

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO  
UTILIZANDO RESÍDUOS CERÂMICOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2018**

JÉSSICA FILIPE BRISKIEVICZ

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO  
UTILIZANDO RESÍDUOS CERÂMICOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Caroline Angulski Da Luz

PATO BRANCO

2018



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE BLOCOS DE SOLO- CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

#### **JÉSSICA FILIPE BRISKIEVICZ**

No dia 25 de junho de 2018, às 17h30min, na SALA DE TREINAMENTO da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº31-TCC/2018.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. CAROLINA LUZ ANGULSKI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. JOSÉ MIGUEL ETCHALUS (DACOC/UTFPR-PB)

## RESUMO

BRISKIEVICZ, Jéssica. F. Avaliação das propriedades de blocos de solo-cimento utilizando resíduos cerâmicos de construção civil. 2018. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2018.

Como forma de amenizar os impactos negativos da construção civil, novos processos e produtos vêm sendo desenvolvidos de forma que possibilitem a reincorporação dos resíduos de construção e demolição (RCD). Os blocos de solo-cimento se apresentam como uma opção eficiente para a incorporação dos RCD na substituição da areia natural para a correção de solos argilosos. O solo argiloso apresenta grãos muito finos e precisa ser corrigido para que possa ser utilizado na mistura de solo-cimento, essa correção usualmente é feita com areia natural que confere ao solo valores desejáveis de partículas de areia. Neste trabalho, empregou-se a dosagem de 10% de cimento para a massa de solo corrigido e a correção do solo foi realizada com 40% de solo e 60% de agregado miúdo (areia natural e RCD de origem cerâmica). Com base nas dosagens, moldou-se blocos que foram ensaiados para absorção de água e resistência à compressão. Os ensaios da resistência à compressão apresentaram valores inferiores à norma para os blocos saturados, porém atenderam à norma quando não saturados. A absorção de água excedeu o máximo permitido pela norma. Esses resultados negativos podem ter sido causados por vários fatores como, por exemplo, pela prensa utilizada ser manual e não hidráulica, pelo empirismo na identificação do teor de umidade para a moldagem e o não emprego de cal como aglomerante. Como vantagem, os blocos com RCD apresentaram uma coesão inicial maior em comparação aos blocos com areia natural, isso facilitou a retirada do material da prensa.

**PALAVRAS-CHAVES:** Solo-cimento, resíduos de blocos e tijolos cerâmicos, RCD

## ABSTRACT

BRISKIEVICZ, Jéssica. F Avaliação das propriedades de blocos de solo-cimento utilizando resíduos cerâmicos de construção civil. 2018. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2018.

As a way of mitigating the negative impacts of construction, new processes and products have been developed in a way that allows the reincorporation of construction and demolition waste (RCD). Soil-cement blocks are an efficient option for the incorporation of RCDs in the substitution of natural sand for the correction of clayey soils. The clay soil presents very fine grains and needs to be corrected for use in the soil-cement mix, this correction is usually made with natural sand that gives the soil desirable values of sand particles. In this work, the dosage of 10% of cement was applied to the corrected soil mass and the soil correction was done with 40% of soil and 60% of aggregate (natural sand and RCD of ceramic origin). Based on the dosages, blocks were tested which were tested for water absorption and compressive strength. The compressive strength tests showed values lower than the norm for saturated blocks, but they met the norm when not saturated. The water absorption exceeded the maximum allowed by the standard. These negative results may have been caused by a number of factors, such as by the press used to be manual rather than hydraulic, by empiricism in the identification of the moisture content for molding and the non-use of lime as a binder. As an advantage, the blocks with RCD showed a greater initial cohesion compared to the blocks with natural sand, this facilitated the removal of the material from the press.

