



UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI - URCA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
DEPARTAMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
TECNOLOGIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL: TOPOGRAFIA E ESTRADAS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CONTROLE TECNOLÓGICO DO TIJOLO MODULAR DE SOLO-
CIMENTO**

Pedro André de Sousa Gonçalves

JUAZEIRO DO NORTE, CE
2018

Pedro André de Sousa Gonçalves

CONTROLE TECNOLÓGICO DO TIJOLO MODULAR DE SOLO-CIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora do Curso de Tecnologia da Construção Civil, com habilitação em Topografia e Estradas da Universidade Regional do Cariri – URCA, como requisito para conclusão do curso.

Orientador: Dr. Renato de Oliveira Fernandes

JUAZEIRO DO NORTE, CE
2018

A minha Mãe Antonia Marta de Sousa, pelo o seu amor incondicional por mim e por te me educado a ser um homem honesto e justo.

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus pela a sua infinita misericórdia e amor, por ter me concedido o dom da vida, a saúde e a coragem para enfrentar os meus objetivos e pela certeza de que sempre está ao meu lado ao longo da minha vida.

A minha família, em especial a minha mãe Antonia Marta de Sousa, ao meu pai Vamirez Argemiro Gonçalves, a minha irmã Ana Raquel Gonçalves de Sousa, e a minha tia Antônia Batista de Souza que sempre acreditaram nesse meu sonho e sempre me apoiaram em todas as minhas decisões ao longo da graduação, sem eles esse sonho jamais seria uma realidade, pois acima de tudo acreditaram firmemente no meu potencial.

A minha namorada Maria Nádyá Barbosa da Silva, que esteve ao meu lado nos momentos alegres e difíceis da graduação principalmente no desenvolvimento desse trabalho, sempre disposta a ajudar. O seu companheirismo, carinho, amor, amizade, conselhos, orações e paciência comigo nos momentos difíceis, foram fundamentais para que hoje eu estivesse realizando esse sonho.

A minha comunidade católica Fraternidade Missionária “O Caminho”, por estar junto de mim durante esse período, me dando todo o suporte espiritual.

Ao Professor e Coordenador do curso, Me. Antonio Nobre Rabelo que sempre se mostrou disponível a ajudar durante a minha vida acadêmica, e ao meu orientador Professor Dr. Renato de Oliveira Fernandes, pelos seus inúmeros conselhos na vida acadêmica e profissional, por todo o suporte durante o desenvolvimento desse trabalho da qual nunca mediu esforços para me ajudar, a me ouvir e me orientar.

Aos meus colegas de graduação e amigos que fiz dentro dessa universidade Eurides Ferreira de Alcântara, Maria Clara de Gomes Lima e Maria Silva, da qual dividimos bons momentos juntos.

Ao Instituto Federal do Ceará (IFCE) na pessoa do Carlos Régis Torquato Coordenador do curso de Edificações, que disponibilizou o laboratório de materiais para o desenvolvimento de parte desse trabalho, ao monitor do laboratório Leandro que me auxiliou na produção de corpos de prova, e a Universidade Federal do Cariri (UFCA), na pessoa do técnico de laboratório Igor, que me ajudou em testes de resistência, se mostrando sempre disposto a ajudar e tirar dúvidas.

A todos que de alguma forma ajudaram diretamente e indiretamente no desenvolvimento e sucesso desse trabalho.

“Não foi pela a espada que conquistaram a terra, nem pela força do seu braço que alcançaram a vitória, foi pela tua mão direita, teu braço e pela luz do teu rosto, por causa do teu amor para com eles. És tu, meu Rei e meu Deus! És tu que decreta a vitória a Jacó!”
(Salmo 44:3-4)

RESUMO

Este trabalho busca apresentar todos os processos empregados ao tijolo de solo-cimento, desde a escolha do solo, dosagem de estabilizante, controle de umidade, até o transporte do material ao canteiro de obra, avaliando o impacto que cada etapa tem na qualidade final do tijolo e garantir que através do controle tecnológico é possível ter um material de alta resistência. A primeira fase do trabalho foi a caracterização dos solos da Região Metropolitana do Cariri, localizada no sul do Ceará e da cidade de Cajazeiras situada no sertão da Paraíba, que juntas caracterizam como a área de estudo desse trabalho. Os testes realizados nessa fase foram os ensaios de granulometria por peneiramento e os limites de Atterberg. O solo de Juazeiro do Norte foi o único da Região Metropolitana do Cariri que mostrou uma potencialidade para a produção de tijolos de solo-cimento, já o solo de Cajazeiras passou por uma correção granulométrica para que pudesse ser usado na moldagem dos tijolos, pois apresentou granulometria inferior ao exigido pela norma. A segunda fase do trabalho foi a moldagem dos tijolos, o teste de resistência à compressão simples e o teste de absorção de água. Os tijolos moldados com o solo de Juazeiro do Norte apresentaram resultados abaixo do mínimo previsto por norma para os testes de resistência à compressão e absorção de água. Por outro lado, os tijolos moldados com o solo de Cajazeiras apresentaram resultados superior ao mínimo previsto por norma para a resistência à compressão e absorção de água mesmo com baixa quantidade de areia. Por outro lado, os tijolos moldados a partir do solo de Cajazeiras, mostrou que é possível aumentar a resistência em mais de 50% para adição de 10% de areia no solo.

Palavras Chave: Caracterização de solo, Região Metropolitana do Cariri (RMC), Material construtivo, Solo-Cimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de graduação de um solo.....	16
Figura 2 - Prensa para fabricação de tijolos de solo-cimento.....	22
Figura 3 - Tipos de tijolos de solo-cimento mais utilizados no mercado nacional.	23
Figura 4 - Estrutura da residência.	24
Figura 5 - Localização do CRAJUBAR na Região Metropolitana do Cariri.	27
Figura 6 - Localização da RMC no estado do Ceará.....	28
Figura 7 - Localização de Cajazeiras no estado da Paraíba.	29
Figura 8 - Fluxograma do programa experimental.	30
Figura 9 - Aspecto visual dos solos coletados.....	32
Figura 10 - Amostra de solos destorroadas.	34
Figura 11 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.....	35
Figura 12 - Aparelho de Casagrande.	36
Figura 13 - Material homogeneizado pronto para a moldagem dos tijolos de solo-cimento.....	39
Figura 14 – Processo de moldagem dos tijolos de solo-cimento.....	40
Figura 15 - Tijolos moldados iniciando o seu processo de cura após 24 horas da moldagem.....	42
Figura 16 - Corpos de prova para o teste de compressão simples.	43
Figura 17 – Teste de absorção de água.....	45
Figura 18 - Métodos de estocagem de tijolos de solo-cimento.....	46
Figura 19 - Métodos de transporte de tijolos de solo-cimento.....	48
Figura 20 - Curva granulométrica das três amostra de solo estudadas.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensão dos grãos.	16
Tabela 2 - Classificação dos solos da RMC.	17
Tabela 3 - Classificação de Solos da Paraíba.....	18
Tabela 4 - Características de solo segundo a NBR 10833/2012.....	24
Tabela 5 - População da RMC.	28
Tabela 6 - Nomenclatura das amostras de solo.....	31
Tabela 7 - Lista de ensaios de caracterização de solo segundo a ABNT.	33
Tabela 8 - Características dos tijolos produzidos.....	40
Tabela 9 - Período de cura dos tijolos de solo-cimento.....	41
Tabela 10 - Granulometria das três amostras de solo da RMC.....	49
Tabela 11 - Percentual de agregados presente no solo.....	50
Tabela 12 - Granulometria do solo de Cajazeiras.	51
Tabela 13 - Resultado de LL, LP e IP dos solos estudados.....	52
Tabela 14 - Resultados do ensaio de compressão simples.	53
Tabela 15 - Resultados do ensaio de absorção de água.	54

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

A – Absorção

AASHTO – Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ba – Barbalha

Ca - Cajazeiras

CAGECE – Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará

CE – Ceará

cm³ - Centímetros cúbicos

CO² - Dióxido de carbono

Cr – Crato

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA – Estados Unidos da América

F - Fina

g – Grama

G - Grossa

h – Umidade

Pa – Peso do material seco

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFCE – Instituto Federal do Ceará

IP – Índice de Plasticidade

Ph – Peso do material úmido

JN – Juazeiro do Norte

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

M – Média

Mh – Massa do tijolo úmido

Mpa – Mega Pascal

mm – Milímetro

Ms – Massa do tijolo seco

Mw – Massa da água

n – Numero de Golpes

n° - Números

NBR – Norma Brasileira

NP – Não Plástico

PIB – Produto Interno Bruto

RMC – Região Metropolitana do Cariri

SIBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

UFCA – Universidade Federal do Cariri

URCA – Universidade Regional do Cariri

% - Porcentagem

°C – Graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Geral	14
2.2	Específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Tipos de solos	15
3.2	O solo brasileiro	16
3.3	O solo da Região Metropolitana do Cariri (RMC)	17
3.4	O solo de Cajazeiras	18
3.5	Caracterização dos solos e seus estabilizantes	18
3.6	O solo como material de construção na história	20
3.7	Solo-Cimento como material de construção	21
3.8	Tijolo modular de solo-cimento	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1	Área de estudo	26
4.1.1	Região Metropolitana do Cariri (RMC)	26
4.1.2	Município de Cajazeiras, Paraíba	29
4.2	Programa Experimental	30
4.3	Coleta do Solo	30
4.4	Estabilizante	32
4.5	Caracterização dos solos	33
4.6	Granulometria por peneiramento dos solos da RMC	34
4.7	Granulometria por peneiramento do solo de Cajazeiras	35
4.8	Limite de Liquidez (LL)	36
4.9	Limite de Plasticidade (LP)	37
4.10	Moldagem dos tijolos solo-cimento	38
4.11	Cura dos tijolos solo-cimento	41
4.12	Avaliação de resistência à compressão	42
4.13	Avaliação da absorção	43
4.14	Estocagem	45
4.15	Transporte	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	Granulometria por peneiramento dos solos da RMC	49
5.2	Granulometria por peneiramento do solo de Cajazeiras	51
5.3	Limite de consistência: LL, LP e IP	51
5.4	Resistência à compressão simples	53
5.5	Absorção de água	54
6	CONCLUSÕES	55
7	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é o setor que mais consome recursos naturais e o que mais gera resíduos (CBCS; MMA; PNUMA, 2014, p 88). O crescimento populacional, o processo de urbanização cada vez mais rápido, aliado com a falta de uma boa gestão e controle técnico dos recursos materiais e humanos tem contribuindo significativamente para esse cenário.

Além da questão ambiental, é possível destacar em um contexto mais central, do ponto de vista técnico de materiais e métodos, o crescimento imobiliário, que tem feito com que as edificações sejam construídas em uma velocidade cada vez maior, fazendo com que tenha uma perda significativa na qualidade final do produto, seja por uma falta de rigor técnico dos materiais usados ou falta de conhecimento técnico na execução da obra.

Partindo dessa problemática existente na construção civil, se desenvolveu vários estudos e técnicas para que os impactos fossem sanados ou amenizados através de novas tecnologias (ANITECO, 2017). Uma dessas tecnologias que vem tomando força nos últimos anos no setor da Construção Civil, são os tijolos de solo-cimento, popularmente conhecidos como tijolos ecológicos, que basicamente é proveniente de uma mistura de solo, cimento e água.

