAI-PB, localizado no município de Campina Grande-PB.

Definido o traço da composição, e feito a mistura, a mesma foi transferida para a prensa, que é provida de um molde que dá a forma à peça (tijolo), conforme (Figura 5).

Figura 5: Prensa Hidraulica utilizada na confecção dos tijolos



Fonte: Arquivo próprio do autor

Para o estudo da resistência mecânica dos tijolos, foi elaborado uma matriz de planejamento experimental, variando o tempo de cura, traço e percentual de granito, como variáveis independentes, e variável dependente a resistência mecânica, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de planejamento fatorial $2^3 + 3$ repetições no ponto central

Experimentos	Traço (T)	Cura (C)	Percentual de Granito
1	1:10 (-1)	7 (-1)	5 (-1)
2	1:14 (+1)	7 (-1)	5 (-1)
3	1:10 (-1)	23 (+1)	5 (-1)
4	1:14 (+1)	23 (+1)	5 (-1)
5	1:10 (-1)	7 (-1)	15 (+1)
6	1:14 (+1)	7 (-1)	15 (+1)
7	1:10 (-1)	23 (+1)	15 (+1)
8	1:14 (+1)	23 (+1)	15 (+1)
9	1:12 (0)	15 (0)	10 (0)
10	1:12 (0)	15 (0)	10 (0)
11	1:12 (0)	15 (0)	10 (0)

Para cada traço, foram moldados três tijolos na própria prensa para serem utilizados para a realização do ensaio de resistência à compressão simples. A Figura 6 apresenta os corpos-de-prova após o processo de conformação.

Figura 6: Tijolos após a moldagem



Fonte: Arquivo próprio do autor

O processo de cura foi realizado sob cura úmida na forma de chuveiro, cujos tijolos foram postos em superfície plana e coberto por uma lona para evitar perda de umidade, sendo regados três vezes ao dia com um borrifador, pelo período de até 23 dias.

A Figura 7 apresenta uma foto ilustrativa sobre o processo de cura úmida.

Figura 7: Foto ilustrativa do processo de cura manual



Fonte: www.ecomaquinas.com.br

4.2.4. Resistência à compressão

Para o desenvolvimento do processo de ruptura dos blocos foi utilizado um planejamento experimental fatorial, conforme descrito no item 4.2.3. Foi variado o traço, tempo de cura e o percentual de granito, conforme citado no item anterior, para análise da resistência à compressão. A regressão dos dados experimentais foi realizada utilizando o programa STATISTICA™ 5.0.

Os tijolos solo-cimento foram rompidos em uma prensa hidráulica manual pertencente ao CT minerais do SENAI-PB, localizado no município de Campina Grande-PB, conforme apresenta a Figura 8.

Figura 8: Prensa hidráulica manual, utilizada no rompimento dos tijolos solo-cimento

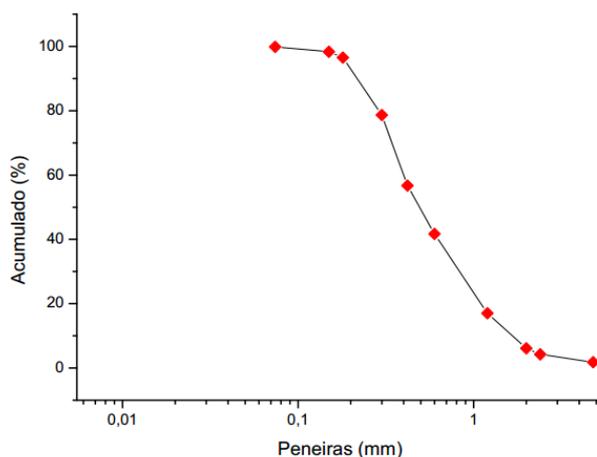


Fonte: Arquivo Próprio do autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 9 apresenta o gráfico de distribuição granulométrica da areia utilizada na fabricação dos tijolos solo-cimento. Observa-se uma boa distribuição granulométrica das partículas de areia, gerando assim uma maior compactidade entre os grãos, logo um menor índice de vazios e, conseqüentemente, aumentando à resistência à compressão e diminuindo a retração dos corpos-de-prova.