**KEY-WORDS:** soil-cement, recycling of construction waste, ceramic waste

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pavimento com solo-cimento .....	13
Figura 2 - Construção com blocos de solo-cimento .....	13
Figura 3 - Parede monolítica .....	13
Figura 4 – Contenção de solo com solo-cimento .....	13
Figura 5 - Bloco comum .....	20
Figura 6 - Prensa manual .....	21
Figura 7 - Prensa automática .....	21
Figura 8 - Fôrma para compactação de tijolos de solo-cimento .....	21
Figura 9 - Coleta do solo .....	28
Figura 10 - Solo secando ao ar .....	29
Figura 11 - Britador utilizado na moagem do RCD .....	31
Figura 12 – Resíduos cerâmicas moídos e peneirados .....	31
Figura 13 - Curva granulométrica dos agregados .....	34
Figura 14 - Amostras de solo corrigido com areia natural e solo corrigido com RCD	36
Figura 15 - Ensaio de limite de liquidez do solo com areia natural.....	37
Figura 16 - Ensaio de limite de plasticidade do solo com RCD .....	38
Figura 17 - Ensaio de limite de plasticidade do solo .....	39
Figura 18 - Ensaio de limite de plasticidade do solo com areia natural .....	39
Figura 20 - Mistura de solo-cimento corrigido com areia.....	42
Figura 21 - Homogeneização do material.....	42
Figura 22 - Diferença entre material homogeneizado por fricção.....	43
Figura 24 - Bolo partido sem fragmenta-lo de solo-cimento corrigido com areia.....	44
Figura 26 - Bolo partido sem fragmenta-lo de solo-cimento corrigido com cerâmica	44
Figura 27 - Prensa utilizada na moldagem dos blocos.....	45
Figura 28 - Bloco de solo-cimento pouco coeso.....	46
Figura 29 - Material descolado do bloco causado pelo teor de umidade inadequado .....	47
Figura 30 - Bloco moldado rompido no mesmo ponto.....	47
Figura 31 - Bloco solo-cimento corrigido com areia moldado.....	48
Figura 32 - Bloco solo-cimento corrigido com RCD.....	48
Figura 33 - Blocos de solo-cimento moldados e colocados para curar .....	49
Figura 34 - Blocos cobertos com lona para preservar a umidade .....	49

Figura 35 - Blocos com serragem umedecida para favorecer a cura .....	50
Figura 36 - Prensa utilizada na determinação da resistência à compressão.....	51
Figura 37 - Blocos capeados nas duas faces de trabalho .....	51
Figura 38 - Blocos submersos antes do ensaio de resistência à compressão .....	52
Figura 39 - Bloco submetido ao ensaio de resistência .....	52
Figura 40 - Blocos secando em estufa para o ensaio de absorção .....	53
Figura 41 - Blocos submersos em água para determinação da absorção.....	54
Tabela 11 – Substituição de areia por RCD em volume .....	54
Tabela 12 - Dosagem dos blocos com RCD em volume .....	55
Figura 43 – Blocos feitos com a correção do RCD pelo volume de areia natural.....	55
Figura 44 - Capeamento dos blocos feitos com a correção do RCD em volume de areia .....	56
Figura 45 - Ensaio de resistência à compressão do bloco com a correção de RCD em volume.....	56
Figura 46 - Ensaio de absorção de água do bloco com o RCD corrigido.....	56
Tabela 19 - Resultados de resistência à compressão aos 28 dias e absorção de água .....	62
Figura 48 - Ruptura do bloco com areia saturado .....	63
Figura 50 – Detalhe da fratura no bloco com RCD.....	63
Figura 52 – Bloco corrigido com RCD corrigido em volume saturado após o rompimento .....	64
Figura 53 - Detalhe da parte rompida do bloco corrigido com areia.....	64
Figura 54 - Detalhe dos grãos do bloco com RCD .....	65
Figura 55 – Aparência dos blocos fabricados com RCD .....	65
Figura 56 - Aparelho Casagrande e cinzel .....	76
Figura 57 - Gráfico com a equação da reta do LL do solo .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões nominais dos blocos vazados.....	20
Tabela 2 - Propriedades desejáveis para o solo .....	32
Tabela 3 – Diâmetro dos grãos do solo.....	32
Tabela 4 – Composição granulométrica do solo .....	33
Tabela 5 – Granulometria dos agregados miúdos.....	34
Tabela 6 – Classificação dos agregados miúdos conforme NBR 7211 .....	34
Tabela 7 - Composição granulométrica do solo, areia e cerâmica.....	35
Tabela 8 – Composição do solo corrigido para as diferentes dosagens .....	35
Tabela 9 - Resultados da caracterização do solo comparados com a NBR 10833/2012 .....	40
Tabela 10 – Resistência à compressão do cimento .....	40
Tabela 11 – Substituição de areia por RCD em volume.....	54
Tabela 12 - Dosagem dos blocos com RCD em volume .....	55
Tabela 13 - Resistência à compressão dos blocos com 14 dias .....	57
Tabela 14 - Resistência à compressão dos blocos com 29 dias saturados .....	58
Tabela 15 - Resistência à compressão dos blocos com 29 dias sem saturar .....	58
Tabela 16 - Resistência à compressão dos blocos com correção da substituição de RCD com 30 dias .....	59
Tabela 17 – Absorção de água dos blocos de solo-cimento .....	60
Tabela 18 – Absorção de água dos blocos com a substituição de RCD corrigida ....	61
Tabela 19 - Resultados de resistência à compressão aos 28 dias e absorção de água .....	62
Tabela 20 – Granulometria da areia natural.....	74
Tabela 21 - Granulometria do RC .....	74
Tabela 22 - Concentração de areia e argila+silte para a composição 25% solo e 75% de agregado .....	75
Tabela 23 - Concentração de areia e argila+silte para a composição 30% solo e 70% de agregado miúdo .....	75
Tabela 24 - Concentração de areia e argila+silte para a composição 40% solo e 60% de agregado miúdo .....	75
Tabela 25 - Limite de liquidez do solo .....	77
Tabela 26 - Limite de plasticidade do solo .....	78