Embora essa técnica pareça algo novo e revolucionário, a aplicação de construções feitas de terra crua vem de tempos antigos na história da humanidade, podendo destacar grandes construções como as da Grécia e Roma antiga e a Muralha da China (MOREIRA, 2009, p.1) que ainda hoje apresentam-se conservadas, resistindo a ação do tempo e mostrando que o uso e aplicação correta dessa técnica podem garantir eficiência e durabilidade. No Brasil é comum encontrar esse tipo de técnica nas regiões interioranas e no meio rural brasileiro em edificações de pau-a-pique ou taipa.

Ainda que a aplicação dessa tecnologia tenha um viés sustentável e limpo, a ausência de um controle técnico, acaba desencadeando uma série de patologias do material construtivo, gerando desperdício e uma má qualidade do produto final, onde muitas vezes a causa desse problema encontra-se no material utilizado e não no método empregado.

Dentro desse contexto pode-se destacar a importância de ter um rigoroso controle técnico de todos os processos desde a escolha do local de instalação da olaria até o transporte para o canteiro de obra, ressaltando ainda a importância do estudo físico do solo e do seu estabilizante para que não ocorra uma incompatibilidade química de substâncias, que são fatos que justificam essa pesquisa.

A qualidade nos processos de escolha do material, fabricação dos tijolos e o seu armazenamento e transporte é de suma importância para a qualidade final do tijolo, para assim garantir um material com um bom desempenho de durabilidade e resistência, em vista que o seu uso consiste em uma edificação sustentável, limpa, eficiente e de baixo custo financeiro, na qual a falta desse controle técnico, pode gerar justamente o oposto do que o tijolo ecológico propõe.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar os processos técnicos empregado na produção do tijolo modular de solo-cimento e os possíveis impactos que as características do solo, dosagem e umidade podem causar na qualidade final desse tipo de tijolo.

2.2 Específicos

- Realizar a caracterização de amostras de solos oriundos da região metropolitana do cariri cearense e do município de Cajazeiras, Paraíba;
- Descrição detalhada do processo de moldagem e cura dos tijolos solo-cimento;
- Realizar os testes de resistência a compressão e absorção de água para tijolos moldados a partir de solos com características granulométricas diferentes;
- Apresenta o método adequado de estocagem e transporte do tijolo solo-cimento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Tipos de solos

Os solos são materiais resultantes da desintegração de rochas, ou melhor, de uma rocha matriz. Essa degradação das rochas se dá por diferentes fatores ou um conjunto de fatores ao longo do tempo (CAPUTO, 1996).

No processo de desintegração mecânico, os principais fatores são as variações de temperatura que acaba por fraturar as rochas, assim facilitando a entrada de água em seu interior. A flora e a incidência dos ventos também contribuem para a formação do solo pelo processo mecânico (PINTO, 2006). Já a desintegração química é provocada quando se muda a estrutura química ou mineralógica da rocha matriz, isso pode ser provocado pela presença de água, que causa a oxidação, hidratação e carbonatação da rocha. A presença da fauna e da flora também contribuem com os efeitos químicos da vegetação (CAPUTO, 1996).

Caputo (1996) ainda acrescenta que a desintegração por processos mecânicos dá origem as partículas grossas e intermediárias, já através do processo químico origina-se as partículas finas que são as argilas que compreende o último produto do processo de desintegração.

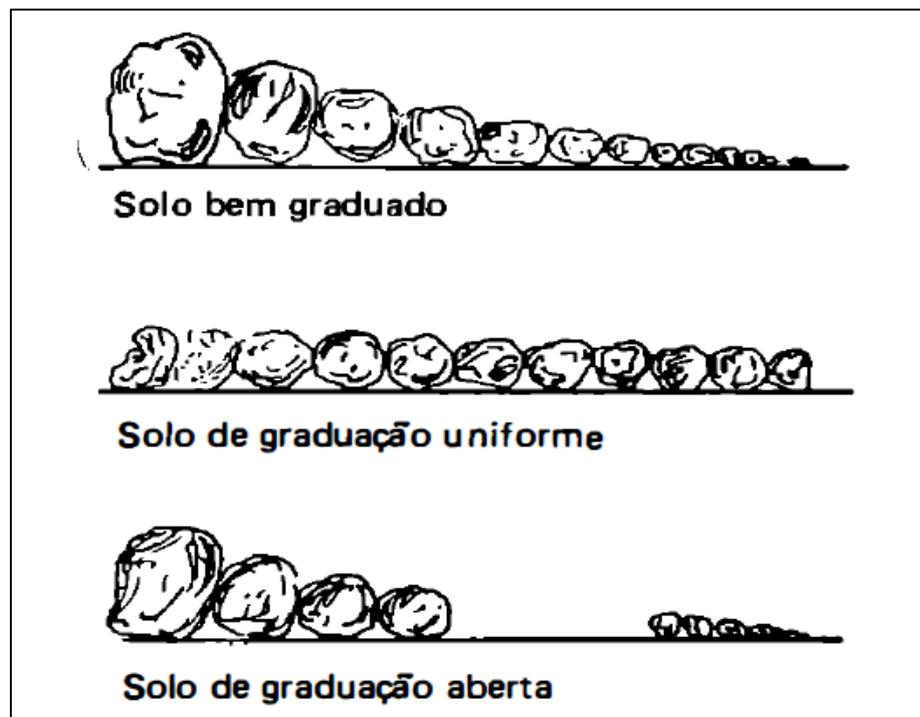
Segundo Pinto (2006) o solo é um conjunto de partículas de diferentes tamanhos e formas que podem ser diferenciadas de acordo com a sua composição química, na qual a característica física do solo depende diretamente da composição química da rocha matriz. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR: 6502/1995 divide o solo em 8 tipos de partículas de diferentes dimensões conforme apresentada na Tabela 1, enquanto Caputo (1996) ainda divide o solo em três graduações, sendo, solo bem graduado, solo de graduação uniforme e solo de graduação aberta, conforme apresentada na Figura 1.

Tabela 1 - Dimensão dos grãos.

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia Grossa	De 2 mm a 4,8 mm
Areia Média	De 0,42 mm a 2 mm
Areia Fina	De 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005

Fonte: ABNT, (1995).

Figura 1- Tipos de graduação de um solo.



Fonte: Caputo, (1996).

3.2 O solo brasileiro

Segundo Mascarenhas (2016), a faixa territorial brasileira, por estar distantes dos polos e mais próxima da linha do equador em sua grande maioria, tem como domínio um clima tropical, desde a região Norte até a região Sudeste, com uma pequena variação climática na região Sul do país, onde o clima passa a ser subtropical, no entanto as características físicas dos solos não mudam consideravelmente, podendo-se encontrar solos lateríticos e solos saprolíticos em quase toda a faixa territorial do Brasil devido ao clima tropical. É comum que solos

tropicais sejam de coloração vermelha ou amarela, isso ocorre pela concentração de hidróxido de alumínio e ferro (MASCARENHAS, 2016).

No Brasil, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) classifica os solos presente no território nacional através do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

De acordo com a EMBRAPA (2018a)

A chave de classificação é organizada em 6 níveis categóricos. Os quatro primeiros níveis são denominados de ordens, subordens, grandes grupos, subgrupos, sendo que o 5° e 6° níveis categóricos ainda se encontram em discussão. Atualmente um solo pode ser corretamente classificado utilizando-se a chave de classificação, até o 4° nível categórico do sistema.

3.3 O solo da Região Metropolitana do Cariri (RMC)

Segundo o SiBCS (2018) o território cearense apresenta a seguinte classificação de solos: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintissolos e Vertissolos.

No entanto na Região Metropolitana do Cariri (RMC), de acordo com a EMBRAPA, são encontradas as seguintes classes de solos: Latossolos Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Flúvicos, Neossolo Litólicos, Notossolo Vermelho e Vertissolo. Na Tabela 2 é possível observar a faixa de domínio de cada classe de solo da RMC.

Tabela 2 - Classificação dos solos da RMC.

Pedologia	Área em (km²)	Ocorrência %
Latossolo Vermelho-Amarelo	1.504,77	30,46
Argissolo Vermelho-Amarelo	1.682,93	34,06
Neossolo Flúvicos	219,87	4,45
Neossolo Litólicos	992,90	20,10
Notossolo Vermelho	331,73	6,71
Vertissolo	191,59	3,88
Água	16,76	0,34

Fonte: Mascarenhas, (2016).

Os solos Latossolos e Argissolos são predominantes na RMC, com 30% e 34%, respectivamente e com 6% de Nitossolos (MASCARENHAS, 2016). Essa classificação apresentada corresponde ao 1° nível categórico feito pelo SiBCS. Mascarenhas (2016) ainda afirma que pelo fato da RMC apresentar tais

características pedológicas em sua grande maioria, compreende-se que a característica dos solos na RMC é de origem laterítico que são solos de características tropicais.

3.4 O solo de Cajazeiras

De acordo com o IBGE (2016) o estado da Paraíba apresenta cinco domínios morfológicos diferentes: Tabuleiros Costeiros, Patamares Orientais da Borborema, Planalto da Borborema, Depressão Sertaneja e Planalto Sertanejo. Dentro desses domínios morfológicos o estado da Paraíba apresenta uma diversidade de solos, na qual pode-se observar melhor na Tabela 3 os mais predominantes no território paraibano.

Tabela 3 - Classificação de Solos da Paraíba.

Pedologia	Ocorrência (%)
Neossolos Litólicos	39,00
Luvissolos Crômicos	26,00
Argissolos Vermelhos, Vermelho-Amarelo, Acinzentados, Amarelo	14,00
Neossolos Regolíticos	5,00
Planossolos Nátricos	5,00
Planossolos Háplicos	5,00
Vertissolos Háplicos	3,00
Neossolos Flúvicos	3,00
Neossolos Quartzarênicos	1,00

Fonte: Costa; Silva e Fortunato, (2015).

Já no município de Cajazeiras pode-se encontra três tipos de solo: em sua grande maioria está o solo Bruno não Cálcico, uma média faixa de solo Litólicos Eutrófico e uma pequena faixa de Vertissolos. (EMBRAPA, 2018b).

3.5 Caracterização dos solos e seus estabilizantes

Para se conhecer bem um solo é necessário caracterizá-lo afim de se saber toda a sua estrutura química, física e seu comportamento em diferentes situações. É bastante comum conseguir identificar algumas partículas do solo a olho nu, no entanto, Pinto (2006) afirma que não é fácil identificar o tipo de solo somente pelo manuseio. Existem partículas minúsculas, como por exemplo as argilas, que suas partículas podem chegar a ter espessura da ordem de 10 Angstrons (0,000001mm).

Existem diversas particularidades no solo que dependem das condições em que o solo é submetido. É comum que grãos de areias quando secos acabem aglomerando diversos grãos de argilas finíssimas ao seu redor, no entanto, quando molhados, as argilas formam uma espécie de pasta enquanto os grãos de areia podem ser facilmente identificados pelo simples tato (PINTO, 2006).

