

Production of Pressed Brick of Cement Soil Manufactured with Addition of Construction and Demolition Waste

Tânia Sandra da Silva Botelho¹, Edilson Marques Magalhaes²

¹Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia

²Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará

Abstract— In this work the scientific study of the technical feasibility of the use of the soil of the city of Manaus for the production of soil-cement brick with addition of Construction and Demolition Residues (RCD) is verified. The soil characterization classified it as being clayey. For this soil to be employed it is necessary to correct it. In this context, as presented in the literature review, it is observed that Manaus produces large amounts of RCD, therefore it was decided to use the waste, as possible material to be used in soil correction. As presented in results and discussions, it is verified that the compressive strength of the bricks with RCD present values higher than the minimum values foreseen in standard. With these results obtained in the CP's and the adoption of the ideal trace, it is verified that the use of the RCD adapts the negative characteristics of the soil, demonstrating the viability of the production of soil-cement brick with addition of RCD.

Keywords— Solo, RCD, Cement.

PRODUÇÃO DE TIJOLO PENSADO DE SOLO CIMENTO FABRICADO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Resumo: Neste trabalho verifica-se o estudo científico da viabilidade técnica da utilização do solo da cidade de Manaus para a produção de tijolo solo-cimento com adição de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). A caracterização realizada no solo classificou-o como sendo argiloso. Para que este solo seja empregado faz-se necessário a correção do mesmo. Neste contexto, conforme presente na revisão bibliográfica, observa-se que Manaus produz grandes quantidades de RCD, portanto optou-se pela utilização dos resíduos, como possível material a ser utilizado na correção do solo. Conforme presente em resultados e discussões, constata-se que a resistência à compressão dos tijolos com RCD apresentam valores maiores do que os valores mínimos previstos em norma. Com estes resultados obtidos nos

CP's e a adoção do traço ideal verifica-se que a utilização do RCD adapta as características negativas do solo, demonstrando a viabilidade da produção de tijolo de solo-cimento com adição de RCD.

Palavras-chave: Solo, RCD, Cimento.

I. INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade ambiental tem sido discutido desde a década de 1960, conforme relatado por LIMA (2013), com o Clube de Roma que debatia as questões ambientais, neste ínterim alguns estudiosos em várias partes do planeta esboçavam os primeiros comentários sobre questões que envolviam o tema. Em seu primeiro relatório o Clube de Roma (Limits to Growth de 1972) impactou a comunidade científica ao apresentar cenários bastante catastróficos sobre o futuro do planeta, se o padrão desenvolvimentista continuasse nos mesmos moldes vigentes da época que se iniciou as discussões.

SILVA *et al.* (2014) relata que uma das formas para diminuir esse problema e a reciclagem e a reutilização desses resíduos, que ao longo dos últimos anos tornou-se prática importante para a redução dos impactos ambientais ocasionados ao meio ambiente.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 307, afirma que cabe aos municípios a definição de uma política municipal para os resíduos da construção civil (RCD), sendo fundamental a reciclagem da fração mineral que representa 90% da massa desse resíduo.

BASTOS (2016) relata que no Brasil, assim como em muitos outros países, a fração mineral do RCD é reutilizada para aplicação como agregado para pavimentação e enchimento de aterros, no entanto, representa apenas cerca de 20% do mercado de produtos à base de cimento.

Como alternativa para o uso racional dos recursos naturais, a reutilização de RCD surge como alternativa cada vez mais viável para ser adicionado ao processo de fabricação de tijolo de solo-cimento, contribuindo para o

gerenciamento dos resíduos sólidos, sejam em escala municipal, estadual e federal (RIBEIRO, 2013).

RIBEIRO (2013) afirma ainda que o estudo da utilização de técnicas construtivas sustentáveis, como a utilização de tijolos de solo-cimento com uso de RCD, objeto deste estudo, fabricados com a intenção de preservação do meio ambiente e redução de impactos ambientais devem ser encarados como materiais do futuro a serem utilizados na construção de habitações e edificações de pequeno porte. Neste contexto, segundo MOTA (2014) a quantidade de resíduos da construção civil que são descartados em Manaus é bastante elevado, dados da Secretaria Municipal de Limpeza e Serviços Públicos - SEMULSP informam no período de maio a outubro de 2013 foram descartadas cerca de 10.905,865 toneladas sem a correta destinação final.

A cidade de Manaus, assim como o resto do país passaram por um crescimento econômico expressivo nos últimos anos, com um grave declínio em seguida, contudo as tratativas referentes aos resíduos da construção civil

não evoluíram de forma prática em nosso estado. Em face desta realidade, este trabalho pretende estudar a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) para a produção experimental de tijolos de solo cimento, de forma a apresentar alternativa de reciclagem dos materiais descartados dando uma nova empregabilidade, contribuindo positivamente para a mitigação de impactos ambientais causados ao meio ambiente, assim como para comprovação da viabilidade da utilização de materiais alternativos estimulando o conceito de logística reversa na construção civil.

II. METODOLOGIA

2.1 SOLO

O solo utilizado para o presente estudo foi escolhido aleatoriamente e coletado nos dias 04.11.2017 e 11.11.2017, em área próxima ao Campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, no Conjunto Nova República, bairro Japiim, conforme demonstrado na Figura 2.1 abaixo:



Figura 2.1 – Localização dos furos perfurados para coleta de amostras de solo em área próxima ao Campus da UFAM.

2.1.1 Sondagem a trado

Foram executados 05 furos no solo, sendo que 03 furos foram perfurados no dia 04.11.2017 (dia chuvoso) e os outros 02 furos foram perfurados no dia 11.11.2017 (dia seco). Os dois últimos furos foram executados devido a verificação de perda significativa de volume do solo coletado, ocorrida provavelmente pela saturação deste e posterior redução da umidade natural, proveniente da

forte influência da variação climática que ocorre sazonalmente na região, nos meses de novembro a janeiro de cada ano, conforme verificado na Figura acima.

A abertura dos furos foi executada com auxílio de 02 técnicos em pavimentação, obedecendo aos critérios preconizados na NBR 9603/88.

As Figuras 2.2 e 2.3 demonstram a execução da coleta de amostras de solo na área de estudo:



Figura 2.2 - Perfuração do solo com trado.



Figura 2.3 – Furo para coleta.

2.1.2 Ensaios de caracterização física do solo

a. Umidade higroscópica

Para obtenção da umidade higroscópica do solo deixou-se a amostra secar ao ar por um longo período. Entretanto, essa redução normalmente se dá até um certo limite. Ou seja, mesmo que se deixe a amostra secar por um longo período, sempre permanecerá uma umidade residual.

O teor de umidade higroscópica tende a ser maior à medida que o solo for mais argiloso, conforme preconizado pela NBR 6457/2016. Nos solos de granulação grossa (areias e pedregulhos) ela é praticamente desprezível. O procedimento de determinação e cálculo da umidade higroscópica é similar ao da umidade natural.

b. Ensaios de Consistência (Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Consistência)

Para definição do ensaio baseia-se na determinação do número de golpes necessários para fechar um sulco padrão, efetuado no solo colocado na concha. O ensaio foi executado diversas vezes, fazendo-se variar o teor de umidade da amostra.

O limite de liquidez corresponde a umidade que determina o fechamento do sulco com 25 golpes. A norma NBR 6459/2016 prescreve os diversos passos do ensaio de determinação do limite de liquidez. Em cada execução do ensaio, contou-se o número de golpes necessários para fechar o sulco. Adicionalmente, coleta-se em uma cápsula o solo das bordas que se uniram, para a determinação da umidade. A Figura 2.4 demonstram a preparação e execução do ensaio de LL.



Figura 2.4 – Preparação e execução do ensaio de LL.

Para o ensaio de limite de plasticidade moldou-se bastões de 3 mm de diâmetro, até que se quebrassem em pequenas peças, encontrando assim o menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente. Sendo o LL em %, obtido com auxílio da reta ajustada do gráfico a ser apresentado com os dados obtidos e o LP em % definido pela média de umidade desprezando valores diferidos de 5%.

c. Peso específico dos grãos

O peso específico real dos grãos (γ_g) consistiu na relação entre o peso e o volume de uma partícula individual de solo. Para a obtenção do peso específico real dos grãos, foi necessário conhecer o volume ocupado pelos grãos. No laboratório, isso tornou-se possível com base no princípio de que um corpo imerso em água desloca um certo volume de líquido. Esse volume foi obtido indiretamente através de uma relação com o peso da água deslocada. A execução do ensaio exige o uso de recipientes com volume conhecido (picnômetro).

A norma NBR 6508/1984 define o método para a obtenção do peso específico real dos grãos. Alternativamente, devido à maior simplicidade, recomenda-se também o procedimento do DNER – DPT M 93-64.

d. Análise granulométrica por peneiramento

O ensaio de granulometria foi utilizado para determinar a distribuição granulométrica do solo, ou seja, a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa total seca utilizada no ensaio.

Através dos resultados obtidos desse ensaio foi possível a construção da curva de distribuição granulométrica, que possui fundamental importância na caracterização geotécnica do solo.

A forma mais direta de obter o diâmetro dos grãos é passando-os através de uma série de peneiras, com aberturas conhecidas. Esse procedimento permite conhecer os diâmetros dos grãos superiores a 0,075 mm, que é a menor abertura de peneira disponível. Para os grãos inferiores a essa dimensão, utiliza-se o processo da sedimentação. Esse método baseia-se no princípio de que, dispersando-se as partículas de solo em água, a velocidade de sedimentação dos grãos aumenta com o diâmetro deles. (Lei de Stokes).

O método para análise granulométrica é prescrito pela NBR 7181/2016. A Figura 2.5 demonstra a separação de peneiras para realização de ensaio.



Figura 2.5– Separação de peneiras para realização do ensaio.

e. Ensaio de Compactação

Através do ensaio de compactação é possível obter a correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia. Com os resultados obtidos no ensaio de compactação são efetuados cálculos para a determinação do peso específico aparente seco (γ_d) e a determinação da curva de saturação.