Tabela 27 - Limite de liquidez do solo corrigido com areia.....	78
Tabela 28 - Limite de plasticidade do solo corrigido com areia .....	78
Tabela 29 - Dosagem solo corrigido (90%) e cimento (10%) .....	80
Tabela 30 – Correção de 60% de areia e 40% de solo .....	80

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 Objetivo geral .....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
3.1 Bloco de solo-cimento .....	13
3.2 Custo benefício dos blocos de solo-cimento .....	23
3.3 Resíduos de construção e demolição.....	23
3.4 Potencial de geração de RCD .....	27
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
4.1 Obtenção dos materiais.....	28
4.2 Correção do solo .....	32
4.3 Caracterização dos materiais .....	36
4.3 Aglomerante .....	40
4.4 Água .....	41
4.5 Execução dos blocos de solo-cimento .....	41
4.6 Ensaios.....	50
4.7 Correção da substituição de RCD pelo volume da areia natural .....	54
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>57</b>
5.1 Resultados .....	57
5.2 Discussões .....	61
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O equilíbrio do meio ambiente é fundamental para garantir que ele consiga, de maneira geral, sustentar a vida da fauna e flora. Contudo, as atividades desenvolvidas pela humanidade deram origem a inúmeros processos de degradação. A indústria da construção civil representa uma parcela significativa desse desequilíbrio, seja diretamente pela extração de matéria-prima ou indiretamente através da geração de resíduos sólidos e a poluição oriunda da produção de materiais (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2008).

Como forma de impactar menos o meio ambiente, têm sido desenvolvidas novas soluções para os resíduos de construção e demolição (RCD). Entre essas soluções, a utilização dos RCD na produção de blocos de solo-cimento se mostrou satisfatória para promover a redução dos impactos provenientes da disposição final dos RCD (SILVA E LAFAYETTE, 2016).

Os solos argilosos apresentam uma elevada quantidade de grãos com pequena granulometria (argila e silte) e uma deficiência de grãos maiores (areia). Essa deficiência de materiais arenosos faz com que seja necessário adicionar uma quantidade maior de aglomerante para realizar a estabilização do solo. A correção dos solos argilosos com areia natural proporciona o aumento da quantidade de partículas com grãos maiores e isso oferece uma redução da quantidade de aglomerante empregado na mistura de solo-cimento. A utilização dos RCD na substituição da areia natural para a correção de solos argilosos promove a sustentabilidade, porque evita a extração da areia natural das jazidas (LIMA; ALEXANDRE, 2006)

A produção de solo-cimento pode ser feita de forma manual e apresenta baixo custo devido à matéria-prima principal ser o solo. Salienta-se ainda que, a produção de blocos de solo-cimento não requer processos industriais, uma vez que diferente das cerâmicas que necessitam de cozimento, a cura dos blocos pode ser feita ao abrigo do sol, reduzindo os impactos ambientais causados pelas olarias. O solo-cimento também oferece um elevado ganho social, já que sua fabricação não necessita de mão de obra especializada e pode ser feito em regime de mutirão, favorecendo comunidades carentes (BAUER, 2010)

A padronização dos materiais e processos é necessária para obtenção de resultados coerentes e também possibilita a comparação de resultados. Em vista

disso, na pesquisa de Souza, Segantini e Pereira (2008) que utilizaram RCD na produção de blocos solo-cimento. Os autores optaram pelos resíduos de concreto, esta escolha foi motivada porque a coleta do material para o estudo foi feita em Ilha Solteira-SP, local onde foram executadas muitas obras utilizando alvenaria de blocos de concreto.