Pinto (2006) afirma que para identificação de um solo a partir das partículas que os constituem, são empregados dois tipos de ensaio: a análise granulométrica e os índices de consistência. Apesar de ser apenas dois ensaios, existem diversas formas de executar o ensaio de granulometria, porém o mais usual é o ensaio de granulometria por peneiramento, que consiste na separação dos grãos através do uso de peneiras de diferentes malhas, as dimensões de cada grupo de grãos é estabelecida pela ABNT e pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Já os limites de consistência são ensaios onde se verifica o comportamento do solo quando ele está úmido, podendo variar de um estado plástico até rígido, analisado pelo Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e o Índice de Plasticidade (IP) (PINTO, 2006).

A caracterização do solo é de suma importância quando se pretende aplicar a técnica de estabilização, pois essa técnica exige um conhecimento do solo em questão, uma vez que a incompatibilidade química entre o solo e o estabilizante podem causar grandes danos fazendo que diminua a sua resistência, quando o resultado esperado é justamente o oposto, pois o emprego dessa técnica de estabilização consiste em garantir uma melhoria na resistência do material (SANTIAGO, 2001).

A caracterização de um solo pode ser feita com diferentes aditivos como o cimento, cal, fibras e betume. O que vai definir qual estabilizante é melhor para ser usado é a finalidade da mistura e o tipo de solo que será usado, assim como a dosagem usada (SANTIAGO, 2001).

Santiago (2001) ainda acrescenta algumas das vantagens para diferentes finalidades do uso da técnica de estabilização de solos:

- Redução da porosidade, da permeabilidade e das variações de volume da massa específica de terra principalmente no caso de solos bastante intemperizados, como é o caso das zonas tropicais;
- Melhoria da resistência mecânica (à compressão, à tração e ao cisalhamento) do solo;

- Melhoria da coesão das partículas do solo entre si;
- Aumento da resistência à abrasão pelo vento e pela chuva.

3.6 O solo como material de construção na história

O solo como material construtivo vem sendo usado ao longo de toda a história da humanidade, desde dos tempos remotos. As primeiras construções que usaram terra crua como material de construção foram registradas a cerca de 10 mil anos atrás e possivelmente na região do Oriente Médio (MOREIRA, 2009).

Na história antiga da humanidade diversos povos usaram a terra crua como material construtivo, podendo destacar os Egípcios com a construção das pirâmides do Egito que ainda hoje mantem sua estrutura original, os povos da antiga Mesopotâmia e os Fenícios. Já na Ásia pode-se ressaltar a grande muralha da China que usou blocos de terra comprimida e que ainda se mantem edificada desafiando o tempo (SANTIAGO, 2001).

O uso desse material e dessa técnica não se restringe apenas ou somente ao oriente, no ocidente diversos povos e civilizações fizeram uso desse material, como a Roma antiga, os povos da América Latina e Central. (MOREIRA, 2009). As civilizações pré-colombianas embora fizessem uso de rochas em muitas das suas edificações, também utilizaram a terra crua como material construtivo. Já as civilizações da América que não se caracterizavam como pré-colombianas, como os índios brasileiros, faziam uso dessa técnica quase que 100%, já que esse era o material mais abundante na região juntamente com a madeira, diferentemente das civilizações pré-colombianas que se concentrava em regiões montanhosas com fácil acesso a rochas (SANTIAGO, 2001).

No Brasil há registros do uso de terra crua deste o período colonial, principalmente em regiões onde não haviam muitas pedras, pode-se destacar as muralhas da cidade de Salvador e também a casa forte construída por Caramuru em 1540 que ainda hoje permanece conservada, sendo a primeira edificação mais duradoura já registrada no Brasil (SANTIAGO, 2001).

Santiago (2001) ainda afirma que esse material foi usado em outras regiões do Brasil nesse mesmo período de tempo, como em São Paulo, Minas Gerais e Cuiabá. Já no interior do Ceará, pode-se ver o uso dessa técnica ainda hoje em moradias feitas de pau-a-pique e taipa.

3.7 Solo-Cimento como material de construção

Como já foi destacado, o uso da terra crua na construção civil estar presente em toda a história da humanidade, porém ao longo do tempo o homem foi desenvolvendo técnicas de melhoramento do uso de terra como material de construção dando a esse material um desempenho e qualidade melhor, uma dessas técnicas é uso de cimento na composição do solo, dando origem a nomenclatura de Solo-Cimento (ANITECO, 2017).

A ANITECO (2017) ainda afirma que os primeiros usos dessa técnica de estabilização de solo no Brasil foram em construções de rodovias em projetos pequenos e experimentais em 1941. Com o passar do tempo e com os bons resultados de durabilidade das rodovias que usaram o solo-cimento em suas bases e sub-bases fez com que essa técnica fosse bastante utilizada no Brasil. Foi registrado que o Brasil tem a segunda maior área pavimentada com o uso desse material, superando os Estados Unidos da América (EUA) que até o momento era considerado o segundo país com maior utilização de solo-cimento em rodovias.

3.8 Tijolo modular de solo-cimento

A aplicação de solo-cimento em tijolos tem crescido muito nos últimos anos por ser um material alternativo e, principalmente, em habitações populares pelo seu baixo custo de produção pois com o surgimento das prensas manuais (figura 2A) e hidráulicas (figura 2B.) para a moldagem dos tijolos, fez com que a sua fabricação pudesse ser cada vez mais mecanizada e industrial acarretando em uma produção em larga escala (REZENDE; GUILHERME; ALMEIDA, 2013).

Este material apresenta inúmeras vantagens técnicas e ecológicas que faz dele uma boa alternativa quando comparado com o tijolo convencional de cerâmica, das quais pode-se destacar os seguintes benefícios:

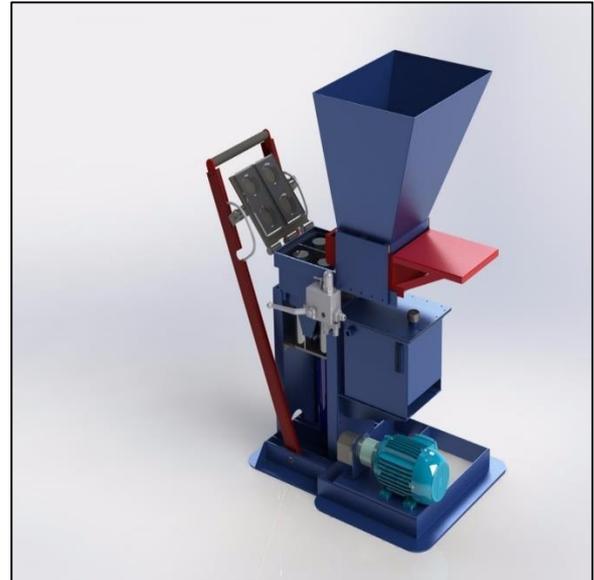
- Não polui o meio ambiente;
- Obra mais limpa e mais rápida;
- Maior economia;
- Maior resistência e segurança;
- Isolamento termoacústico;
- Facilidade na instalação elétrica e hidráulica.

Figura 2 - Prensa para fabricação de tijolos de solo-cimento.

A. Prensa manual.



B. Prensa hidráulica.



Fonte: Sahara, (2018).

Atualmente no mercado existem uma grande variedade de tipos de presas que podem produzir diversos tipos de tijolos apenas mudando a forma de moldagem. Existe prensas que chegam a produzir até 11 tipos de tijolos diferentes, porém os tijolos mais comumente utilizados e disponibilizados no mercado são os tijolos de dois furos (figura 3A), os meio tijolos (figura 3B) e os tijolos canaleta (figura 3C). Esses três tipos de tijolos apresentam dimensões variadas no mercado, isso se dá pela a versatilidade da presa usada. (TIJOLO ECO, 2018a).

Figura 3 - Tipos de tijolos de solo-cimento mais utilizados no mercado nacional.

A. Tijolo de dois furos.



B. Meio tijolo.



C. Tijolo canaleta.



Fonte: Tijolo Eco, (2018a).

Esse tipo de tijolo por ser modular obriga que a planta da casa também seja modular, ou seja todas as medidas dos cômodos devem ser múltiplos do tamanho do módulo, que é o meio tijolo, o que evita o quebra-quebra de material para emendas, pois o tijolo de solo-cimento funciona como um “lego” (TIJOLO ECO, 2018b).

Os seus dois furos além de servirem como exaustores, tem a função de canais por onde a tubulação elétrica e hidráulica irá passar, o que caracteriza como uma vantagem pois evita quebrar a parede para passar a tubulação que vai receber essas instalações da residência. Além dessas duas vantagens, os furos ainda apresentam vantagens estruturais, onde os mesmos podem ser preenchidos com concreto e ferro para a obtenção de pilares e vigas, conforme apresentado na Figura 4 (TIJOLO ECO, 2018b).

Figura 4 - Estrutura da residência.



Fonte: Tijolo Eco (2018b).

Como o tijolo de solo-cimento não tem nenhum selo de controle de produção, então a ABNT criou duas normas, a NBR: 10833/2012 e a NBR: 8491/1984. São normas gerais que regem e padronizam a fabricação desse material construtivo. Pelo fato do tijolo de solo-cimento não ter um selo de qualidade, deve-se ter bastante cuidado na produção do tijolo de solo-cimento para que após a aplicação não apareçam patologias no material, daí a importância do controle técnico da fabricação.

A norma fixa as condições exigíveis na produção de tijolos de solo-cimento em prensas hidráulicas e manuais, como por exemplo, tipo de matérias, procedimento de dosagem, mistura de solo-cimento, moldagem, cura, teste de resistência e teste de absorção de água a fim de garantir uma boa qualidade final ao material e um bom desempenho na aplicação do mesmo (REZENDE; GUILHERME; ALMEIDA, 2013). Na Tabela 4, estão apresentadas as características ideais do solo que pode ser usado na fabricação de tijolos de solo-cimento segundo a NBR: 10833/2012.

Tabela 4 - Características de solo segundo a NBR 10833/2012.

% que passa na peneira 4,8 mm (n°4)	100%
%que passa na peneira 0,075 mm (n° 200)	10% a 50%
Limite de liquidez	≤ 45%
Índice de plasticidade	≤ 18%

Fonte: ABNT, (2012).

Rezende, Guilherme e Almeida (2013) ainda acrescentam que a falta de conhecimento dos processos e dos materiais que compõem o tijolo de solo-cimento pode causar inúmeras manifestações patológicas como por exemplo:

- Variação volumétrica por reações da água com aditivos, retração e aparecimento de fissuras;
- Degradação do material devido à presença de sais solúveis em água, de matéria orgânica, de materiais expansivos ou partículas friáveis;
- Propriedades heterogêneas na série produzida devido à descontinuidade das características da matéria-prima.

Portanto, fica claro a importância do uso de técnicas laboratoriais antes da produção de tijolos de solo-cimento para garantir maior qualidade e eficiência do material.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será abordado e detalhado a área de estudo e todo o programa experimental, como a escolha, extração e caracterização do solo, dosagem de estabilizante, moldagem dos tijolos, processo de cura, método de estocagem e transporte dos tijolos, bem como os materiais usados nos mesmos.