A compactação do material para a confecção do corpo de prova seguiu a NBR 7182/2016, aplicando 26 golpes por camada, sendo 03 camadas, com um soquete de massa de 2,5kg caindo a 30,5cm, com energia de compactação normal.

Experimentalmente, é possível constatar que a adição de água a um solo seco facilita a sua compactação. Conclui-se que cada vez que se adiciona água a esse solo pouco úmido, a densidade final do material compactado aumenta.

A Figura 2.6 mostra a preparação do cilindro para a realização do Ensaio de Proctor.



Figura 2.6 – Preparo de corpo de prova para o ensaio de Compactação.

Para a determinação de umidade ótima ($W_{ótima}$) e densidade máxima aparente seca (γ_s) devem ser utilizadas amostras, conforme previsto na NBR 6457/2016.

f. Ensaio de Índice Suporte Califórnia (ISC)

Para a realização do Ensaio de ISC adotou-se os critérios estabelecidos na NBR 9895/2017, Norma DNIT 172/2016-ME e a NBR 7182/2016.

Foram moldados 03 (três) corpos de prova com energia de compactação normal, sendo 12 golpes para cada camada, totalizando 05 (cinco) camadas. Os corpos de prova foram imersos em tanque de água por 05 (cinco) dias, tendo sido realizadas 05 (cinco) leituras a cada 24 horas para medir a expansão do solo, conforme previsto na NBR 7182/2016.

Após o período de imersão em tanque os corpos de prova foram colocados ao ar livre para secagem por 15 (quinze) minutos, para preparação e início do ensaio de penetração, onde foram realizadas leituras no tempo máximo de 10 minutos, sendo que cada leitura considerada no extensômetro do anel foi função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado para o ensaio.

g. Classificação dos Solos (HRB e SUCS)

Para a classificação do solo em estudo adotou-se 02 (dois) métodos: o método de Classificação Rodoviário (AASHTO) e o método de Classificação Unificada (SUCS).

Segundo PINTO (2016), ambos os métodos de classificação se baseiam principalmente na granulometria

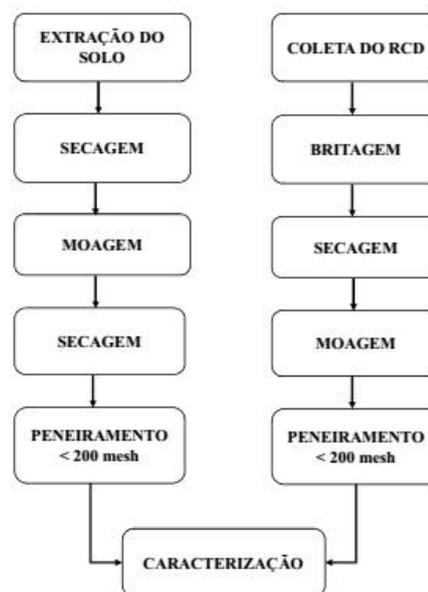
do solo e nos Limites de Atterberg, ou seja índices de consistência.

2.2. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

2.2.1 Corpo de provas (CP)

Os ensaios experimentais foram realizados na Usina de Materiais, localizada no laboratório da Faculdade de Engenharia Química – UFPA.

Na Figura 2.7 é observado um esquema simplificado das etapas iniciais, as quais os materiais foram submetidos.



Na Figura 2.8 podem ser observados os equipamentos utilizados na etapa de cominuição dos materiais.



Figura 2.8 – (A) britador de mandíbula, (B) moinho de bolas e (C) material em processo de fragmentação.

Após as etapas de cominuição, o solo e o RCD foram classificados pela operação de peneiramento nas peneiras da ABNT, conforme verificado na Figura 2.9.



Figura 2.9 – Operação de peneiramento.

A Figura 2.10 mostra o solo, RCD e o cimento após os processos de secagem, cominuição e peneiramento.

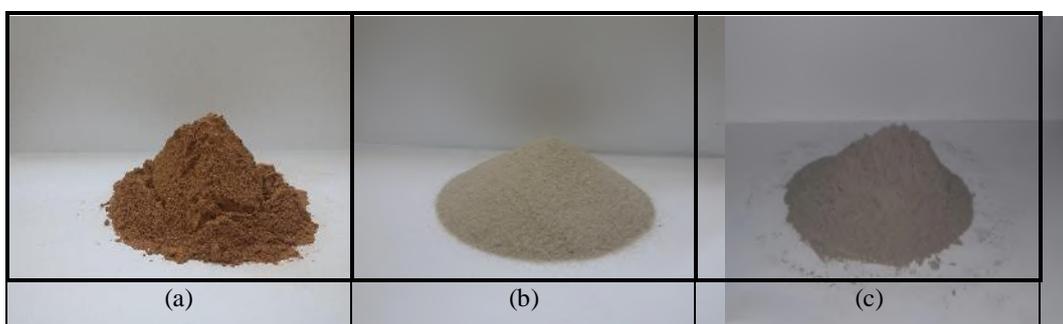


Figura 2.10 – RCD seco, moído e peneirado (a). Solo (b). Cimento (c).

Posteriormente às etapas iniciais os materiais (solo e RCD) foram submetidos as etapas descritas na Figura 2.10.

Como pode ser observado na Figura 2.10 os materiais sofreram um novo processo de peneiramento. Todos os tijolos solo-cimento foram produzidos com as granulometrias dos materiais abaixo da peneira de mesh 14, visando comparação com os trabalhos existentes na literatura. A Figura 2.11 que segue abaixo, demonstra o fluxograma das etapas finais após o peneiramento do solo e do RCD, ocorrendo as misturas para confecção dos corpos de prova.

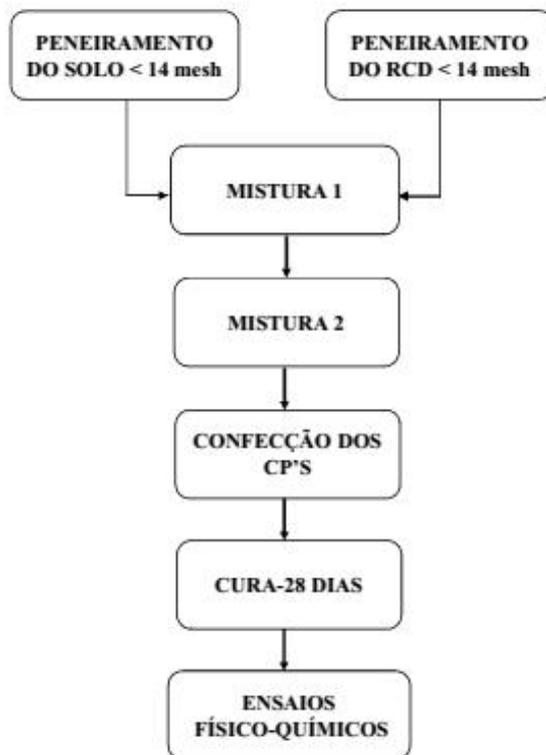


Figura 2.11 – Fluxograma das etapas finais de procedimento experimental.

Após a definição dos percentuais dos materiais a serem utilizados na elaboração dos traços, partiu-se para a confecção dos corpos-de-prova. Conforme demonstrado no fluxograma da Figura 2.11, antes da confecção dos CP'S, existem duas etapas, a mistura 01 e a mistura 02. A fase de mistura 01 consiste em combinar o solo e o cimento até que a massa formada obtenha uma coloração homogênea. Em seguida, é adicionado a essa massa de

coloração homogênea o RCD, misturando-o até obtermos a homogeneidade requerida (mistura 02).

Para a confecção dos corpos de prova, utilizou-se formas cilíndricas de policloreto de vinila (PVC) com dimensões de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro conforme recomendado pela Norma NBR 7215/1991.

Na Figura 2.12 pode ser observado os moldes dos corpos de prova cilíndricos.

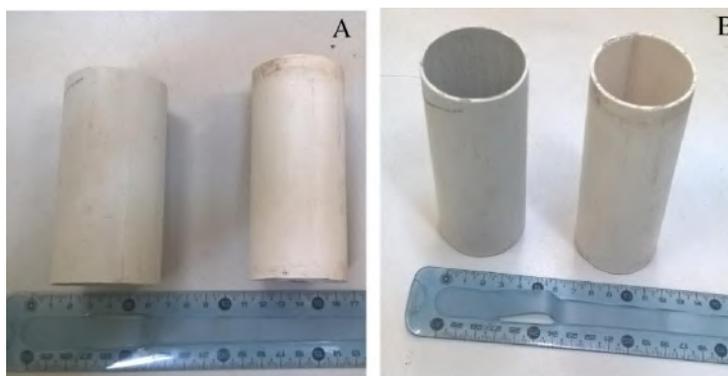


Figura 2.12 – Moldes dos CP'S cilíndricos (A) e (B) elaborados com PVC.

De acordo com a Tabela 3.1, foram elaborados 5 traços (Tr₀, Tr₁₀, Tr₂₀, Tr₃₀ e Tr₄₀). Para cada traço foram moldados 5 corpos-de-prova (CP's). A massa de cada CP elaborado e a massa da mistura total utilizada para a confecção dos 5 CP's, podem ser vistas nas Tabelas 2.1 e 2.2, respectivamente.

Tabela 2.1- Massa utilizada para elaboração dos CP's

Corpos-de-prova	Massa (g)
1 corpo-de-prova	250
5 corpos-de-prova	1.250

Tabela 2.2 - Massa da mistura total utilizada para a elaboração dos CP's.

	Solo (g)	RCD (g)	Cimento (g)	Massa total (g)	% Água
Tr ₀	1.125	0	125	1250	16
Tr ₁	1000	125	125	1250	16
Tr ₂	875	250	125	1250	16
Tr ₃	750	375	125	1250	16
Tr ₄	625	500	125	1250	16

A água utilizada foi dosada em torno de 16% da massa total da mistura de cada traço. Após a conformação dos CP's, os mesmos foram submetidos ao processo de cura em câmara úmida por um período de 28 dias. Após os 28 dias de cura os CP's foram desmoldados e submetidos aos testes de resistência a compressão.