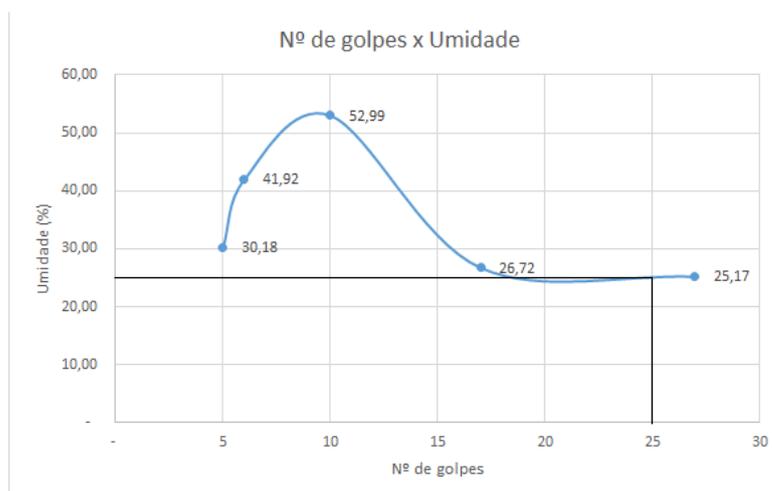
Figura 9: Gráfico de distribuição granulométrica da areia.



Fonte: Arquivo próprio do autor

A Figura 10, apresenta o gráfico resultante do ensaio de liquidez, obtido através do aparelho de casagrande. Obtendo-se um LL (limite de liquidez) de 25,48%, que está dentro dos padrões desejados, conforme norma do DNER 122/94 ME.

Figura 10: Gráfico do ensaio de liquidez do solo



As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores de umidade encontrados no ensaio de plasticidade.

Tabela 2: Ensaio de limite de liquidez do solo utilizado na conformação dos tijolos solo-cimento

Cápsula	Massa úmida + tara	Tara	Massa seca + tara
8	8,87g	7,32g	8,55g
43	19,09g	17,99g	18,84g
46	20,71g	18,10g	20,29g
55	9,59g	7,01g	9,17g
56	9,34g	7,33g	8,99g

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2 e através da equação 1, foram calculados os percentuais de umidades do solo utilizado na conformação dos tijolos solo-cimento, através da equação (1).

$$h = \frac{\text{massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa seca}} \times 100\% \quad (1)$$

Onde:

h: percentual de umidade.

Os percentuais de umidade do solo utilizado na conformação dos tijolos solo-cimento são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Umidade do solo utilizado na confecção dos tijolos solo-cimento

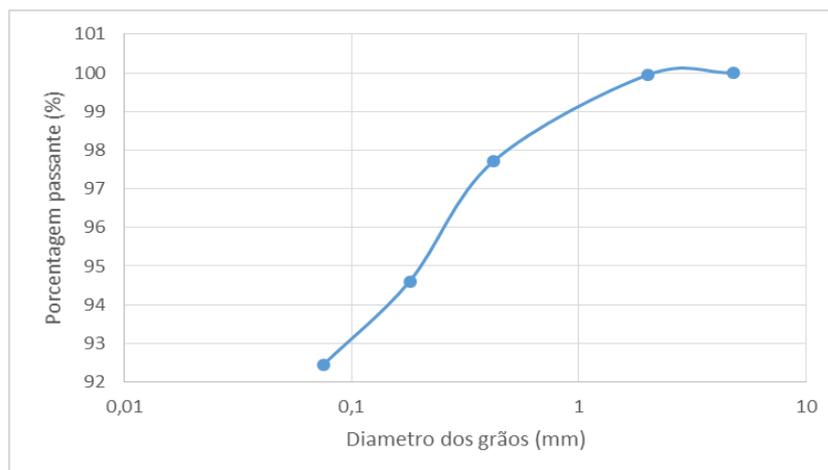
Cápsula	Umidade
48	26,02%
43	29,41%
46	19,18%
55	19,44%
56	21,08%

De acordo com a norma do DNER 082/94 ME, pede-se para ser feita uma análise da média de umidade com intervalos entre mais e menos 5% do valor da média da umidade. O

limite de plasticidade do solo é expresso pelos valores dos teores de umidade obtidos. O valor do limite de plasticidade do solo foi de 21,43%.