4.1 Área de estudo

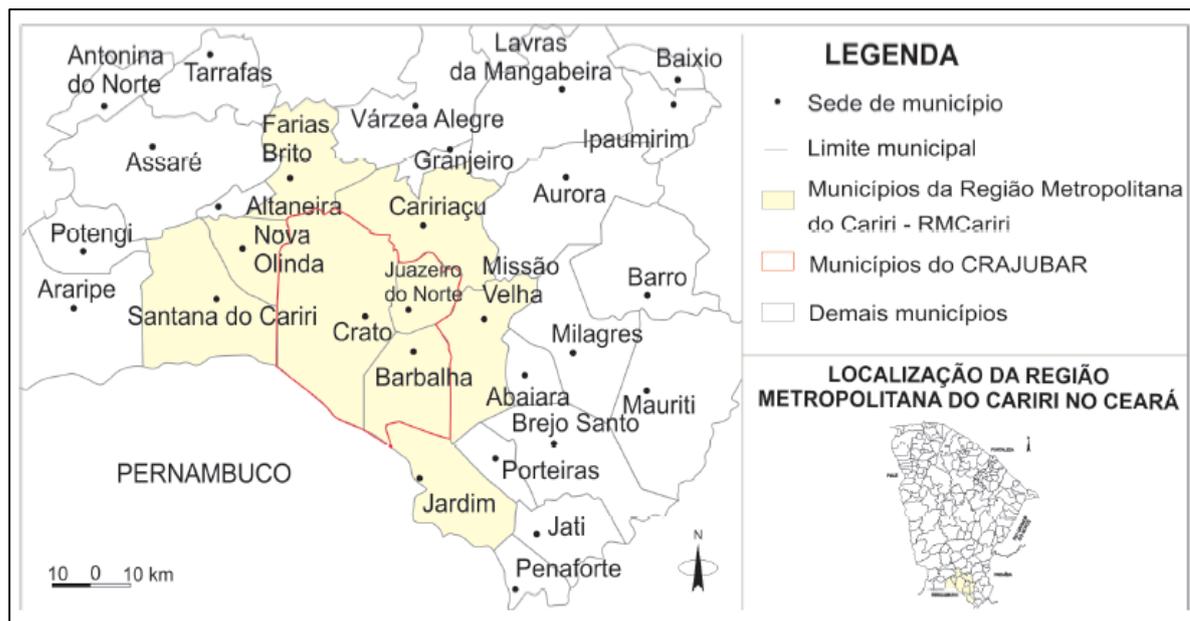
Para o desenvolvimento do trabalho foram definidas duas áreas de estudo, a primeira foi a Região Metropolitana do Cariri cearense (RMC), mais precisamente no triângulo CRAJUBAR pelo fato de que todo o desenvolvimento prático do trabalho foi feito na cidade de Juazeiro do Norte.

A segunda área de estudo foi a cidade de Cajazeiras na Paraíba. A escolha desse município foi por ser uma cidade relativamente próxima da RMC, porém Cajazeiras apresenta características climáticas diferentes da RMC e encontra-se em outro estado brasileiro, sendo uma boa opção para a análise granulométrica de solos de regiões diferentes.

4.1.1 Região Metropolitana do Cariri (RMC)

A área de estudo no Ceará foi delimitada nas três principais cidades da (RMC) que incluem, Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha que são comumente conhecidas como triângulo CRAJUBAR (figura 5). A RMC está localizada na região sul do estado do Ceará e faz divisa com Pernambuco, tendo uma localização favorável, pois se encontra equidistante das principais capitais do Nordeste brasileiro, fato que contribui diretamente para o desenvolvimento e economia da região (MASCARENHAS, 2016).

Figura 5 - Localização do CRAJUBAR na Região Metropolitana do Cariri.



Fonte: QUEIROZ, (2014).

Em 29 de junho de 2009 foi sancionada a Lei Complementar Estadual nº 78 que formalizou a criação da Região Metropolitana do Cariri (BRASIL, 2009). A região é formada pelas principais cidades: Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, além das cidades satélites: Nova Olinda, Santana do Cariri, Jardim, Missão Velha, Caririçu, Farias Brito e tem uma área territorial de 5.490,085 km² (IBGE, 2017a). A Figura 6, apresenta a localização da RMC no estado do Ceará.

A RMC, oferece um grande potencial natural, pois está localizado na região mais úmida do estado do Ceará, apresenta uma biodiversidade extensa devido estar localizada no sopé da Chapada do Araripe que abriga a Floresta Nacional do Araripe, uma área de proteção ambiental, além de estar localizado em um dos maiores aquíferos do Brasil (MASCARENHAS, 2016).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017a), o Triângulo CRAJUBAR tem uma população de 460.798 habitantes cerca de 5,10% da população do estado do Ceará e em relação a RMC apresenta cerca de 76,56% da população. A Tabela 5 abaixo apresenta informações completas da população da RMC.

Figura 6 - Localização da RMC no estado do Ceará.



Fonte: IPECE, (2007).

Tabela 5 - População da RMC.

Municípios	População (Habitanetes)	Relação ao Estado (%)
Barbalha	59.811	0,66%
Caririaçu	26.892	0,29%
Crato	130.604	1,44%
Farias Brito	18.720	0,20%
Jardim	27.076	0,30%
Juazeiro do Norte	270.383	2,99%
Missão Velha	35.409	0,39%
Nova Olinda	15.433	0,17%
Santana do Cariri	17.489	0,19%
Total Geral	601.817	6,67%
Ceará	9.020.460	-

Fonte: IBGE, (2017).

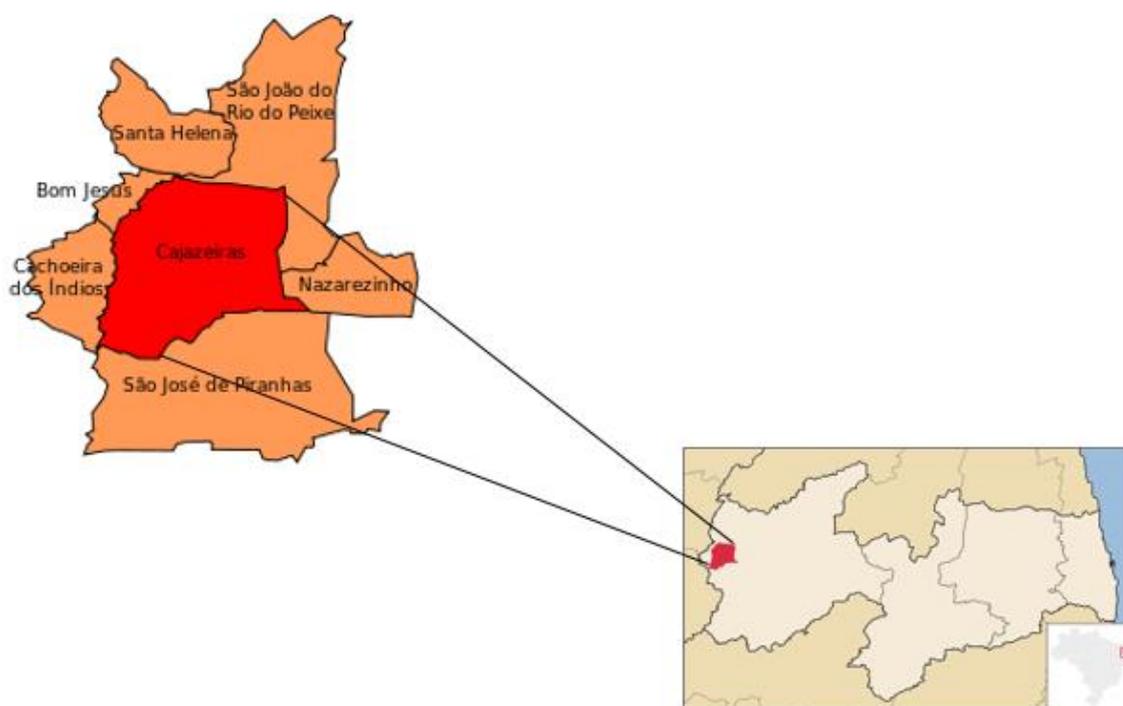
A economia do Triângulo CRAJUBAR gira em torno do comércio religioso, da indústria calçadista da qual faz do Cariri o maior polo calçadista do Nordeste e por

suas diversas Universidades que dão suporte para as outras cidades vizinhas. O Triângulo CRAJUBAR contribuiu com R\$ 37.778,27 no PIB do Ceará no ano de 2015, o que representa cerca de 0,25%. (IBGE, 2015a).

4.1.2 Município de Cajazeiras, Paraíba

A área de estudo na Paraíba foi o município de Cajazeiras que está localizado na extremidade oeste do estado e tem uma área territorial de 56.469,74 km² (IBGE, 2017b), faz divisa com as cidades de Bom Jesus, Cachoeira dos Índios, São José de Piranhas, Nazarezinho, São João do Rio do Peixe e Santa Helena conforme apresentado na Figura 7. Situa-se a 468 km da capital João Pessoa, possui um clima semiárido, quente e seco com um elevado índice de evaporação.

Figura 7 - Localização de Cajazeiras no estado da Paraíba.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

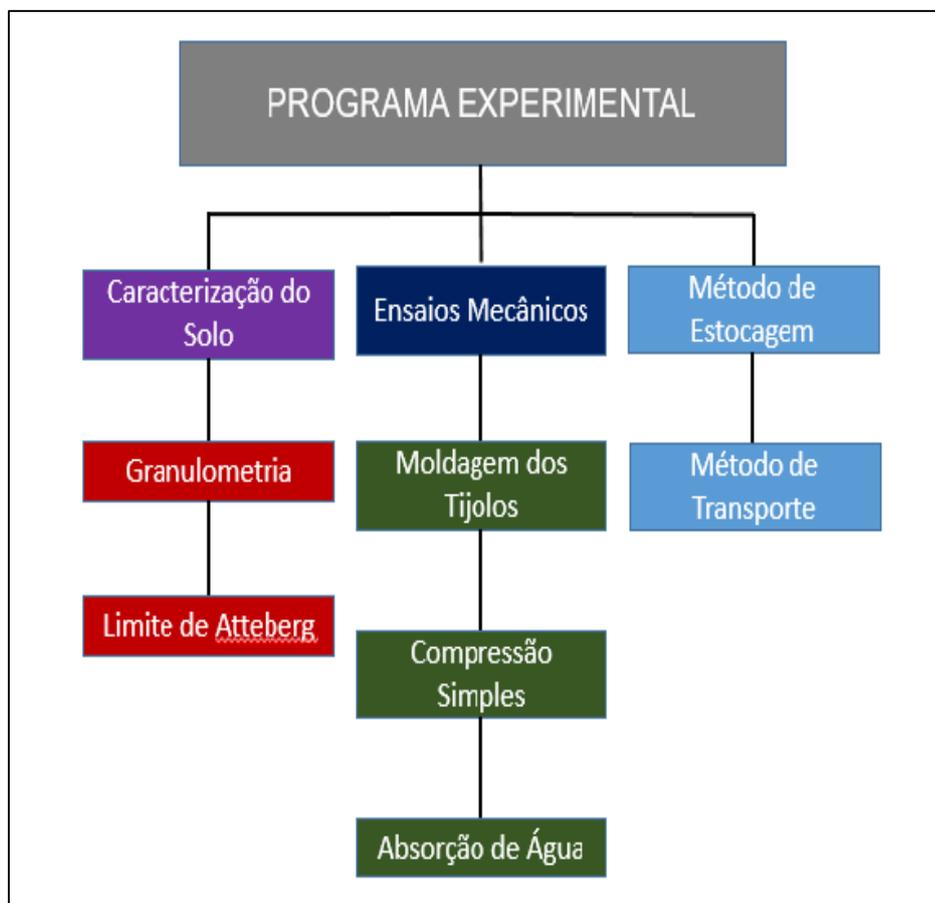
De acordo com o IBGE (2017b), o município possui uma população de 62.187 habitantes o que compreende 1,54% da população do estado da Paraíba. A economia da cidade gira em torno do setor agrícola na produção de banana, goiaba, manga e cana de açúcar, Cajazeiras possui um distrito industrial que conta com 13 empreendimentos no setor alimentício, construção civil e têxtil. Segundo o IBGE

(2015b) Cajazeiras contribuiu com R\$ 15.508,42 no PIB da Paraíba no ano de 2015, o que representa cerca de 0,04%.