Os ensaios de resistências à compressão dos CP's foram realizados de acordo com a NBR 7215/1997 e NBR 12253/2012, após 28 dias de cura, utilizando-se uma prensa modelo EMIC SSH300 do Laboratório de Materiais de Engenharia Civil (LEC) da Universidade

Federal do Pará, conforme demonstrado na Figura 2.13.



Figura 2.13 – Prensa modelo EMIC SSH300.

A resistência a compressão axial de cada CP é obtida dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal dos CP's. Neste estudo, foram obtidos os valores das resistências para 3 CP's confeccionados, obtendo-se um valor médio para a resistência a compressão axial.

2.2.3 Tijolos maciços produzidos com traço ideal adotado

Os tijolos foram produzidos com base no traço ideal obtido (50% solo + 40% RCD + 10% cimento) após a cura de 28 dias e rompimento dos corpos de prova. Foram produzidos tijolos de forma retangular de acordo com gabarito (espessura de 10cm) em uma prensa manual, controlando-se a energia de compactação e a quantidade de material colocada em cada amostra, conforme Figura 2.14 que segue abaixo:



Figura 2.14 – Tijolos maciços produzidos com traço

adotado.

Após a moldagem desses tijolos, estes foram levados para a cura de 28 dias em câmara úmida, assim como ocorreu com os corpos de prova.

Após a cura estes foram submetidos aos ensaios de resistência a compressão utilizando-se uma prensa modelo EMIC SSH300 do Laboratório de Materiais de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Federal do Pará, conforme Figura 3.14.

A resistência a compressão axial de cada tijolo foi obtida dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal, conforme previstos nas normas NBR 7215/1996, NBR 12253/2012 e NBR 8492/2012

2.2.4 Tratamento estatístico dos resultados obtidos

Para o tratamento dos valores obtidos para os corpos de prova e para os tijolos experimentais produzidos foram calculados o desvio padrão e o coeficiente de correlação do espaço amostral resultante da quantidade de resultados provenientes da prensagem após a cura de 28 dias.

2.3. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

O resíduo utilizado foi coletado nas dependência do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, o qual é proveniente dos ensaios de resistência aplicado em blocos de concretos que serão comercializados na região metropolitana de Belém.

2.4. CIMENTO PORTLAND CP II E-32

O cimento utilizado para a produção do tijolo solo-cimento foi o cimento Portland tipo CP II E-32.

2.5. ÁGUA

Neste trabalho foi utilizada água potável coletada normalmente da rede de distribuição de água do município de Belém do estado do Pará, fornecida pela Companhia de Águas de Belém.

III. RESULTADOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS

3.1.1 Umidade higroscópica

Para o ensaio de teor de umidade para cada cápsula de amostra de solo, foram obtidos os dados descritos na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Teor de Umidade higroscópica do solo em estudo.

Cápsula Nº	Umidade Higroscópica (W%)	
	18	44
Peso Cápsula Nº (g)	17,56	17,56
Cápsula e Solo Úmido (g)	79,83	79,83
Cápsula e Solo Seco (g)	74,98	74,98
Solo Seco (g)	57,42	57,42
Água (g)	4,77	4,85
Umidade Higroscópica (%)	8,30	8,45
Fator de Correção	0,9233	0,9221
Média de valores (W%) 8,375%		

3.1.2 Ensaios de Consistência

Após a realização do ensaio de Limite de Liquidez (LL) foram obtidos os dados apresentados na Tabela 3.2 a seguir:

Tabela 3.2 – Limite de Liquidez do solo em estudo.

Cápsula Nº	Limite de Liquidez (LL %)				
	1	2	3	4	5
Peso da cápsula solo úmido	18,22	16,17	17,40	17,21	17,91
Peso da cápsula solo seco	15,66	13,98	15,05	14,84	15,11
Peso da cápsula	7,92	8,49	9,25	9,17	9,26
Peso da Água	2,56	2,19	2,35	2,37	2,80
Peso do solo seco	7,74	5,49	5,80	5,67	5,85
Teor de Umidade	33,07	39,89	40,52	41,80	47,86
Nº de golpes	9	17	25	34	42

Neste contexto, o limite de liquidez do solo corresponde ao teor de umidade referente a 25 golpes, obtidos com base na reta ajustada, é igual a 40,52%, conforme a Figura 3.1 abaixo:

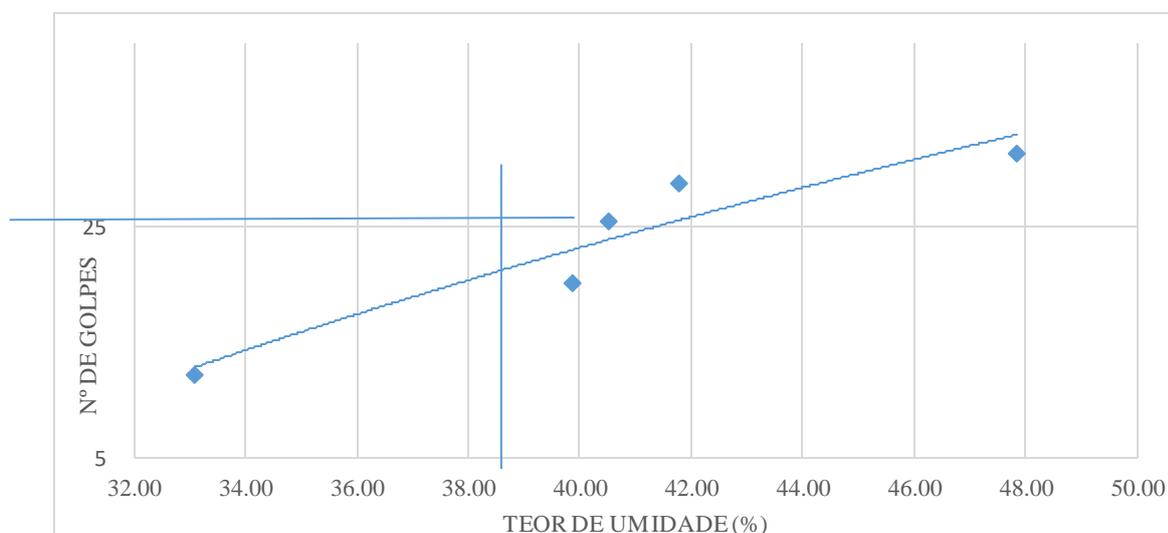


Figura 3.1 – Reta ajustada para determinação do Teor de Umidade.

Para a determinação do LP foram gerados os dados demonstrados na Tabela 3.3 que segue abaixo:

Tabela 3.3 – Limite de Plasticidade do solo em estudo.

Limite de Plasticidade (LP %)					
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso da cápsula solo úmido	14,53	14,92	17,43	16,32	15,95
Peso da cápsula solo seco	13,49	13,96	16,02	14,92	14,80
Peso da cápsula	8,34	9,21	9,19	8,31	9,28
Peso da Água	1,04	0,96	1,41	1,40	1,15
Peso do solo seco	5,15	4,75	6,83	6,61	5,52
Teor de Umidade	20,19	20,21	20,64	21,18	20,83

Sendo o LL = 40,52%, obtido com auxílio da reta ajustada do gráfico 4.1 e o LP = 20,19% definido pela média de umidade desprezando valores diferidos de 5%.

Obtendo-se os valores descritos na Tabela 3.4 a seguir:

Tabela 3.4 – Índices de Consistência (LL, LP e IP).

Limite de Liquidez (LL %)	40,52
Limite de Plasticidade (LP %)	20,19
Índice de Plasticidade (IP %)	20,33

3.1.3 Peso específico dos grãos

Com base na equação citada no capítulo anterior, utilizando os dados coletados em laboratório tem-se como resultados os valores descritos na Tabela 3.5:

Tabela 3.5 – Densidade real do solo em estudo.

Densidade Real ($\gamma_g = \text{g/cm}^3$)		
N° do Recipiente	20	9
Peso do Recipiente (a)	34,85	33,42
Peso do Recipiente + água (b)	87,14	87,14
Peso do Recipiente + amostra (c)	68,16	67,59
Peso do Recipiente + amostra + água (d)	107,48	107,93
Densidade	2,57	2,55
Média de valores γ_g	2,56	

3.1.4 Análise granulométrica por peneiramento

Os resultados dos ensaios de granulometria podem ser verificados nas Tabelas 3.6 e 3.7 que seguem abaixo:

Tabela 3.6 – Ensaio de análise granulométrica por peneiramento da amostra 01.

Amostra Total Seca		Umidade Higroscópica		Resumo Granulometria	
Amostra Total					
		Cápsula N°	44,00	Pedregulho (>4,8mm)	0,0%
Úmida (g)	104,08	Peso Cápsula N° (g)	17,56	Areia Grossa	
Retido n° 10 (g)	0,0	Cápsula e Solo Úmido (g)	79,83	4,8 - 2,0mm	0,0%
Passando N° 10					
Úmida (g)	104,1	Cápsula e Solo Seco (g)	74,98	Areia Média	
		Solo Seco			
Água (g)		(g)	57,42	2,0 - 0,42mm	4,6%
		Água			
	6,4	(g)	4,85	Areia Fina	
Passando N° 10	97,7	Umidade Higroscópica	8,45	0,42 - 0,074mm	3,0%

Seca (g)	(%)				
Amostra Total				Silte+Argila(<0,074mm)	92,4%
Seca (g)	97,7	Fator de Correção	0,9221	Total	100,0%

Tabela 3.7 – Ensaio de análise granulométrica por peneiramento da amostra 02.

Amostra Total Seca		Umidade Higroscópica		Resumo Granulometria	
Amostra Total		Cápsula N°	18,00	Pedregulho (>4,8mm)	0,0%
Úmida (g)	104,08	Peso Cápsula N° (g)	17,56	Areia Grossa	
Retido n° 10 (g)	0,0	Cápsula e Solo Úmido (g)	79,83	4,8 - 2,0mm	0,0%
Passando N° 10 Úmida (g)	104,1	Cápsula e Solo Seco (g)	74,98	Areia Média	
Água (g)		Solo Seco (g)	57,42	2,0 - 0,42mm	4,9%
	5,9	Água (g)	4,85	Areia Fina	
Passando N° 10 Seca (g)	98,1	Umidade Higroscópica (%)	8,45	0,42 - 0,074mm	2,7%
Amostra Total				Silte+Argila(<0,074mm)	92,4%
Seca (g)	98,1	Fator de Correção	0,9221	Total	100,0%

As Figuras 3.2 e 3.3 demonstram a curva granulométrica das duas amostras de solo.