A Figura 11, apresenta o ensaio de granulometria do solo em estudo segundo norma do DNER 080/94 ME. As peneiras empregadas na análise foram as seguintes: N° 4, 10, 40, 80 e 200.

Figura 11: Gráfico da análise granulométrica do solo.



Os dados da granulometria da areia foram favoráveis para a utilização para correção da plasticidade da argila utilizada na fabricação dos tijolos.

A Tabela 4, apresenta a matriz de planejamento fatorial com os valores referentes à resistência à compressão simples, após os corpos de prova serem rompidos através de compressão axial.

Tabela 4: Matriz de Planejamento Fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais

Exp	Traço (V)	Cura (dias)	Granito (%)	Resistência (Mpa)
1	1:10(-1)	7(-1)	5(-1)	1,22
2	1:14(+1)	7(-1)	5(-1)	1,02
3	1:10(-1)	7(-1)	15(+1)	1,17
4	1:14(+1)	7(-1)	15(+1)	0,88
5	1:10(-1)	23(+1)	5(-1)	3,87
6	1:14(+1)	23(+1)	5(-1)	2,55
7	1:10(-1)	23(+1)	15(+1)	2,93
8	1:14(+)	23(+1)	15(+1)	2,15
9	1:12(0)	15(0)	10(0)	1,49
10	1:12(0)	15(0)	10(0)	1,42
11	1:12(0)	15(0)	10(0)	1,41

Com base nos dados apresentado na Tabela 4, os resultados obtidos nos ensaios 1, 2, 3, 4, 9, 10 e 11 estão fora dos padrões aceitáveis pela norma, que afirma que o corpo-de-prova não pode apresentar resistência média inferior a 2,0 Mpa e resistência individual inferior a 1,7 Mpa na idade mínima de 7 dias. A melhor resistência à compressão axial foi adquirida no ensaio 5, cuja a razão cimento-solo foi de 1:10, tempo de cura de 23 dias e 5% de granito incorporado, apresentando uma resistência de 3,87 MPa.

A Tabela 5 apresenta a análise de variância para o modelo completo.

Tabela 5: Análise de variância para o processo de resistência à compressão simples.

Fonte de variação	G.L	Soma quadrática	Média quadrática	F_{cal}	F_{tab}
Regressão	6,0000	8,1438	1,357296	8,04337	6,16
Resíduo	4,0000	0,6750	0,168747		
Falta de ajuste	2,0000	0,6712	0,335594		
Erro puro	2,0000	0,0038	0,0019		
Total	10,0000	8,8188			

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 et al., 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 a resistência à compressão simples (RC) é apresentado pela equação 1:

$$RC = 1,8281 - 0,33 * T + 0,9 * C - 0,19 * G - 0,20 * T * C - 0,14 * C * G \quad (1)$$

Onde:

T: traço;

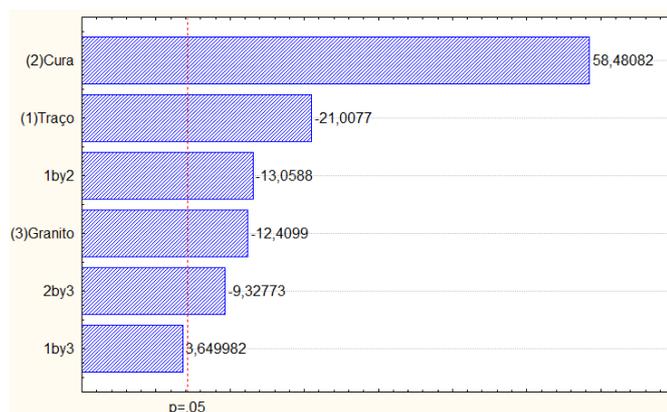
C: idade de cura;

G: pó de granito;

Neste caso, o modelo dos dados apresentados na Tabela 5 tem R^2 igual à 92,35% das variações obtidas explicadas pelo modelo e com um valor da razão $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} de 1,31, indicando que o modelo é estatisticamente significativo.

As análises estatísticas com um nível de significância de 5% mostraram que o traço, e o tempo de cura e a porcentagem de granito adicionado ao traço, assim como a interação entre ambos são significativos, conforme apresenta o diagrama de Pareto, presente na Figura 12.