4.2 Programa Experimental

Para conseguir chegar ao objetivo deste trabalho, foi realizado um programa experimental, ilustrado no fluxograma (figura 8) dividido em ensaios de solo e ensaios mecânicos com o tijolo de solo-cimento, tomando como base a NBR: 10833/2012 e a NBR: 8491/1989.

Figura 8 - Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

4.3 Coleta do Solo

A estratégia de coleta do solo da RMC tomou como base a localização de jazidas já existentes no triângulo CRAJUBAR, pois facilitaria a coleta do material em grande quantidade, servindo como parâmetro avaliativo da própria jazida para o uso do material no tijolo de solo-cimento.

Foram coletadas três amostras de solo, uma amostra de solo por município do CRAJUBAR. Os solos usados foram provenientes de três jazidas localizada na Vila São Bento na cidade de Crato-CE, no bairro São Geraldo na cidade de Juazeiro do Norte-CE e na cidade de Barbalha-CE no bairro Bela Vista.

Além das amostras de solo da RMC, foi coletado também uma amostra de solo da cidade de Cajazeiras na Paraíba com o propósito de comparar com as amostras de solo da RMC. A amostra de solo da cidade de Cajazeiras na Paraíba foi obtida nas casas de construção presente no comércio da cidade e a seleção do solo foi a partir do contato visual e pela textura. Com isso foi criada uma tabela de nomenclaturas para cada amostra coletada para a pesquisa (tabela 6).

Tabela 6 - Nomenclatura das amostras de solo.

Municípios	Nomenclaturas
Barbalha	Ba
Crato	Cr
Juazeiro do Norte	JN
Cajazeiras	Ca

Fonte: Próprio Autor, (2018).

A extração dos solos da RMC foi realizada de forma manual com auxílio de uma pá. Foram eliminadas as primeiras camadas de solo onde se encontra uma grande quantidade de matéria orgânica. É possível observar o aspecto visual de cada solo coletado na Figura 9.

Figura 9 - Aspecto visual dos solos coletados.

A. Solo do Crato (Cr)



B. Solo de Juazeiro do Norte (JN)



C. Solo de Barbalha (Ba)



Fonte: Próprio Autor, (2018).

4.4 Estabilizante

Como estabilizante foi utilizado o Cimento CP II Z 32 RS. A escolha desse tipo de cimento foi por apresentar um bom desempenho em estruturas, na qual é bastante utilizado em composição de concreto. É um cimento mais impermeável o que garante uma boa durabilidade e ainda é resistente a sulfatos que são substâncias encontradas em solos, água subterrânea, tubulação de esgoto, etc. (CIMENTO APODI, 2017).

A água utilizada no desenvolvimento deste trabalho em suas diversas etapas, foi proveniente da Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

4.5 Caracterização dos solos

Após feita a coleta dos solos, foram realizados os ensaios de caracterização: granulometria por peneiramento, limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), onde pode ser melhor destacada na Tabela 7. Foi realizado esses ensaios para cada amostra coletada.

Tabela 7 - Lista de ensaios de caracterização de solo segundo a ABNT.

Ensaio	Normas
Granulometria por Peneiramento	ABNT NBR - 7181/1984
Limite de Liquidez	ABNT NBR - 6459/1984
Limite de Plasticidade	ABNT NBR - 7180/1984

Fonte: Próprio Autor, (2018).

Antes de iniciar os ensaios de caracterização, foi feito o preparo das amostras obedecendo as descrições presentes na NBR: 6457/1986. Foi utilizado 1.200g de cada amostra em seu estado natural após a extração, levado para estufa onde as amostras passaram por uma secagem previa de 24 horas. Após a secagem as amostras de solo foram destorroadas com o auxílio de um almofariz de mão. O resultado do destorroamento pode ser melhor observado na Figura 10. A partir dessa etapa foram separadas as quantidades das amostras para cada ensaio, sendo 1.000g de cada solo para os ensaios de granulometria por peneiramento e 200g de cada solo para os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade.

Para o ensaio de granulometria por peneiramento, a amostra de 1.000g foi totalmente lavada na peneira de malha 200, onde todo o material fino foi separado. Após a lavagem da amostra, o material foi retirado da peneira e levado para a estufa para a secagem prévia. No ensaio de granulometria foi utilizado apenas a amostra após a lavagem, desprezando do ensaio o silte e a argila e considerando a quantidade dos dois como finos.

O ensaio de caracterização de solo é uma etapa muito importante para o desenvolvimento da pesquisa, pois através desse método pode-se conhecer melhor as características físicas dos solos e julgar se eles apresentam os parâmetros estabelecido pela ABNT para a produção de tijolos de solo-cimento. Os ensaios de caracterização de solo foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Tecnologia da Construção Civil da Universidade Regional do Cariri (URCA), localizada na cidade de Juazeiro do Norte-CE.

Figura 10 - Amostra de solos destorroadas.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

4.6 Granulometria por peneiramento dos solos da RMC

O ensaio de granulometria por peneiramento consiste na separação dos materiais contidos no solo e caracterizando-o em relação aos seus agregados. Portanto o principal objetivo nesse ensaio é definir a porcentagem de cada material presente na composição dos solos estudados nessa pesquisa. Para a realização do ensaio foi usado um jogo de peneiras de acordo com NBR: 5734/1989 (figura 11) da qual a amostra de solo previamente preparada foi passada por completa.

É importante que na execução desse ensaio, os grãos possam passar livremente por cada peneira, não havendo excesso de força. Para o melhor desempenho do peneiramento pode-se usar um agitador mecânico ou pode-se peneirar peneira por peneira até que garanta que o material passante, tenha passado por completo, ficando retida apenas as partículas maiores.

Figura 11 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

O material retido em cada peneira foi pesado e feito o percentual, após isso o material foi classificado. Essa classificação do solo pode ser feita de acordo com a escala granulométrica da AASHTO ou da ABNT. Para essa pesquisa a classificação usada foi de acordo com a ABNT através da NBR: 6502/1995.

4.7 Granulometria por peneiramento do solo de Cajazeiras

Devido ao curto período de tempo para o desenvolvimento de todo o trabalho bem como os demais testes, o solo da cidade de Cajazeiras usado na pesquisa foi passado apenas nas peneiras limitantes que separa pedregulhos, areias e silte+argila já que a norma da ABNT que especifica o tipo de solo a ser usado na produção de tijolos de solo-cimento não distingue valores de areia grossa, média e fina, ela apenas considera esses agregados como um todo e também para agilizar o teste para que pudesse ser realizado dentro do prazo estabelecido, portanto foram usadas apenas as peneiras: N° 4, N° 10, N° 40 e N° 200.

4.8 Limite de Liquidez (LL)

Segundo Caputo (1996), o ensaio de granulometria não é suficiente para caracterizar um solo, pois a caracterização também depende do teor de umidade do solo. Quando o solo está com determinada umidade ele apresenta características diferentes de quando está totalmente seco.

Através do ensaio de limite de liquidez é possível analisar o comportamento do solo quando está com uma certa umidade, observando a capacidade do solo de fluir com um menor teor de umidade, podendo ser de 15 a 20 cm³ de água. Os equipamentos usados neste ensaio foram: aparelho de Casagrande, espátula, cinzel e um recipiente de porcelana, conforme apresentando na Figura 12.

Figura 12 - Aparelho de Casagrande.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

Para determinar o limite de liquidez (LL) precisa-se saber a umidade relativa do solo após o ensaio. Caputo (1996) define a equação 1 para a obtenção do resultado da umidade relativa do solo.

$$h = \frac{Ph - Pa}{Pa} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

h = teor de umidade em porcentagem;

Ph = Peso do material úmido;

Pa = Peso do material seco.

Com a determinação do teor de umidade das amostras, pode-se definir o limite de liquidez (LL) para cada solo estudado na pesquisa. Para a determinação do limite de liquidez (LL) em um só ponto de umidade aplica-se a equação 2 (CAPUTO, 1996).

$$LL = \frac{h}{1,419 - 0,3 \log n} \quad (2)$$

Em que:

LL = Limite de Liquidez em um só ponto de umidade;

h = teor de umidade em porcentagem;

n = número de golpes.

O ensaio seguiu os procedimentos descritos pelas NBR: 6459/1984 que define o método de execução do ensaio e a NBR: 6457/1986 que define o preparo da amostra para a execução do ensaio.

4.9 Limite de Plasticidade (LP)

Após ter sido feito o ensaio de limite de liquidez (LL), foi realizado o ensaio de limite de plasticidade (LP) com a mesma amostra utilizada no ensaio anterior. A realização do ensaio seguiu as orientações da NBR: 7180/1984.

O ensaio de limite de plasticidade (LP) consiste a obtenção da umidade em que o solo sai do seu estado plástico e passa a ser rígido, perdendo a sua capacidade de ser moldado, essa mudança de estado é feita através da perda de umidade do solo. É comum que alguns solos apresentem características de Não Plástico (NP), esses apresentam dificuldades de serem moldados quando úmidos em seu estado plástico.

Para a pesquisa foi realizado o ensaio nas quatro amostras de solo feito para quatro pontos de umidades diferentes e feito a média ponderada dos valores de umidade. A determinação do limite de plasticidade foi obtida através do teor de umidade de cada ponto definida pela equação 3 (CAPUTO, 1996).

$$LP = \frac{Mw}{Pa} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

LP = Limite de Plasticidade em porcentagem;

Mw = Massa da água;

Pa = Peso do material seco.

Após a obtenção dos valores do limite de liquidez (LL) e do limite de plasticidade (LP), calculou-se o Índice de Plasticidade (IP), que é um resultado da diferença do valor do limite de liquidez (LL) com o limite de plasticidade (LP) em porcentagem.

4.10 Moldagem dos tijolos solo-cimento

Os solos escolhidos para a produção dos tijolos, foram os solos de Juazeiro de Norte por apresentarem as melhores características técnicas dentre os três solos selecionados na RMC e o solo de Cajazeiras para uma análise comparativa de desempenho entre os dois tipos de solos de regiões diferentes. Todo o processo de moldagem dos tijolos e preparo do material, foi realizada no Laboratório de Matérias de Construção do Instituto Federal do Ceará (IFCE), localizado na cidade de Juazeiro do Norte-CE.