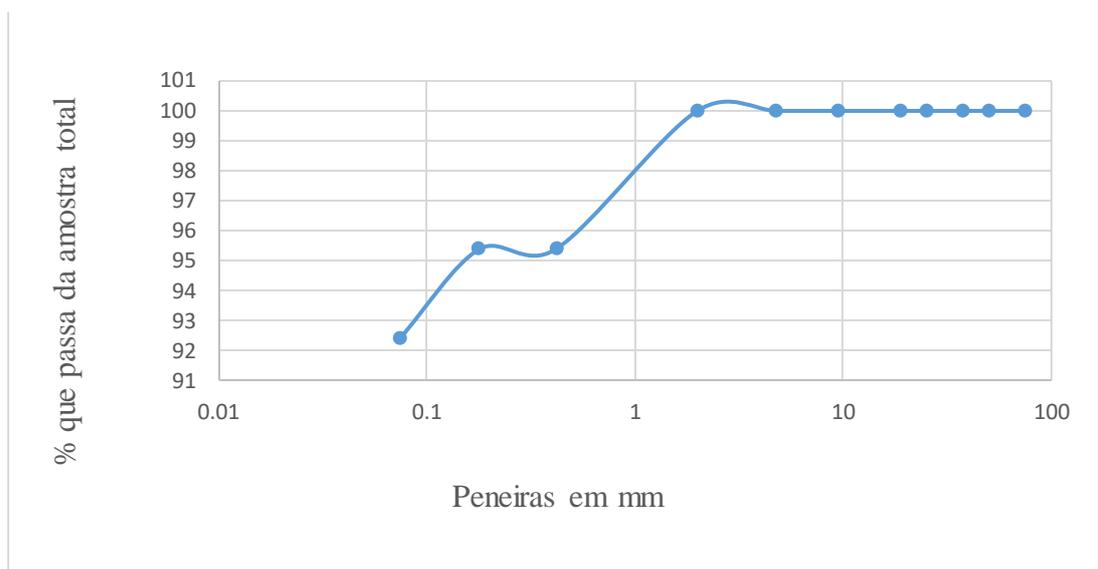


Figura 3.2 – Análise granulométrica da amostra 01.

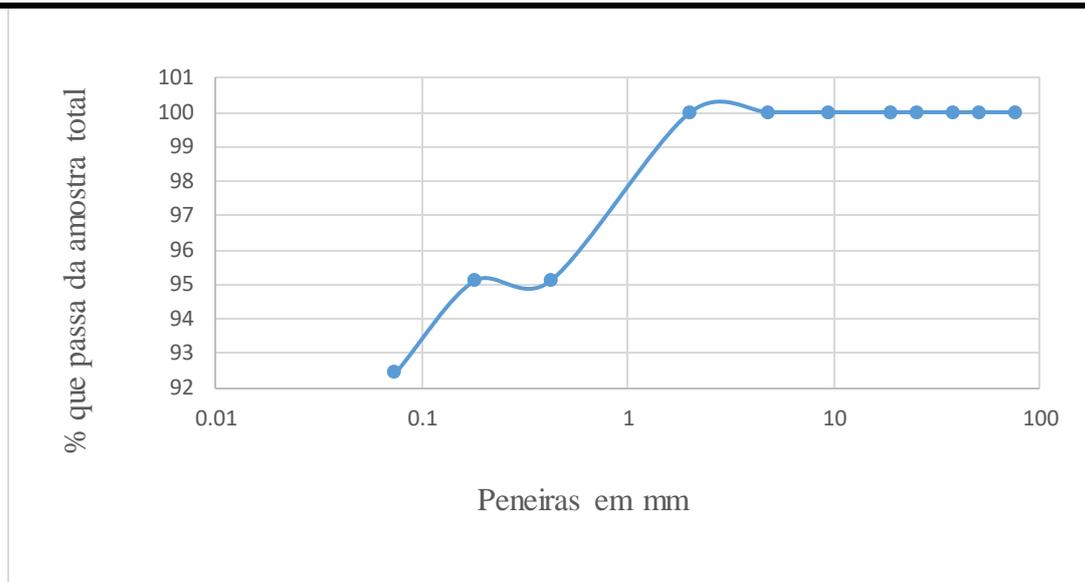


Figura 3.3 – Análise granulométrica da amostra 02.

3.1.5 Ensaio de Compactação

Para os valores de umidade ótima ($W_{ótima}$) e Densidade máxima aparente seca (γ_s), a Figura 3.4 demonstra o tratamento de dados do ensaio realizado.

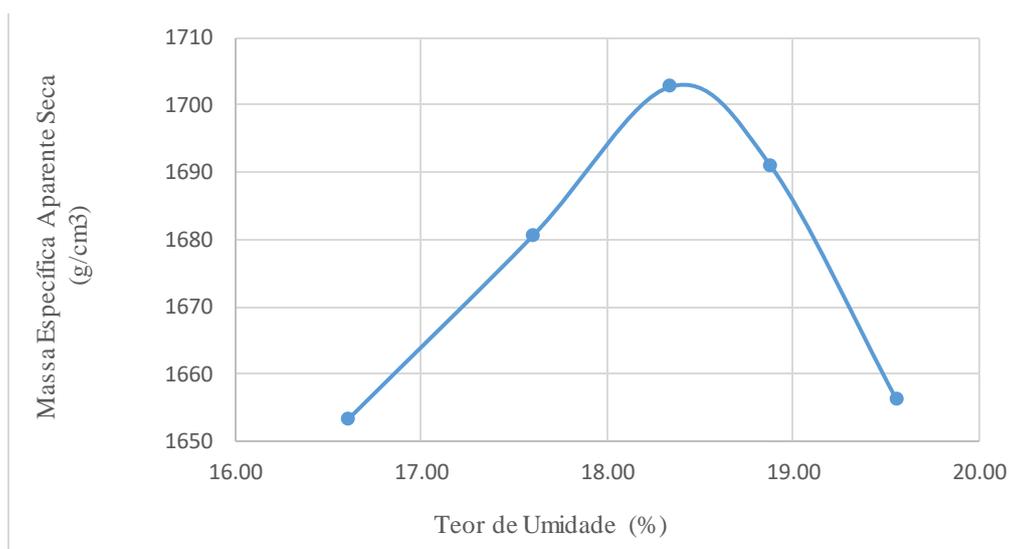


Figura 3.4 – Curva de compactação do solo analisado.

Neste contexto, obteve-se como resultado para o solo analisado os dados apresentados na Tabela 3.8:

Tabela 3.8 – Valores de umidade ótima ($W_{ótima}$) e Densidade máxima aparente seca (γ_s).

Densidade máxima aparente seca (γ_s)	1,703 (g/cm³)
Umidade Ótima ($W_{ótima}$)	18,04%

3.1.6 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC)

A NBR 9895/2017 e a Norma DNIT 172/2016-ME definem que os resultados do ensaio de ISC devem plotados em gráficos interligados e correspondentes conforme demonstrado na Figura 3.5 que segue abaixo:

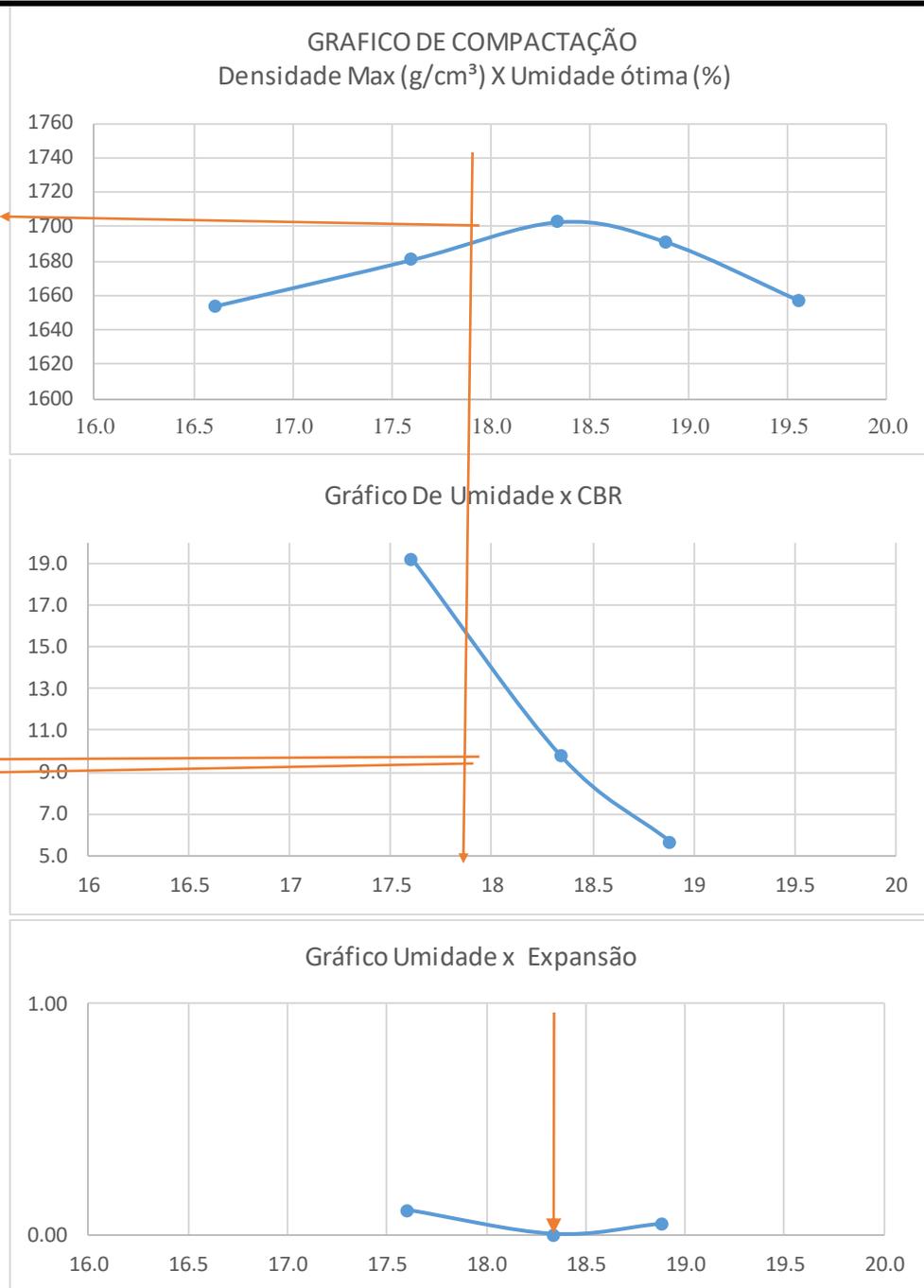


Figura 3.5 – Resultados do ensaio de ISC.