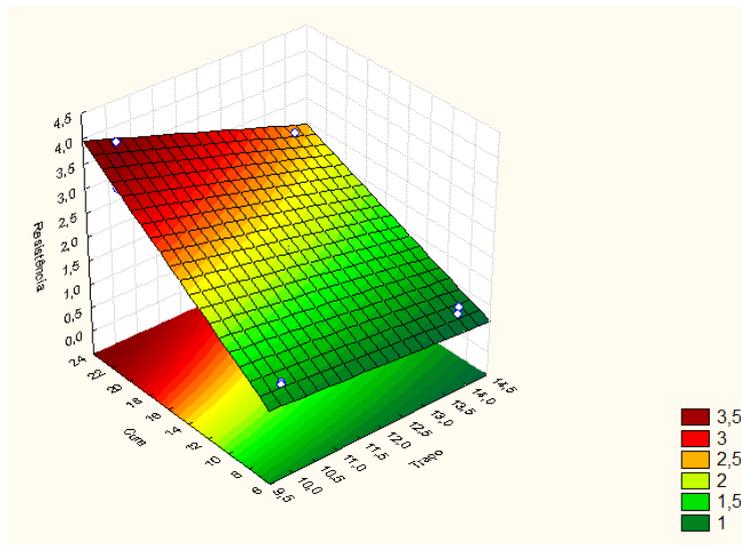
Figura 12: Diagrama de Pareto para interação traço, tempo de cura, percentual de granito na análise de resistência à compressão.



De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 12, 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 aumentar a relação cimento-solo, a resistência à compressão diminui. O mesmo comportamento ocorre para a interação tempo de cura e percentual de granito.

A Figura 13 apresenta a superfície de resposta do planejamento experimental.

Figura 13: Superfície de Resposta (2^3) para a resposta resistência à compressão simples



De acordo com a superfície de resposta mostrada na Figura 13, verifica-se que as variáveis independentes, traço e tempo de cura, influenciam aumentando a resistência à compressão axial, porém, a interação entre elas também é significativa, indicando que diminuindo a idade de cura e aumentando a relação cimento-solo, diminui também a resistência a compressão.

A explicação para tal fato deve ser porque, quanto maior for o tempo de cura do tijolo, maior será a resistência mecânica da 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 quantidade de solo, a resistência mecânica da peça também irá aumentar.

De acordo com a Figura 13, percebe-se que quando se aumenta a idade de cura e se diminui a razão entre os componentes, aumenta a resistência mecânica, havendo uma boa interação entre as variáveis.

6. CONCLUSÕES

A caracterização física da areia mostra que a mesma apresentou uma boa distribuição granulométrica, favorecendo um aumento da resistência mecânica dos corpos-de-prova. O solo presente no Campus VIII da UEPB foi caracterizado como um solo silte-argiloso orgânico, que é viável para a produção do tijolo de solo-cimento, porém teve que se adicionar areia para corrigir a plasticidade do solo.

O diagrama de Pareto e a superfície de resposta foram de fundamental importância para a análise da interação entre o traço, tempo de cura e percentual de pó de granito. O estudo estatístico da matriz fatorial $2^3 + 3$ repetições no ponto central tende a ser muito preciso para o trabalho em estudo. Observou-se através do diagrama de Pareto que cada característica teve comportamento independente, o tempo de cura teve maior influência, porém quando feito a interação com o tempo de cura obteve-se valor negativo, onde analisou-se que a resistência mecânica só tem aumento quando o traço diminuir e tempo de cura crescer. Do mesmo jeito foi a interação entre tempo de cura e percentual de granito, onde a resistência à compressão simples só tende a crescer quando o tempo de cura cresce e o percentual de granito diminui.

A metodologia do planejamento experimental serviu para avaliar a resistência à compressão simples, permitindo observar de forma prática, a melhor condição de operação na moldagem dos tijolos de solo-cimento, sendo o traço de 1:10, tempo de cura de 23 dias e 5% de adição de pó de granito, atingindo uma resistência à compressão simples de 3,87 MPa.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 7181: Solo - **Análise Granulométrica**, 1984.