Antes de iniciar a moldagem dos tijolos, o solo foi previamente preparado, sendo totalmente destorroado e peneirado em uma peneira de malha 0,60 mm. Após o destorroamento e peneiramento, foi adicionado o cimento e feito a homogeneização da mistura de forma manual com o auxílio de uma enxada até que a mistura apresentasse uma coloração e umidade uniforme.

A umidade usada no preparo da amostra para a moldagem dos tijolos produzidos com o solo de Juazeiro do Norte, foi a umidade em que o solo se encontrava, devido ter apresentado um ponto de umidade bom naturalmente, com isso foi apenas adicionado o cimento e feita a mistura. Já para os tijolos feitos com o solo de Cajazeiras o controle da umidade foi feito através de dosagens de água, onde o solo ainda seco foi misturado com o cimento e depois molhado cuidadosamente para que não passasse do ponto ideal de umidade.

A verificação e controle ideal da umidade das misturas de solo-cimento foram feitas de forma manual através do tato com a mistura e do aspecto visual, na qual pega-se uma quantidade de material e pressiona-se com a mão, ao segurar o material o mesmo não deve liberar água, após verificar se houve liberação de água, parte-se o material moldado na mão em duas partes, ao partir ao meio o mesmo não pode se fraturar em mais de duas partes.

Após todo o material ter sido uniformemente homogeneizado no ponto ideal de umidade, o material foi repassado na peneira de malha 0,60 mm a fim de garantir a homogeneização perfeita entre o solo, cimento e a água para a produção do tijolo, conforme apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Material homogeneizado pronto para a moldagem dos tijolos de solo-cimento.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

A moldagem dos tijolos foi realizada através de uma prensa manual (figura 14A), foram produzidos 30 tijolos com uma mistura binária de solo e cimento conforme apresenta a Tabela 8. O solo de Cajazeiras usado na moldagem dos tijolos passou por uma correção granulométrica na qual foi adicionado 10% de areia lavada em volume na sua composição.

As escolhas das dosagens para a moldagem dos tijolos foram de acordo com a característica físicas dos solos utilizados.

Figura 14 – Processo de moldagem dos tijolos de solo-cimento.

A. Prensa Manual.



B. Moldagem dos tijolos de solo-cimento.



C. Tijolo logo após a moldagem.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

Tabela 8 - Características dos tijolos produzidos.

Produção de tijolos de solo-cimento		
Nº de Tijolos	Solo	Dosagem
12	Juazeiro do Norte	1:8
6	Cajazeiras (corrigido)	1:10+10% de areia
12	Juazeiro do Norte	1:12

Fonte: Próprio Autor, (2018).

4.11 Cura dos tijolos solo-cimento

O método utilizado para a cura dos tijolos foi através da cura úmida e da cura seca. Na cura úmida os tijolos foram molhados diariamente ao longo de 7 dias e cobertos com uma lona plástica para que pudessem manter a umidade do tijolo e na cura seca, onde os tijolos ficam secando naturalmente ao ar livre em um local coberto. Foi iniciado o período de cura após as 24 horas da moldagem dos tijolos.

Todos os tijolos passaram por um período de cura úmida de 7 dias, o período que mudou foi o período de cura seca sendo de 7 dias e 21 dias. Para melhor apresentar foi feito a Tabela 9 na qual está apresentado o período de cura para cada tijolo e na Figura 15 estão os tijolos em seu processo de cura.

Tabela 9 - Período de cura dos tijolos de solo-cimento.

Tijolos de solo-cimento 1:8 – Solo de Juazeiro do Norte.	
Nº de Amostras	12
Período total de cura	14 dias e 28 dias
Tijolos de solo-cimento 1:10 – Solo de Cajazeiras (corrigido com 10% de areia).	
Nº de Amostras	6
Período total de cura	28 dias
Tijolos de solo-cimento 1:12 – Solo de Juazeiro do Norte.	
Nº de Amostras	12
Período total de cura	14 dias e 28 dias

Fonte: Próprio Autor, (2018).

Figura 15 - Tijolos moldados iniciando o seu processo de cura após 24 horas da moldagem.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

4.12 Avaliação de resistência à compressão

No teste de compressão simples foram usados os tijolos com as seguintes idades de cura e dosagens: 1:8 de solo-cimento com 14 e 28 dias de cura, 1:12 de solo-cimento com 14 e 28 dias de cura e 1:10 de solo-cimento e 10% de areia lavada com 28 dias de cura. Devido à pouca disponibilidade de solo de Cajazeiras para o desenvolvimento da pesquisa, só foi possível moldar seis tijolos com esse material, então foi decidido que os tijolos moldados com o solo de Cajazeiras só seriam rompidos com a idade máxima de 28 dias estabelecida pela NBR: 8491/1984.

O preparo dos corpos de prova seguiu as especificações da NBR: 8492/1984. Foram utilizados no teste, três tijolos de cada composição, os quais foram cerrados ao meio e colado a suas metades sobrepostas com uma fina camada de 2mm de pasta de cimento. Após ser feito a colagem das duas partes do tijolo foi cerrado a parte de encaixe do furo central do tijolo superior, a fim de gerar uma superfície plana para que a carga que foi lançada pela prensa no tijolo pudesse ser distribuída uniformemente por todo o corpo de prova, conforme apresentada na Figura 16. Os valores mínimos admitidos pela NBR: 8491/1984 são 1,7 MPa por tijolo rompido individualmente e 2 Mpa para a média dos tijolos rompidos.

Antes da execução do teste de compressão simples, foi medido todo o corpo de prova e o seu furo central com o auxílio de um paquímetro. Na execução do teste foi utilizado uma prensa hidráulica WDW-300E da Time Group.

Figura 16 - Corpos de prova para o teste de compressão simples.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

A realização desse teste seguiu as orientações descritas na NBR 8492/1984 e foi executada no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Cariri (UFCA), localizado na cidade de Juazeiro do Norte-CE.

4.13 Avaliação da absorção

Nesse ensaio é determinado quanto de água em percentual o tijolo de solo-cimento absorve em um período de 24 horas. A importância desse ensaio justifica-se por conta de que o tijolo de solo-cimento não utiliza a queima em seu processo de cura, fato que o torna um material poroso.

No teste de absorção de água foram usados os tijolos com as seguintes idades de cura e dosagens: 1:8 de solo-cimento com 14 e 28 dias de cura, 1:12 de solo-cimento com 14 e 28 dias de cura e 1:10 de solo-cimento e 10% de areia lavada com 28 dias de cura. Devido à pouca disponibilidade de solo de Cajazeiras para o desenvolvimento da pesquisa, só foi possível moldar seis tijolos com esse material,

portanto só foi realizado testes de absorção de água nos tijolos com 28 dias de cura que é a idade máxima estabelecida pela NBR: 8491/1984.

$$A = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

A = Absorção de água em porcentagem;

Mh = Massa do tijolo úmido;

Ms = Massa do tijolo seco.

Para a determinação do Ms, os tijolos passaram por uma secagem prévia onde foram colocados em uma estufa com uma temperatura de 110°C por 24 horas (figura 17A.), após a secagem prévia, os tijolos foram pesados e determinado o Ms de cada tijolo (figura 17B.), em seguida foram colocados em um tanque com água por 24 horas (figura 17C.), após a imersão os tijolos foram novamente pesados para determinar o Mh de cada tijolo (figura 17D.). O ensaio seguiu o método apresentado pela NBR: 8492/1984.

Figura 17 – Teste de absorção de água.

A. Tijolos na estufa para secagem prévia.



B. Tijolo sendo pesado após a secagem prévia.



C. Tijolos no tanque de imersão.



D. Tijolo sendo pesado após 24 horas de imersão.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

4.14 Estocagem

Esta etapa é de suma importância pois é nela que se garante a qualidade do material após a fabricação, evitando desperdícios de tijolos por quebras e mantendo todas as características técnicas e aparência do tijolo de solo-cimento (ECCO DUMUM, 2018).

Por conta da difusão da técnica de produção dos tijolos de solo-cimento, diversos fabricantes pelo mundo desenvolveram técnicas para melhorar a estocagem e transporte dos tijolos, sendo assim, não existe um padrão ou uma melhor técnica para tal etapa, o que de fato vai determinar o método usado é a linha de produção, quantidade de funcionários, espaço de fabricação, etc. (ECO MAQUINAS, 2018). Portanto, tudo depende de como o material está sendo produzido e qual a estrutura do fabricante.

No entanto, existem técnicas de estocagem que são mais utilizadas hoje em modo geral, que são: empilhamento em paletes (figura 18A) e empilhamento no chão (figura 18B) (ECCO DOMUM, 2018).

De acordo com a Ecco Domum (2018) o empilhamento por paletes são os mais utilizados pelas fabricantes no processo de cura e na estocagem, isso se dá pelo fato de que nesse método os tijolos não têm contato com o piso e o carregamento e a movimentação dos tijolos no palete é mais fácil e rápida. Já o empilhamento no chão é um método utilizado por fabricantes que não utilizam paletes, para esse método é importante que o piso esteja bem nivelado e concretado para não deformar o tijolo no período de cura e que haja o mínimo de interferências externas e internas no local onde o material estará estocado.

Figura 18 - Métodos de estocagem de tijolos de solo-cimento.

A. Estocagem em paletes.



B. Estocagem no chão.



Fonte: Eco Maquinas, (2018).

Nos dois casos os tijolos podem ser empilhados de forma intertravada, unilateral, sobreposta ou alternadas, tendo bastante atenção e cuidado para não

sobrecarregar as pilhas de tijolos, já que nos primeiros dias os tijolos ainda estão frágeis e podem quebrar por conta do peso. Para que se evite tais problemas, é indicado que as pilhas de tijolos que ainda estão no processo de cura tenham em torno de 300 tijolos, já para as pilhas que serão vendidas podem chegar até 500 tijolos (ECO MAQUINAS, 2018).

4.15 Transporte

O transporte do material até a obra é um fato que deve ser destacado. É de suma importância a qualidade nessa etapa, pois uma boa acomodação do material no veículo é essencial para que não haja um grande número de unidades quebradas no transporte da carga ao canteiro de obra (ECCO DOMUM, 2018).

Assim como o método de estocagem, existem diversas formas de fazer o transporte dos tijolos, no entanto pode-se destacar os três métodos mais usados pelos fabricantes, que são: o transporte de carga com empilhadeira (figura 19A) que é o método mais usado, o mais eficiente e o mais rápido, pois proporciona muita segurança e agilidade na distribuição da carga. Além desse método, o transporte da carga pode ser feito por caminhão munck (figura 19B), é uma outra opção para fabricantes que desejam otimizar o tempo, embora essa técnica não seja tão rápida como a empilhadeira, mas apresenta facilidades na carga e descarga no material pois o mesmo caminhão munck faz essas duas funções. Ainda existe o método com carga manual (figura 19C), é uma opção para pequenos fabricantes que ainda não fazem uso de equipamentos para a realização dessas tarefas. O uso dessa técnica requer muita agilidade e experiência por parte dos colaboradores, pois precisam empilhar de forma ordenada, sem deixar os tijolos em falso (ECCO DOMUM, 2018). As três maneiras de transporte podem ser melhor visualizadas na Figura 19.