Os resultados obtidos podem ser verificados na Tabela 3.9 que segue abaixo.

Tabela 3.9 – Resultados obtidos para o ensaio de ISC% das amostras.

Corpo de prova (ISC 01%)	5,6
Corpo de prova (ISC 02%)	9,7
Corpo de prova (ISC 03%)	19,2

3.1.7 Classificação dos solos (AASHTO e SUCS)

Após o término dos ensaios de caracterização física e utilização destes dados do solo foi possível classificá-lo, conforme dados que seguem abaixo nas Tabelas 3.10 e 3.11.

Tabela 3.10 – Resultados para classificação do solo pelo método AASHTO.

% Passa Peneira 4 (4,8mm)	100
% Passa Peneira 10 (2,0mm)	100
% Passa Peneira 40 (0,42mm)	95,4
% Passa Peneira 200 (0,075mm)	92,4

Tabela 3.11 – Resultados para classificação do solo pelo método SUCS.

% Passa Peneira 4 (4,8mm)	100
% Passa Peneira 10 (2,0mm)	100
% Passa Peneira 40 (0,42mm)	95,4
% Passa Peneira 200 (0,075mm)	92,4
Índice de Grupo (IG)	12,8

Terminadas as análises o solo foi classificado como sendo: *Argila baixa compressibilidade*, conforme enquadramento que segue em Tabela abaixo:

Tabela 3.12 – Enquadramento do solo utilizando os métodos de classificação.

CLASSIFICAÇÃO "AASHTO"	A-7-6 (<i>solo argiloso – fraco a pobre</i>)
CLASSIFICAÇÃO "SUCS"	CL (<i>argila baixa compressibilidade</i>)

3.2. ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DA MISTURA SOLO-CIMENTO + RCD E DOS TIJOLOS PRODUZIDOS

Os percentuais dos materiais utilizados para as etapas de misturas 01 e 02 utilizadas para a elaboração dos traços adotados para a obtenção dos corpos-de-prova (CP's) foram definidas de acordo com a Tabela 3.13 que segue exemplificada abaixo.

Tabela 3.13 - Percentuais dos materiais utilizados na produção do tijolo solo-cimento.

Materiais	Traços para fabricação de tijolo de solo-cimento (TR)				
	Tr ₀	Tr ₁	Tr ₂	Tr ₃	Tr ₄
Solo (%)	90	80	70	60	50
RCD (%)	0	10	20	30	40
Cimento (%)	10	10	10	10	10

3.2.1 Resistência à compressão da mistura solo-cimento e RCD

A Tabela 3.14 demonstra os resultados obtidos após a realização do ensaio de resistência à compressão em 3 CP's moldados, curados e rompidos aos 28 dias.

Tabela 3.14 – Resultados do ensaio de resistência à compressão da mistura.

TRAÇO	Resistência aos 28 dias (MPa)			
	CP 1	CP 2	CP 3	Média
90% solo + 10% cimento	2,64	2,36	2,9	2,63
80% solo + 10% RCD + 10% cimento	3,29	2,95	2,92	3,05
70% solo + 20% RCD + 10% cimento	4,6	4,42	4,42	4,48
60% solo + 30% RCD + 10% cimento	4,65	4,57	4,95	4,72
50% solo + 40% RCD + 10% cimento	5,88	4,96	5,82	5,55

As Figuras 3.6 e 3.7 demonstram os resultados obtidos para as resistências individuais dos corpos de prova e a para resistência média da amostra.

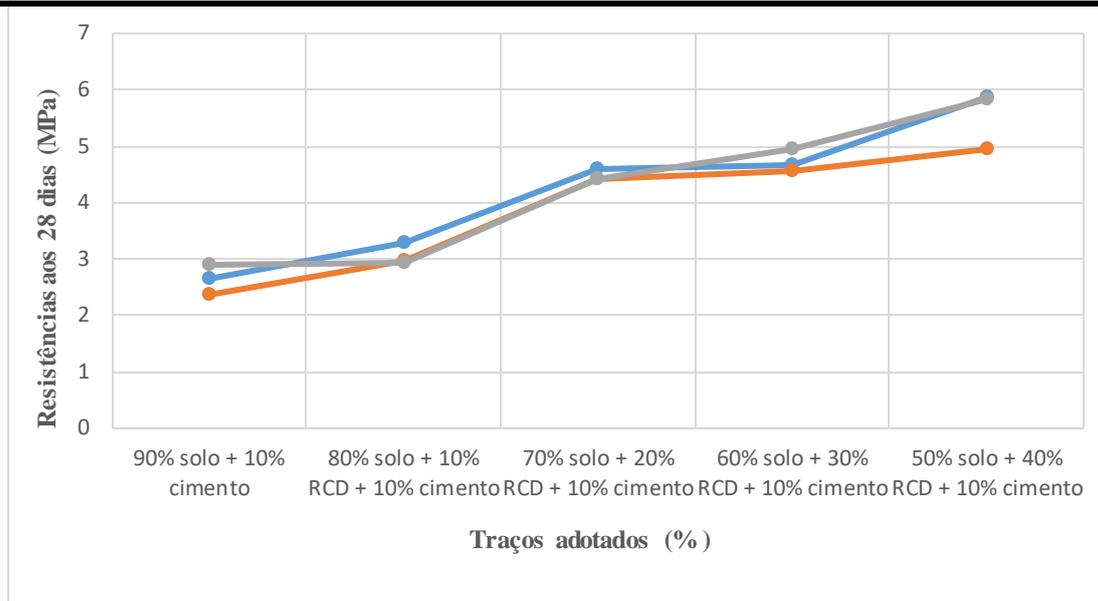


Figura 3.6 – Resistências à compressão individuais dos CPs aos 28 dias.

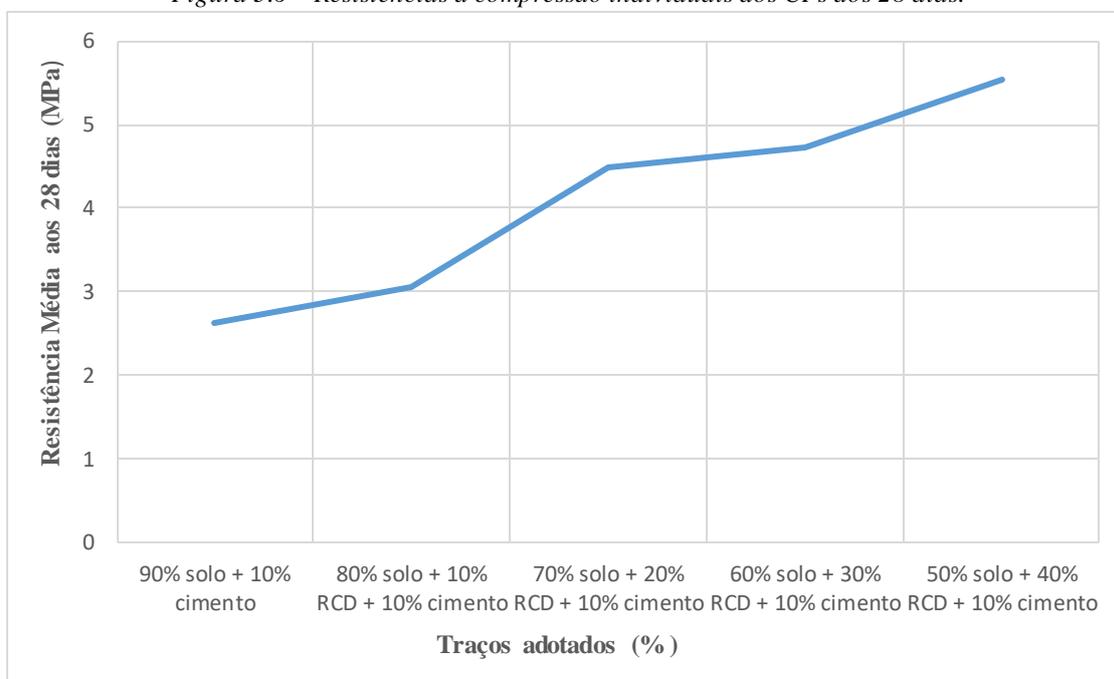


Figura 3.7 – Resistência à compressão média dos CPs aos 28 dias.

A Tabela 3.15 demonstra o coeficiente de variação calculado para a amostra, sendo o maior valor igual a 8,38% garantindo a aceitabilidade dos dados obtidos para os CP's.

Tabela 3.15 – Tratamento estatístico da resistência à compressão dos CP's.

TRAÇO	Resistência aos 28 dias (MPa)				Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP 1	CP 2	CP 3	Média		
90% solo + 10% cimento	2,64	2,36	2,9	2,63	0,22	8,38
80% solo + 10% RCD + 10% cimento	3,29	2,95	2,92	3,05	0,17	5,50
70% solo + 20% RCD + 10% cimento	4,6	4,42	4,42	4,48	0,08	1,89
60% solo + 30% RCD + 10% cimento	4,65	4,57	4,95	4,72	0,16	3,47
50% solo + 40% RCD + 10% cimento	5,88	4,96	5,82	5,55	0,42	7,57

O gráfico de dispersão dos dados obtidos pode ser observado na Figura 3.8 que expressa a baixa dispersão do coeficiente de variação da amostra.