ABNT. NBR 5739: Concreto – **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - **Determinação de absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. NBR 10.004: Resíduos Sólidos – **Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.; BRUNS, R. **Planejamento e otimização de experimentos**. UNICAMP, Campinas, 1996. p.66.

BUTTON, S.T. (2001). *Metodologia para planejamento experimental e análise de resultado*. São Paulo, Universidade Estadual de Campinas.

CHIAVERINI, V. - *Tecnologia Mecânica*, Volume II, 2a ed., Makron Books, 1986

CPD (Centro de Processamento de dados) UFRGS, 2015.
www.ufrgs.br/cpd/servicos/computadores-e-aplicativos/software-disponiveis/software-licenciado-statistica

DEL PRETTE, Lucas; ZANIN, Maria.; **Aplicação de princípios de sustentabilidade na pesquisa sobre reciclagem de materiais**. In: III ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS – ENECS, São Carlos, 2003.

DNER – ME 080/94 – Solos – **Análise Granulométrica por Peneiramento**;

DNER – ME 082/94 – Solos – **Determinação de Limite de Plasticidade**;

DNER – ME 122/94 – Solos – **Determinação do Limite de Liquidez**;

DURÃES R.F., *Como iniciar uma indústria de tijolos - Parte II*, *Cerâmica* 29(165); 22-A (1983).

F. D. Bezerra, F L. E. Viana, A. R. de Faria Jr., **Relatório de Pesquisa sobre a Indústria de Cerâmica Vermelha no Nordeste**. ETENE, Banco do Nordeste, Fortaleza-CE (2001)

FERNANDES, Marlene. **Agenda Habitat para Municípios**. Rio de Janeiro: IBAM, 2003.

GROOVER, M. P., 1996, **Fundamentals of Moder Manufacturing**, Prentice Hall, 199

HOLTHAUSEN, Carlos. **Desenvolvimento Sustentável**. Florianópolis: Cuca Fresca, 2002.

KALPAKJIAN, S., *Manufacturing Engineering & Tecnology*, 4th ed, Addison Wesley, 2000

MACEDO, R.S., *Estudo das matérias-primas e tijolos cerâmicos furados produzidos no Estado da Paraíba. Campina Grande, PB, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Pós- Graduação em Engenharia Química, CCT/UFPB.*

HECK, N. C., *Introdução à Engenharia Metalúrgica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS*. 12 p

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

INGLES, O. G. e METCALF, J.B.(1972).

PASCHOAL, J.A.A., *Estudo de parâmetros de qualidade para a cerâmica estrutural vermelha*, São Carlos, SP, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). PPG-CC/UFSCAR ;

PASSOS, P. R. A. *Destinação Sustentável de Cascas de Coco Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas*. Tese (Doutorado em ciências em planejamento estratégico) – Programa de pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 166 p Rio de Janeiro, 2005;

PICANÇO, M. S.; GHAVAMI, K. *Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá*. *Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro*. 101p Rio de Janeiro 2005.

PIRES, I. B. A. *A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares*. Monografia – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Salvador. 11 p Salvador, 2004;

Portal Administrador, 2014. www.portal-administracao.com/2014/04/diagrama-de-pareto-passo-a-passo.

PROVENZANO, T. L.. **Desenvolvimento de sistema construtivo em painéis pré-fabricados de argamassas e garrafas plásticas para habitação de interesse social**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; JHON, Vanderley Moacyr. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Brasil – Porto Alegre, RS. ANTAC. 2003. 273p. (Coleção Habitare v. 4);

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos**, Campinas, SP, Casa do Pão Editora, 2005.

SANTOS, A. M.; *Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia*. Dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006;

SOUZA SANTOS, P., *Ciência e tecnologia de argilas*, 1 e 2 v. 2ª ed. rev. e at. São Paulo: Edgard Blucher, 1992;

SELIKOFF, I.J.; HAMMOND, E.C. AND CHURG, J. *Mortality experiences of asbestos insulation workers, 1943-1968. In: Pneumoconioses. Proceedings of the international conference.Proceedings.* Oxford University Press, Johannesburg, Cape Town, p. 180-186, 1969.

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.

TOLEDO FILHO, R.D.; GHAVAMI, K.; ENGLAND, G.L; SCRINEVER, K. *Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. Cement And Concrete Composites.* V.25, N.2, p.185 - 196, 2003.