Figura 19 - Métodos de transporte de tijolos de solo-cimento.

A. Carregamento por empilhadeira.



B. Carregamento por munck.



D. Carregamento manual.



Fonte: Eco Máquinas, (2018).

É importante que independentemente do método de transporte utilizado, os tijolos devem estar devidamente estáveis no veículo, evitando o tombamento das pilhas uma sobre as outras, para isso é bastante comum o uso de fitas plásticas ao redor dos tijolos empilhados, pois o uso de fitas plástica evita que os tijolos se reagrupem de forma errada e o material não danifica a estrutura visual do tijolo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados e discussões dos testes de laboratório realizados com as quatro amostras de solos e com os tijolos e corpos de prova que foram utilizados na pesquisa. Primeiramente serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização de solo, em seguida os testes de resistência dos tijolos e por último os resultados dos testes de absorção de água.

5.1 Granulometria por peneiramento dos solos da RMC

A Tabela 10 apresenta os resultados do ensaio de granulometria por peneiramento das três amostras de solo estudadas na pesquisa e para melhor entendimento foi elaborado a curva granulométrica das três amostras de solo que está apresentada na Figura 20.

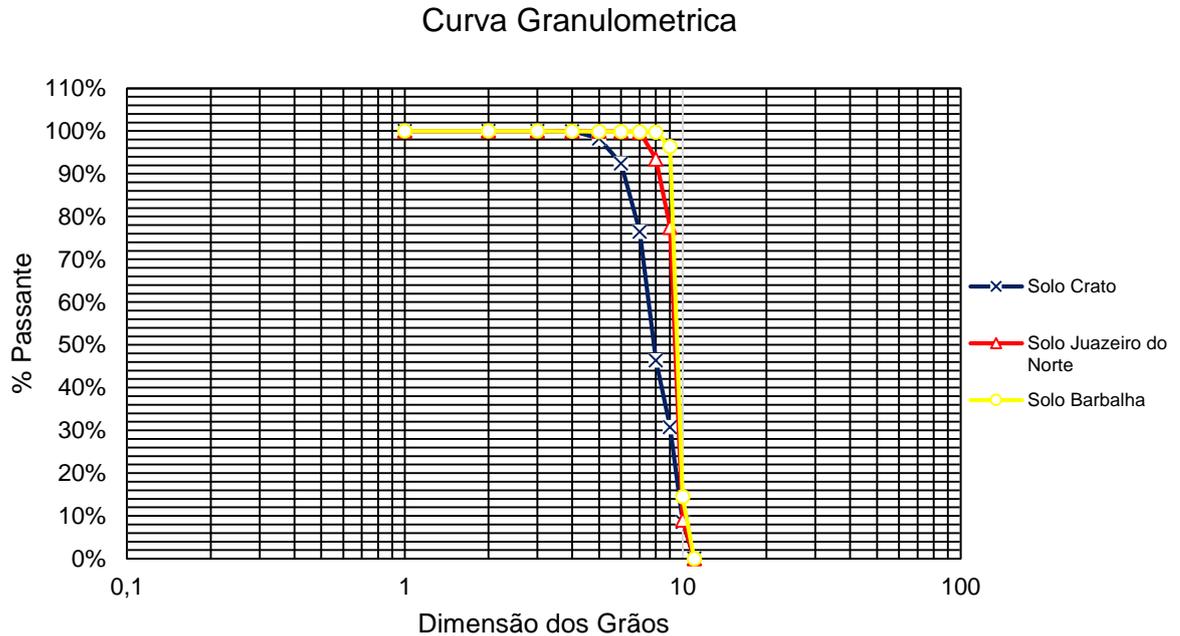
Embora os três solos tenham entrado dentro dos parâmetros granulométricos exigidos pela ABNT, o solo de Juazeiro do Norte apresentou um maior equilíbrio entre areias e finos, que é um dos fatos que justifica o uso desse solo na moldagem dos tijolos de solo-cimento.

Tabela 10 - Granulometria das três amostras de solo da RMC.

Granulometria (% que passa)			
Amostra	Cr	JN	Ba
Peneiras	% que passa	% que passa	% que passa
1"	100%	100%	100%
2"	100%	100%	100%
3/4"	100%	100%	100%
3/8"	99,97%	99,97%	99,93%
Nº 4	98,26%	99,96%	99,91%
Nº 10	92,40%	99,91%	99,88%
Nº 16	76,44%	99,77%	99,85%
Nº 30	46,38%	93,49%	99,73%
Nº 40	30,77%	77,50%	96,36%
Nº 100	8,62%	9,03%	14,48%
Nº 200	30,00%	44,77%	25,5%
Fundo	0,05%	0,026%	0,041%

Fonte: Próprio autor, (2018).

Figura 20 - Curva granulométrica das três amostras de solo estudadas.



Através da Tabela 10, pode-se observar que os três solos apresentam características finas o que é uma boa propriedade para a produção dos tijolos de solo-cimento. Além desse fato é importante destacar que as três amostras de solos se enquadram dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR: 10833/2012, onde pode ser melhor visualizado os percentuais de cada material presente nas três amostras de solo na Tabela 11.

Tabela 11 - Percentual de agregados presente no solo.

Percentual retido em cada peneira limitante						
Amostra	Cr.	Total	JN.	Total	Br.	Total
Pedregulho (G)	0,00 %	5,35%	0,00%	0,054%	0,00%	0,179%
Pedregulho (M)	1,20%		0,019%		0,019%	
Pedregulho (F)	4,15%		0,035%		0,016%	
Areia (G)	32,58%	65,39%	3,84%	59,78%	1,20%	76,68%
Areia (M)	26,74%		50,55%		64,53%	
Areia (F)	6,07%		5,39%		10,95%	
Silte+Argila	30,00%	30,00%	44,77%	44,77%	25,46%	25,46%

Fonte: Próprio Autor, (2018).

5.2 Granulometria por peneiramento do solo de Cajazeiras

A Tabela 12 apresenta o resultado da granulometria do solo de Cajazeiras (solo natural), com esses percentuais de areia e silte+argila o solo não se enquadra dentro das características exigida pela NBR: 10833/2012, com isso foi feita uma correção granulométrica no solo, adicionando 10% de areia lavada em volume na sua composição e refeito todo o teste de granulometria, o resultado da correção granulométrica está apresentado na Tabela 12.

Após o solo ter passado por uma correção granulométrica com adição de 10% de areia, o solo não conseguiu chegar dentro da faixa granulométrica estabelecida pela norma, na qual exige uma porcentagem de 50 a 80% de areia e de 20 a 50% de silte+argila em sua composição. Porém houve uma melhoria significativa para a os percentuais de areia e silte+argila com a adição de apenas 10% de areia, fazendo com que o solo se aproximasse dos limites estabelecido pela NBR: 10833/2012.

Tabela 12 - Granulometria do solo de Cajazeiras.

Granulometria (% que passa)		
Amostra	Solo Natural	Solo Corrigido
Peneiras	% que passa	% que passa
Nº 4	100 %	100%
Nº 10	94,54%	94,30%
Nº 40	79,03%	77,00%
Nº 200	62,48%	56,80%
Pedregulhos	0,00%	0,00%
Areias	37,52%	43,20%
Silte+Argila	62,48%	56,80%

Fonte: Próprio Autor, (2018).

5.3 Limite de consistência: LL, LP e IP

A Tabela 13 apresenta os resultados dos ensaios de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade das quatro amostras de solo estudada nessa pesquisa.

Tabela 13 - Resultado de LL, LP e IP dos solos estudados.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Cr	Não Líquidos (LP)	Não Plástico (NP)	-
JN	23,06%	16,86%	6,20%
Ba	Não Líquidos (LP)	Não Plástico (NP)	-
Ca (Corrigido)	33,76%	24,00%	9,76%

Fonte: Próprio Autor, (2018).

Pode-se observar na Tabela 13, que das quatro amostras de solo avaliadas, duas não entraram nos parâmetros exigido pela NBR: 10833/2012, pois apresentaram resultados não plásticos (NP) e não líquidos (NL).

Os valores de 25% para LL e 6% para IP, são convencionalmente usados para classificar solos de boa qualidade, o solo de Juazeiro do Norte além de se enquadrar dentro das exigências da NBR: 10833/2012, também se aproximou desses valores de classificação, fato este que concretiza a justificativa do uso do solo de Juazeiro do Norte para a moldagem dos tijolos.

Embora o solo de Cajazeiras não tenha se enquadrado dentro das especificações granulométricas exigidas pela ABNT, o mesmo não ocorreu para os resultados dos limites de consistência o solo corrigido apresentou bons resultados para o limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade ficando dentro dos parâmetros exigidos pela norma.

Ainda que os valores dos limites de consistência do solo de Juazeiro do Norte e o solo corrigido de Cajazeiras tenha apresentado uma grande diferença entre eles, nesse ensaio ambos apresentaram características positivas de acordo com a ABNT, ao contrário do solo de Crato e de Barbalha.

Essa diferença entre os limites de consistência é justificada pela granulometria de cada solo, pois o solo de Juazeiro do Norte apresenta uma característica mais arenosa do que o solo corrigido de Cajazeiras que tem característica argilosa. Solos arenosos absorvem água com mais facilidade do que solos argilosos, ao adicionar água em um solo arenoso facilmente as partículas se separam e com isso fluem com maior facilidade sobre uma superfície, já solos argilosos ao serem molhados ficam pastosos, necessitando de uma quantidade maior de água para que possam fluir sobre uma superfície, além de que solos com IP muito elevado apresentam baixa resistência à compressão e abrasão.

5.4 Resistência à compressão simples

Na Tabela 14 estão apresentados os valores individuais e as médias dos resultados de resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento para as misturas de 1:8, 1:10 e 1:12 com a idade de 14 e 28 dias.

Tabela 14 - Resultados do ensaio de compressão simples.

Resistencia à Compressão Simples (Mpa)				
Tijolo de solo-cimento 1:8 – Solo de Juazeiro do Norte				
Nº de Amostras	1	2	3	Média
Resistência – 14 dias	1,15	1,16	1,26	1,19
Resistência – 28 dias	1,11	1,35	1,41	1,29
Tijolo de solo-cimento 1:10 – Solo de Cajazeiras (corrigido com 10% de areia)				
Nº de Amostras	1	2	3	Média
Resistência – 28 dias	4,34	4,47	4,19	4,33
Tijolos de solo-cimento 1:12 – Solo de Juazeiro do Norte				
Nº de Amostras	1	2	3	Média
Resistência – 14 dias	0,87	0,60	0,65	0,70
Resistência – 28 dias	0,91	0,69	0,80	0,80
Valor de resistência por corpo de prova estabelecido pela NBR: 8491/1984				1,7
Valor da média das resistências estabelecido pela NBR: 8491/1984				2,0

Fonte: Próprio Autor, (2018).

Embora o solo do Juazeiro tenha apresentasse características exigidas pela norma, os resultados de resistência dos tijolos foram bem abaixo do esperado, enquanto o solo de Cajazeira que apresentou uma faixa granulométrica fora do padrão da ABNT mesmo passando por correção granulométrica, mostrou resultados de resistência superiores aos exigido pela NBR: 8491/1984 chegando ao dobro dos valores normatizados, mostrando um contraste nos resultados.