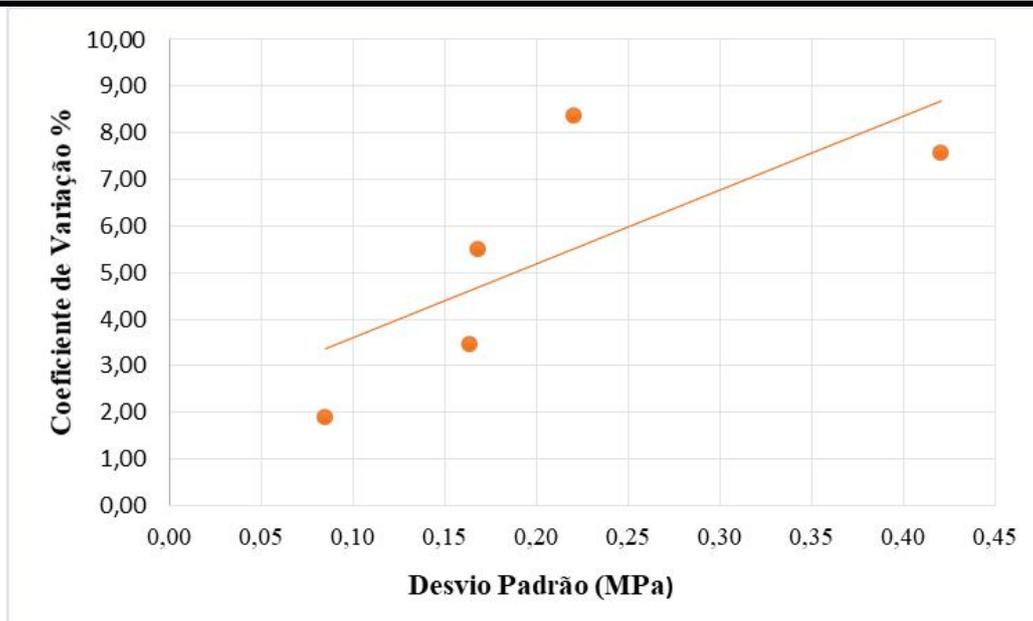


Figura 4.8 – Gráfico do coeficiente de variação (CV).

3.2.2 Resistência à compressão dos tijolos produzidos

Os resultados de resistência a compressão para os tijolos maciços de solo-cimento com adição de RCD foram obtidos após a cura de 28 dias e prensagem mecânica prevista em norma, de acordo com os dados que seguem abaixo na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 – Resultados do ensaio de resistência a compressão dos tijolos.

TRAÇO ADOTADO	Resistência aos 28 dias (MPa)				Média
	TJ 1	TJ 2	TJ 3	TJ 3.1	
50% solo + 40% RCD + 10% cimento	5,65	5,76	5,45	5,49	5,57

Resultados com o traço ideal conforme observado na Figura 3.9 que segue abaixo:

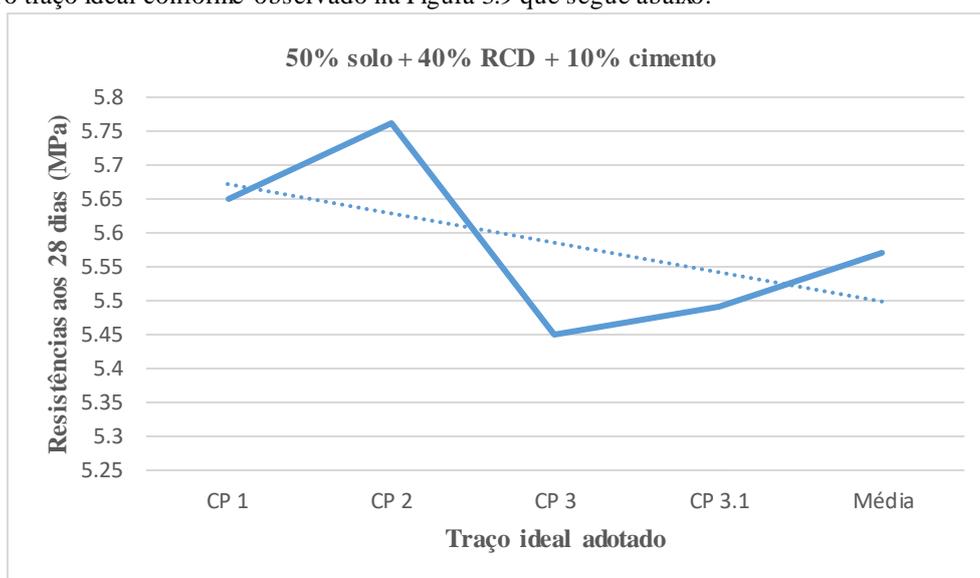


Figura 3.9 – Gráfico de resistência a compressão do tijolo produzido.

A Tabela 3.17 e a Figura 3.10 demonstram o tratamento estatístico dos resultados obtidos.

Tabela 3.17 – Tratamento estatístico da resistência a compressão dos tijolos.

TRAÇO	Resistência aos 28 dias (MPa)				Média	DP (MPa)	CV (%)
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 3.1			
50% solo + 40% RCD + 10% cimento	5,65	5,76	5,45	5,49	5,57	0,12	2,24

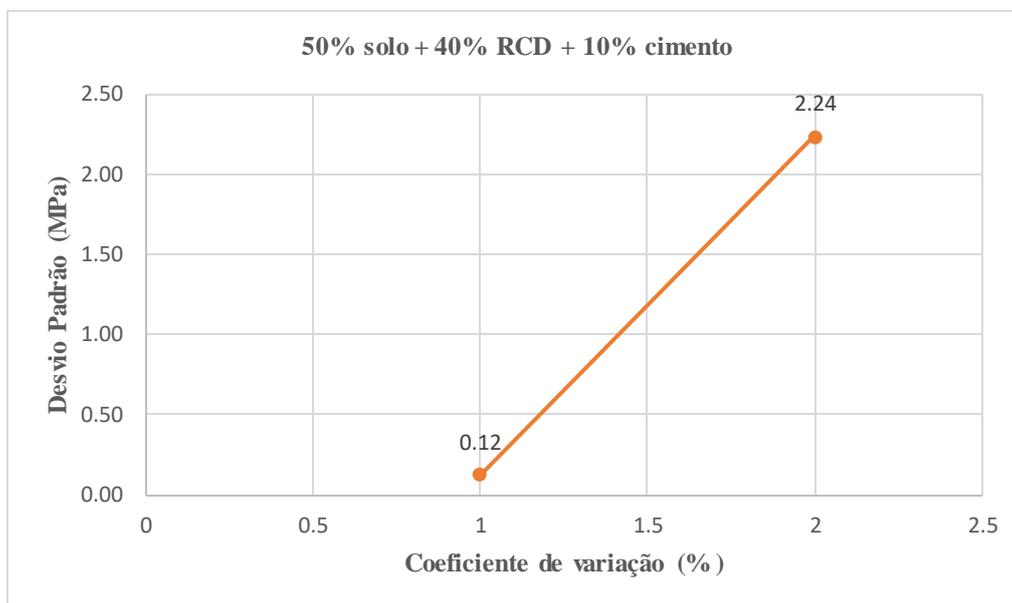


Figura 3.10 – Gráfico do coeficiente de variação (CV).

IV. DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS

4.1.1 Umidade higroscópica

Para o ensaio de teor de umidade para cada cápsula de amostra de solo, foram obtidos os dados descritos acima. Segundo PINTO (2016), o teor de umidade médio obtido neste estudo caracterizaria o solo como sendo do tipo: areia silto-argiloso (residual de granito), tendo como parâmetro resultados obtidos para os diversos solos brasileiros.

4.1.2 Ensaios de Consistência

Após a realização do ensaio de Limite de Liquidez (LL) foram obtidos os dados apresentados na Tabela 4.2. Em seguida a realização do ensaio, elaborou-se um gráfico, no eixo das abcissas (em escala linear) os teores de umidade e no eixo das ordenadas (em escala logarítmica) o número de golpes. Aos pontos assim obtidos ajustara-se uma reta. Pontos que, eventualmente, estiverem muito afastados da tendência dos demais, foram desprezados, segundo critérios da norma.

Neste contexto, o limite de liquidez do solo corresponde ao teor de umidade referente a 25 golpes, obtidos com base na reta ajustada, é igual a 40,52%,

Sendo o LL = 40,52%, obtido com auxílio da reta ajustada do gráfico 4.1 e o LP = 20,19% definido pela média de umidade desprezando valores diferidos de 5%.

PINHEIRO (2013) ressalta em seus estudos para fabricação de tijolo de solo-cimento utilizando o “grits” como resíduo, que os valores ideais a serem obtidos para o LL e o IP do solo e do resíduo utilizado, não devem ultrapassar os limites estabelecidos em norma.

A NBR 10832/2012 afirma que para a fabricação de tijolo de solo-cimento o solo utilizado deverá apresentar os seguintes parâmetros: LL deve ser menor ou igual a 45% e o IP menor ou igual 18%, neste contexto percebe-se que o solo em estudo não atende totalmente ao previsto em norma.

4.1.3 Peso específico dos grãos

Com base na equação citada no capítulo anterior, utilizando os dados coletados em laboratório tem-se como resultados os valores descritos na Tabela 4.5:

Tabela 4.5 – Densidade real do solo em estudo.

Densidade Real ($\gamma_g = \text{g/cm}^3$)		
Nº do Recipiente	20	9
Peso do Recipiente (a)	34,85	33,42
Peso do Recipiente + água (b)	87,14	87,14
Peso do Recipiente + amostra (c)	68,16	67,59
Peso do Recipiente + amostra + água (d)	107,48	107,93
Densidade	2,57	2,55
Média de valores γ_g	2,56	

PINTO (2016) descreve que para melhor caracterizar um solo quando não se tem o peso específico dos grãos deve adotar o valor de 27KN/m^3 , contudo costuma-se caracterizar as argilas quando seus pesos específicos variam de $2,56\text{g/cm}^3$ a $3,0\text{g/cm}^3$. O valor obtido para o solo em estudo inicialmente pode classifica-lo como sendo um solo argiloso lateríticos, proveniente da deposição de sais de ferro durante a sua formação.

4.1.4 Análise granulométrica por peneiramento

Para a análise granulométrica do solo, utilizou-se 02 (duas) amostras a partir dos valores calculados traçou-se a curva de distribuição granulométrica, marcando-se no eixo das abcissas, em escala logarítmica, os “diâmetros” das partículas e no eixo das ordenadas, em escala natural, os percentuais das partículas menores do que os diâmetros considerados, isto é, os percentuais de solo que passam nas peneiras.

Para uma amostra de solo ser aceita no processo de fabricação de tijolo de solo cimento é necessário que a distribuição granulométrica esteja de acordo com os critérios da ABCP, ou seja AMARAL (2014) informa que a fração de argila deve estar entre 10% a 20%, a fração de silte entre 10% a 20% e a fração de areia entre 50% a 70%, em resumo o teor de argila deve ser inferior a 20%. A NBR 10832/2012 afirma que o solo mais adequado para utilização em tijolos de solo-cimento deve possuir as seguintes características: 100% passante na peneira de abertura de malha 4,8mm e de 10 a 50% passante na peneira de abertura de malha 0,075mm, neste contexto observa-se que o solo em estudo atende parcialmente aos parâmetros descritos por autores e pela norma, conforme pode ser verificado nas Tabelas citadas acima.

4.1.5 Ensaio de Compactação

CASTRO (2016) descreve que o teor de umidade ótima ideal para solos utilizados na fabricação de tijolo de solo-cimento, deve ser em torno de 12,7%, enquanto que para solo-cimento com a adição de resíduo, este valor obtido varia em torno de 13%, ou seja a umidade ótima encontrada influencia na qualidade final do produto, bem como em um menor índice de absorção.

Alcançado o valor da umidade ótima do solo, tem o peso específico aparente seco máximo que levará a maior resistência do solo a ser utilizado, no estudo em questão os resultados alcançados demonstraram que o solo não é o ideal para a fabricação de tijolo de solo-cimento, pelo fato de caracteriza-se como um solo predominantemente arenoso. (FERRARI, 2014).

4.1.6 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Com os dados obtidos para os 03 corpos de prova verificou-se que o ISC% das amostras apresentaram valores baixos, TEIXEIRA (2014) relata que valores baixos de ISC caracterizam solos com capacidade de suporte reduzida e baixa compressibilidade. Os resultados obtidos podem ser verificados na Tabela 4.9 que segue abaixo.

4.1.7 Classificação dos solos (AASHTO e SUCS)

Terminadas as análises o solo foi classificado como sendo: *Argila baixa compressibilidade*, conforme enquadramento que segue em Tabela abaixo:

A NBR 10832/2012 afirma que o solo mais adequado para utilização em tijolos de solo-cimento deve apresentar características de um solo arenoso, o solo utilizado para o presente estudo não atende totalmente aos critérios da norma, conforme demonstrado nas Tabelas anteriormente citadas.

4.2 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DA MISTURA SOLO-CIMENTO + RCD E DOS TIJOLOS PRODUZIDOS

Os percentuais dos materiais utilizados para as etapas de misturas 01 e 02 utilizadas para a elaboração dos traços adotados para a obtenção dos corpos-de-prova (CP's). A NBR 12253/2012 recomenda que sejam produzidos no mínimo 03 corpos de prova para a determinação da resistência a compressão da amostra a ser analisada, contudo a NBR 8492/2012 indica que deverão ser confeccionados no mínimo 7 corpos de prova para que os resultados encontrados sejam significativos do ponto de vista estatístico.

4.2.1 Resistência à compressão da mistura solo-cimento e RCD

Pode ser visto que proporcionalmente quanto maior a quantidade de RCD e menor a quantidade de solo utilizado maior a resistência à compressão adquirida para a mistura. A norma NBR 10834/2013 afirma que o valor mínimo médio para a resistência à compressão deve ser $\geq 2,0$ MPa e para valores individuais deve ser $\geq 1,7$ MPa.

FERRARI (2014) demonstrou em seu estudo que quanto maior a quantidade de cimento utilizada em substituição a cinza, resíduo estudado em seu experimento, menor era a sua resistência resultante, contudo no presente estudo a relação de cimento manteve-se constante, porém ao aumentar a quantidade de resíduo ocorreu significativo aumento de resistência a compressão da mistura, como pode ser constatado na Tabela demonstrada acima no quinto traço estudado.

A norma NBR 10834/2013 relata que aos 28 dias de cura os corpos de prova de solo cimento praticamente atingem sua resistência máxima, pois o cimento atingiu sua hidratação completa, por isso pode-se considerar como aceitáveis os resultados obtidos no ensaio de compressão da amostra em estudo.

A norma NBR 8491/2012 também adota os parâmetros de resistência à compressão da NBR 10834/2013 para confecção de tijolos de solo-cimento, contudo em analogia ao tijolo de solo-cimento tem-se que para a utilização de blocos cerâmicos de vedação com furos verticais, a resistência mínima média estabelecida é de 3,0 MPa, de acordo com a NBR 15270-1/2005 e para blocos cerâmicos estruturais a NBR 15270-2/2005 estabelece o mesmo valor característico de 3,0 MPa.

Contudo, PINTO (2016) afirma que tendo em vista os parâmetros estabelecidos de resistência à compressão para blocos estruturais e de vedação serem valores relativamente baixos, para a utilização de solos estabilizados pode-se considerar valores maiores para a resistência mecânica, considerando a analogia a resistência característica do próprio cimento, quando utilizado isoladamente.

Para o tratamento estatístico dos dados obtidos, PINTO (2016) descreve que amostras que apresentam coeficientes de variação $CV \leq 15\%$ podem ser consideradas de baixa dispersão, ou seja amostra aceitável.

O gráfico de dispersão dos dados obtidos pode ser observado na Figura 4.8 que expressa a baixa dispersão do coeficiente de variação da amostra.

4.2.2 Resistência à compressão dos tijolos produzidos

Dos resultados obtidos para o traço ideal adotado de 50% solo + 40% RCD + 10% cimento, constatou-se novamente que as resistências a compressão encontradas

tanto individuais quanto a média de valores são maiores que os valores previstos em norma. Para tanto, faz-se necessário citar novamente que a NBR 10834/2013 informa que para valores individuais a resistência deve ser $\geq 1,7$ MPa e para valores médios $\geq 2,0$ MPa.

A NBR 15270-1/2005 e a NBR 15270-2/2005 preconizam que para tijolos cerâmicos comuns utilizados para alvenaria de vedação e estrutural a resistência mínima a ser considerada deve ser $\geq 1,5$ MPa para tijolos com furos na horizontal, e para tijolos com furos na vertical deve ser $\geq 3,0$ MPa.

Por este fato verifica-se que os tijolos maciços de solo-cimento com adição de RCD produzidos com o traço ideal adotado podem ser utilizados com grande margem de segurança, uma vez que o menor valor obtido foi igual a 5,45 MPa.

A NBR 10834/2012 prescreve que os tijolos de solo-cimento podem ser utilizados para alvenaria sem função estrutural desde que sua resistência seja $\geq 2,0$ MPa, neste contexto constatou-se que a adição de RCD ao tijolo produzido pode garantir a adoção do traço estudado para a fabricação de tijolo de solo-cimento.

AMARAL (2014) e PINTO (2016) relatam que tijolos de solo-cimento com ou sem adição de resíduos sólidos que apresentam resistências a compressão elevadas podem ser utilizados normalmente em alvenaria de vedação sem função estrutural e para serem utilizados em alvenaria estrutural deverá haver maior controle tecnológico durante o processo e fabricação de forma a atender as prescrições mínimas da NBR 15270-1/2005, da NBR 15270-2/2005 e da NBR 15270-3/2005.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, “NBR 5732: Cimento Portland Comum”, Rio de Janeiro.
- [2] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995, “NBR 6502: Rochas e Solos”, Rio de Janeiro.
- [3] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016, “NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”, Rio de Janeiro.
- [4] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016, “NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez”, Rio de Janeiro.
- [5] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016, “NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade”, Rio de Janeiro.

- [6] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, “NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica”, Rio de Janeiro.
- [7] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016, “NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação”, Rio de Janeiro.
- [8] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, “NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação”, Rio de Janeiro.
- [9] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, “NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão”, Rio de Janeiro.
- [10] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, “NBR Tijolo de solo-cimento: Requisitos”, Rio de Janeiro.
- [11] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, “NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da Absorção da Água – Método de ensaio”, Rio de Janeiro.
- [12] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, “NBR 9603: Sondagem a trado”, Rio de Janeiro.
- [13] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, “NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio”, Rio de Janeiro.
- [14] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, “NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação”, Rio de Janeiro.
- [15] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, “NBR 10.833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: Procedimento”, Rio de Janeiro.
- [16] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, “NBR 10.834: Bloco de solo-cimento sem função estrutural: Requisitos”, Rio de Janeiro.
- [17] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, “NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio”, Rio de Janeiro.
- [18] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, “NBR 12025: Solo-cimento – Ensaio de Compressão simples em corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio”, Rio de Janeiro.
- [19] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, “NBR 12253: Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento”, Rio de Janeiro.
- [20] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, “NBR 15.270-1: Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: Terminologia e requisitos”, Rio de Janeiro.
- [21] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, “NBR 15.270-2: Componentes cerâmicos Parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural: Terminologia e requisitos”, Rio de Janeiro.
- [22] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, “NBR 15.270-3: Componentes cerâmicos Parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: Métodos de ensaio”, Rio de Janeiro.
- [23] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, “NBR 16097: Solo – Determinação do Teor de Umidade – Métodos expeditos de ensaio”, Rio de Janeiro.
- [24] ALMEIDA, G. C. DE. **Caracterização Física e Classificação dos solos**. 1.ed. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2015.
- [25] AMARAL, MATEUS CARVALHO. **Avaliação dos efeitos da incorporação de resíduo de lama de cal nas propriedades e microestrutura de uma mistura solo-cimento**. 2016. 100f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos de Goytacazes, 2016.
- [26] BALENA, SOLANDE PIZZOLATTO. **Correlação de análises químicas e espectroscópicas de Laboratório com dados obtidos em campo por espectrorradiômetro**. 2011. 105f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- [27] BASTOS, ARTHUR PAULO OZELAME. **Análise da influência de aditivos superplastificantes no comportamento de pastas de cimento Portland com e sem adição de filer calcário**. 2016. 91f. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.
- [28] BOTELHO, MANOEL HENRIQUE CAMPOS. **Princípios da Mecânica dos Solos e das Fundações para a Construção Civil**. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2016.
- [29] BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Dispõe sobre a Instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos**, alterando a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em