A falta de controle de umidade na mistura do solo de Juazeiro do Norte acabou afetando diretamente a resistência do tijolo, embora o solo já apresentasse um ponto de umidade bom para a moldagem dos tijolos, a falta de água na mistura solo+cimento fez com que o cimento não reagisse de maneira correta com o solo causando uma fraca estabilização do solo.

A NBR: 8491/1984 fixa valores de resistência individuais de 1,7 Mpa e 2 Mpa para os valores da média. Vale ressaltar que esses valores fixados são para tijolos com cura de 7 a 28 dias, compreendendo que com essa resistência mínima durante esse período de tempo os tijolos já possam ser comercializados com segurança. Os tijolos produzidos com o solo de Juazeiro do Norte não atingiram essa resistência.

5.5 Absorção de água

A Tabela 15 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos de solo-cimento para as misturas de 1:8, 1:10 e 1:12, com a idade de 14 e 28 dias.

Tabela 15 - Resultados do ensaio de absorção de água.

Mistura	Absorção (%)		Média NBR: 8491/1984: 20%
	14 dias	28 dias	
Solo+Cimento (1:8)	19,7%	19,1%	
Solo corrigido (1:10)	-	18,9%	
Solo+Cimento (1:12)	22,2%	21,9%	

Fonte: Próprio Autor, (2018).

Os tijolos moldados com o solo de Juazeiro do Norte na dosagem de 1:8 e os tijolos moldados com o solo de Cajazeiras na dosagem de 1:10 mostraram um bom desempenho no teste de absorção de água, ficando dentro do limite de 20% estabelecido pela NBR: 8491/1984, ao contrário dos tijolos moldados na proporção de 1:12 com o solo de Juazeiro do Norte.

Tecnicamente tijolos que apresentam dosagens elevadas como 1:5, 1:8 e dosagens médias como 1:10, tendem a ser menos porosos, já tijolos com baixa dosagem de cimento como 1:12 e 1:15 tendem a ser mais porosos. Embora os tijolos moldados para pesquisa com a dosagem de 1:8 tenham cumprido as exigências estabelecidas pela norma, os seus valores se aproximaram muito do limite de 20%, já os tijolos moldados com dosagem de 1:10 ficaram mais próximo da realidade e apresentou uma porosidade menor.

Esse fato é justificado devido à falta de controle da umidade da mistura solo+cimento dos tijolos moldados com o solo de Juazeiro do Norte, isso fez com que os tijolos não fossem devidamente prensados e estabilizados pelo cimento corretamente, gerando vazios em seu interior, fazendo com que os tijolos ficassem mais porosos, ao contrário do que aconteceu com os tijolos moldados com o solo de Cajazeiras que passaram por um controle de umidade.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento desse trabalho possibilitou uma análise ampla do controle tecnológico do tijolo de solo-cimento a partir do estudo de cada processo empregado ao material construtivo desde a escolha do solo até o transporte dos tijolos para o canteiro de obra, além disso permitiu avaliar os impactos que cada processo tem na qualidade final do material construtivo.

Os solos de Crato e de Barbalha apresentaram bons resultados de granulometria, porém os resultados de consistência foram ruins, sendo caracterizados como NL e NP, assim não podendo ser utilizado na produção de tijolos de solo-cimento. Já o solo de Juazeiro do Norte mostrou ter uma potencialidade para a produção de tijolos de solo-cimento devido as suas características físicas como, granulometria e consistência, no entanto a falta do controle de umidade na mistura solo+cimento afetou diretamente a qualidade do tijolo, tornando ele em um material poroso e de baixa resistência. Já o solo de Cajazeiras apresentou uma baixa potencialidade para a produção de tijolos de solo-cimento devido a sua granulometria não atender as especificações da ABNT, no entanto os resultados com os tijolos produzidos com esse material foram superiores aos tijolos produzidos com o solo de Juazeiro do Norte.

Os tijolos moldados com o solo de Cajazeiras apresentaram um bom desempenho à compressão simples e a absorção de água mesmo com uma granulometria inferior ao exigido pela norma, o principal fator que contribuiu para o bom desempenho do material foi o controle da umidade da mistura solo+cimento, onde com a adição de água o cimento reagiu corretamente com o solo, gerando um material resistente, o que comprova a hipótese e evidencia o objetivo desse trabalho que através do controle de todos os processos é possível garantir um material de alta performance.

Solos com baixa quantidade de areia como o solo de Cajazeiras podem ser corrigidos granulometricamente com adição de areia em sua composição, pois os tijolos moldados com o solo corrigido apresentaram resistência de 4,33 Mpa, o dobro do valor estabelecido pela norma da ABNT, com uma dosagem de 1:10 de cimento e adição de 10% de areia, o que mostra ser uma opção economicamente viável.

O tijolo modular de solo-cimento mostra-se como uma boa alternativa para sanar ou diminuir os danos ambientais causados pelo setor da construção civil pois diferentemente do tijolo cerâmico convencionalmente usado, o tijolo de solo-cimento

não passa pelo cozimento em seu processo de cura, o que evita o desmatamento e a queima de biomassa que acaba liberando CO² na atmosfera, além disso o tijolo de solo-cimento evita o desperdício de material devido ser modular e diminui a geração de entulhos por facilitar a instalação de condutos em seus próprios furos. Portanto o tijolo de solo-cimento é uma boa opção de material alternativo pois além de ser um material de baixo impacto ambiental e economicamente viável, também é um material resistente.

Dado a importância desse tema, torna-se necessário outros estudos de localização de mais jazidas com potencialidade para a produção de tijolos na RMC, materiais e método de estabilização de solo, e estudo químico sobre a relação do fator água/solo/cimento.

Recomenda-se que sejam feitos novos testes com os tijolos utilizando o solo de Juazeiro do Norte com uma dosagem menor que 1:8 de solo-cimento e controlando a umidade da mistura solo+cimento, pois nesse caso a granulometria não influenciou em nada na resistência do tijolo de solo-cimento e sim o controle da umidade da mistura, destacando a importância dessa etapa no preparo da mistura e durante o tempo de moldagem dos tijolos de solo-cimento.

7 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 6457: **Amostra de solo – preparação para ensaio de compactação e ensaio de caracterização**, 1986.

_____. NBR – 7181: **Análise granulométrica**, 1984.

_____. NBR – 6459: **Determinação do limite de liquidez**, 1984.

_____. NBR – 7180: **Determinação do limite de plasticidade**, 1984.

_____. NBR – 10833: **Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica**. 2º Edição, 2012.

_____. NBR – 5734: **Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico**, 1989.

_____. NBR – 6502: **Rochas e solos**, 1995.

_____. NBR – 8492: **Tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência a compressão simples e absorção de água**, 1984.

_____. NBR – 8491: **Tijolo maciço de solo-cimento**, 1984.

ANITECO - Associação Nacional da Indústria do Tijolo Ecológico: **O Tijolo Ecológico**. 2017. Disponível em: <<http://www.aniteco.com/o-tijolo-ecologico/>> Acessado em: 18 Abril 2018 as 01:20:16.

BRASIL. Lei Complementar Estadual de n. 78, de 29 de Jun. de 2009. **Dispõe sobre a criação da Região Metropolitana do Cariri, cria o Conselho de Desenvolvimento e Integração e o Fundo de Desenvolvimento e Integração da Região Metropolitana do Cariri - FDMC, altera a composição de microrregiões do Estado do Ceará e dá outras providências**, Juazeiro do Norte 26 de Jun. de 2009. Poder Executivo.

CIMENTO APODI: **CP II Z 32 RS**. 2017. Disponível em: <<http://www.cimentoapodi.com.br/cp-ii-z-32-rs/>> Acessado em: 17 Mar. 2018 as 16:15:30.

CAPUTO, H, P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6º Edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1996.

Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis; Ministério do Meio Ambiente; PNUMA. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. Versão 1, 2014.

ECCO DOMUM: **Transporte e Armazenagem**. 2018. Disponível em: <<http://www.eccodomum.com.br/transporte-e-armazenagem-do-material-de-solo-cimento>> Acesso em: 24 Abril 2018, 02:05:28.

ECO MAQUINAS: **Tijolos ecológicos, como estocar**. 2018. Disponível em: <<https://ecomaquinas.com.br/index.php/bra/tijolo-ecologico-como-estocar>> Acesso em 24 Abril 2018, 02:11:53.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Classificação de solos**. 2018a. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos>> Acesso em: 18 Abril 2018 as 01:43:15.

_____. **Levantamento Exploratório – Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Recife: Embrapa Solos UEP Recife, 2018b. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pb>> Acessado em 16 Mai. 2018 as 15:20:11.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Dados Demográficos**. 2017a. Disponível: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: 05 Mar. 2018 as 12:27:15.

_____. **Dados Demográficos**. 2015a. Disponível: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: 05 Mar. 2018, 12:40:30.

_____. **Dados Demográficos**. 2015b. Disponível: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/cajazeiras/panorama>> Acesso em 16 Mai. 2018 as 15:32:17.

_____: **Dados Demográficos**. 2017b. Disponível: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/cajazeiras/panorama>> Acesso em: 05 Mar. 2018 as 12:27:15.

_____. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

IPECE. Instituto de Pesquisa Estatística Econômica do Ceará: **Ceará em mapas**. 2007. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>> Acesso em: 18 Abril 2018 as 01:57:36.

MASCARENHAS, I. M. N. **Caracterização Geotécnica dos solos da Região Metropolitana do Cariri/CE para uso em pavimentação**. Fortaleza: UFC 2016.

MOREIRA, A. M. **Materiais de Construção I Terra Crua**. Tomar: Escola Superior de Tecnologia de Tomar. 2009.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3º Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

QUEIROZ, I. S. **Região Metropolitana do Cariri Cearense, a MetrÓpole Fora do Eixo**. Fortaleza, Mercator, 2014.

TIJOLO ECO: **Conheça o Tijolo**. 2018a. Disponível em: <<http://www.tijolo.eco.br/tijolo-ecologico/conheca-o-tijolo-ecologico/>> Acesso em: 17 Abril 2018, 23:46:30.

TIJOLO ECO: **Manual de Projeto**. 2018b. Disponível em:
<<http://www.tijolo.eco.br/tijolo-ecologico/manual-de-projeto/>> Acesso em: 17 Abril 2018, 23:46:30.

REZENDE, D; GUILHERME, M; ALMEIDA, T. **Tijolo Solo-Cimento**. Ipatinga: Faculdade Potiguar de Itatinga, 2013.

SANTIAGO, C. C. **O solo Como Material de Construção**. 2^o. Edição. Salvador: EDUFBA, 2001.

SAHARA: **Máquinas para tijolos ecológicos solo cimento**, 2018. Disponível em:
<<http://www.sahara.com.br/produtos/maquinas-para-tijolos-solo-cimento.php>>
Acesso em 18 Abril 2018 as 01:29:10.

SBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: **Sistema Brasileiro de Classificação de solos (SBCS)**. 2018. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>> Acesso em: 25 Abril 2018 as 01:50:12.