- <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm>
> Acesso em: 26 de janeiro de 2018, às 15h18min.
- [30] CABRAL, ANTONIO EDUARDO BEZERRA, MOREIRA, KELVYA MARIA DE VASCONCELOS. **Manual sobre Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Disponível em <<http://www.ibere.gov.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos-ce>> Acesso em: 26 de janeiro de 2018, às 19h05min.
- [31] CAPUTO, HOMERO PINTO. **Mecânica do Solos e suas aplicações – Mecânica das rochas, Fundações e Obras de Terra**. 7.ed. vol.2. São Paulo: LTC, 2015.
- [32] CASTRO, MARIO ANDREAN MACEDO, *et al.*, 2016, “Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com co-produtos siderúrgicos”. In: **Cerâmica**, v. 509, pp. 27-33.
- [33] CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2002, “Resolução CONAMA n° 307/2002: **Gestão de resíduos e produtos perigosos – Tratamento**”, Brasília.
- [34] CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2002, “Resolução CONAMA n° 348/2004: **Alteração da Resolução CONAMA Nº 307/2002**”, Brasília.
- [35] CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012, “Resolução CONAMA n° 448/2012: **Alteração dos artigos 2°, 4°, 5°, 6°, 8°, 9°, 10 e 11 da Resolução n° 307**, de 5 de julho de 2002”, Brasília.
- [36] CAPUTO, HOMERO PINTO. **Mecânica do Solos e suas aplicações – Mecânica das rochas, Fundações e Obras de Terra**. 7.ed. vol.2. São Paulo: LTC, 2015.
- [37] COSTA, RICARDO VASCONCELOS GOMES DA. **Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa**. 2012. 68f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2012.
- [38] CASTRO, MARIO ANDREAN MACEDO, COSTA, FIAME GOMES DA, BORBA, SUELLEN CRISTINA, NETO, ELIAS FIGURY, RABELO, ADRIANO ALVES, 2016. “Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com co-produtos siderúrgicos”. In: **Revista PEMM, COPE UFRJ**. v. 21, n° 04, pp. 666-676, ISSN 1517-7076, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- [39] DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2016, “Norma DNIT 172/ 2016-ME: **Solos – Índices de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio**, Brasília.
- [40] FERRARI, WLADIMIR JOSÉ, *et al.*, 2014. “Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná”. In: **Revista Ambiente Construído**, v.14, n° 03, pp. 131-148, ISSN 1678-8621, Porto Alegre, RS, Brasil.
- [41] FERREIRA, ALICE CRISTINA ALVES, COSTA, *et al.*, 2014, “Gestão de Resíduos Sólidos na Construção Civil”. In: **Revista Pensar Engenharia**, v.02, n° 02, ISSN 2318-2504, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- [42] FIGUEIREDO, SUÉLEN SILVA. **Estudo da durabilidade de tijolos de solo-cal incorporados com resíduos de construção e demolição**. 2011. 106f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011.
- [43] FILHO, LUPERCIO LUIZINES CAVALCANTI. **Avaliação da resistência a compressão simples e absorção de tijolos vazados de solo-cimento produzidos a partir da substituição parcial do cimento pela cinza da lenha de Algaroba**. 2016. 96f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2016.
- [44] IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas de População enviadas ao TCU**. Disponível em <http://ibge.gov.br/Estimativas_de_populacao/Estimativas_2017/Estimativas_TCU_2017_201800112> Acesso em: 26 de janeiro de 2018, às 18h41min.
- [45] JUNIOR, JOÃO BOSCO DOS SANTOS, *et al.*, 2012. **Utilização de garrafas PET na fabricação de tijolos de solo-cimento**. Disponível em: <<http://periodicos.set.edu.br/cademoexatas/articleFile>> Acesso em: 29 de abril de 2018, às 16h31min.
- [46] LIMA, FABIÓLLA XAVIER ROCHA FERREIRA. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: Caracterização para uso em edificações**. 2013. 114f. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília. Brasília, 2013.
- [47] LLAJARUNA, MANUEL ANTONIO VILLALOBOS. **Estudo do solo-cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção**. 2016. 75f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho. Ilha Solteira, 2016.
- [48] MARTINS, FLÁVIA GADELHA. **Gestão e Gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte – Estudo de Caso**. 2012. 188f. Dissertação (Mestrado), Escola de

- Engenharia da Universidade de São Carlos. São Carlos, 2012.
- [49] MARTINS, L. R., FERNANDES, F. F., CAMPOS, A. M. L. S., 2016, “Utilização de resíduo de construção e demolição na estabilização do solo de Iranduba para confecção de tijolo de solo-cimento”. In: Anais do 73º Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTEC 2016, pp. 28101-28111, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- [50] MESQUITA, LEONARDO CARVALHO, *et al.*, 2015, “Análise da viabilidade técnica e econômica do uso do resíduo sólido da construção civil na fabricação do tijolo de solo-cimento”. In: **Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC)-UFG**, v.10, nº 03, pp 10.526-32.651, Goiânia, GO, Brasil.
- [51] MOTA, JEANE. **A destinação dos resíduos da construção civil em Manaus: Do canteiro de obras ao destino final**. 2014. 72f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Belém, 2014.
- [52] NAGALLI, ANDRÉ. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. 1 ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 2014.
- [53] PATRÍCIO, S. M. R., FIGUEIREDO, S. S., BEZERRA, I. M. T., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C., 2013, “Blocos solo-cal utilizando resíduo da construção civil”. In: **Cerâmica**, v. 509, pp. 27-33.
- [54] PEREIRA, MIGUEL FERNANDES. **Estudo sobre os tipos de cimentos comercializados em Campo Mourão**. 2012. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012.
- [55] PINHEIRO, MÁRCIA LANA, *et al.*, 2013. “Avaliação experimental de blocos prensados de solo-cimento com adição de grits”. In: **Revista Ambiente Construído**, v.13, nº 02, pp. 29-46, ISSN 1678-8621, Porto Alegre, RS, Brasil.
- [56] PINTO, CARLOS SOUZA. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 2016.
- [57] PINTO, EDUARDO DA SILVA, 2016. **Solo-cimento compactado: Proposta de método de ensaio para dosagem e caracterização física e mecânica**. 209 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2016.
- [58] PINTO, LUCAS MAZZOLENI. **Estudos de tijolos de solo-cimento com adição de resíduo de construção civil**. 2015. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.
- [59] PRESA, MARCELO BASTOS. **Resistência a compressão e absorção de água em tijolos de solo-cimento**. 2011. 41f. Dissertação (Mestrado), FAV-UNB. Brasília, 2011.
- [60] QUEIROZ, MARLUCE TEIXEIRA ANDRADE, *et al.* **Estudo de Caso: Aproveitamento do resíduo da construção civil em Coronel Fabriciano, Minas Gerais**, 2014, Florianópolis. Disponível em: <<http://file:///C:/Users/usuario/Downloads/2964-13496-1-PB.pdf>> Acesso em: 25 de junho de 2018, às 21h49min.
- [61] RIBEIRO, SIMONE VALÉRIA. **Reutilização de rocha ornamental na produção de tijolo de solo-cimento**. 2013. 96f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo de Goytacazes. Rio de Janeiro, 2013.
- [62] SANTOS, KELLYANE DOS, OLIVEIRA, FERNANDA KELLY DE, MARQUES, SHEYLA CAROLINA JUSTINO. **Avaliação das propriedades mecânicas dos tijolos ecológicos formulados com resíduos cerâmicos**, 2012, Palmas. Disponível em: <<http://www.propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/5143/2202>> Acesso em: 29 de abril de 2018, às 15h52min.
- [63] SANTOS, WINNIE FRANCO. **Tratamento superficial dos agregados reciclados de RCD com hidrofugante**. 2016. 166f. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.
- [64] SEMULSP, SECRETARIA MUNICIPAL DE LIMPEZA E SERVIÇOS PÚBLICOS. **Aterro Sanitário**, 2018, Manaus. Disponível em <http://www.semulsp.manaus.am.gov.br/aterro-sanitario/coleta_seletiva> Acesso em: 26 de janeiro de 2018, às 15h01min.
- [65] SILVA, MAURO VALÉRIO. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de águas**. 2012. 132f. Dissertação (Mestrado), IPEN. São Paulo, 2012.
- [66] SILVA, VAMBERTO MONTEIRO DA. **Estudo da potencialidade do resíduo cerâmico incorporado na produção de tijolos maciços de solo-aglomerantes**. 2013. 117f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.
- [67] SILVA, L.C.F., MENDES, J. U. L., MARINHO, J. S., 2014, “Fibras do coco como indutor de isolamento térmico em tijolos de solo-cimento”. In: **Anais do 3º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, Belém, PA, Brasil.

- [68] SOUZA, MÁRCIA IKARUGI BOMFIM DE. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** 2016. 117f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista -Júlio de Mesquita Filho. Ilha Solteira, 2016.
- [69] TEIXEIRA, IVONEI. **Estabilização de um solo laterítico argiloso para utilização como camada de pavimento.** 2014. 137f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2014.
- [70] YAZIGI, WALID. **A Técnica de Edificar.** 15 ed. São Paulo: PINI, 2016.