Levando em consideração a pesquisa de Souza, Segantini e Pereira (2008) citada acima, em Pato Branco-PR as construções em sua maioria são de alvenaria de tijolos e de blocos cerâmicos, assim os RCD escolhidos para este trabalho foram os resíduos de origem cerâmica. Neste trabalho busca-se agregar conhecimentos quanto ao potencial de incorporação dos RCD na fabricação de blocos de solo-cimento em substituição da areia natural para a correção de solos argilosos. Para isso foi realizada, a caracterização das matérias-primas, a determinação de limites de dosagens de areia natural e RCD, e por fim, a moldagem dos blocos de solo-cimento que foram ensaiados para determinação da resistência à compressão e absorção de água.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar as propriedades de blocos de solo-cimento obtidos com RCD em substituição à areia natural na correção dos solos argilosos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a eficiência do RCD como material de correção de solos argilosos em solo-cimento;
- Avaliar a influência da substituição da areia natural por RCD na resistência à compressão e na absorção de água de blocos solo-cimento;
- Identificar limites de substituição de areia natural por RCD em blocos solo-cimento.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 BLOCO DE SOLO-CIMENTO

O solo-cimento pode ser empregado na construção civil de diversas formas, devido à ampla variedade de produtos que podem ser fabricados, dentre estes, podem ser citados: utilização na pavimentação (Figura 1); fabricação de tijolos, blocos (Figura 2) e paredes monolíticas (Figura 3); estruturas hidráulicas para o revestimento de barragens e reservatórios; muros de arrimo (Figura 4), entre outros (SILVEIRA; NÓBREGA, 2005).



**Figura 1 - Pavimento com solo-cimento**  
Fonte: Cimento Montes Claros (2017).



**Figura 2 - Construção com blocos de solo-cimento**  
Fonte: MF Rural (2012).



**Figura 3 - Parede monolítica**  
Fonte: Recriar com você (2015).



**Figura 4 - Contenção de solo com solo-cimento**  
Fonte: Cimento Montes Claros (2017).

A ampla variedade de produtos oriundos do solo-cimento é proporcionada em consequência das características que apresenta após a cura, como boa durabilidade,

resistência mecânica, resistência a intempéries, excelente isolante térmico e é um material não combustível. Além disso, o solo-cimento é considerado sustentável e de interesse social, uma vez que não necessita de cozimento, utiliza a matéria-prima da própria região, tem baixo custo e não necessita de processos industriais, podendo ser executado no canteiro de obra (BAUER, 2010).

O método de produção de solo-cimento é composto pela estabilização do solo através da utilização de um aglomerante hidráulico, que aumenta a qualidade do produto, pois acresce a resistência mecânica, durabilidade e a resistência à ação da água. O aglomerante utilizado pode ser o cimento ou a cal, ou uma mistura dos dois, porém a última é mais indicada para uso em solos argilosos, não sendo indicada para fabricação de paredes monolíticas. As paredes monolíticas são fabricadas no local definitivo através da compactação de camadas sucessivas dentro de fôrmas, como exemplificado anteriormente na Figura 3 (BAUER, 2010).

Bauer (2010) reconhece que o processo de estabilização do solo com a utilização de um aglomerante hidráulico ainda não foi amplamente estudado, porém se supõem que após a hidratação do cimento, ocorrem mudanças da carga elétrica do solo na mistura, por meio da troca de cátions, gerando uma atração entre as partículas, unindo-as em partículas maiores e assim auxiliando na perda da elasticidade da mistura.

A fim de realizar pesquisas utilizando solo-cimento, a primeira coisa a se fazer é a coleta do solo, em seguida deve ser realizada sua caracterização através de ensaios laboratoriais, uma vez que o Brasil dispõe de variados tipos de solo com diferentes propriedades. Com o resultado destas análises, pode ser realizada ou não, a correção da sua composição e em seguida fazer a determinação da dosagem de cimento que mais se enquadra nas propriedades desejadas do produto final. Outro critério importante para a utilização desse material são os ensaios de resistência à compressão e a absorção de água que também dependerá do produto que se pretende obter (BAUER, 2010).

Através de pesquisas desenvolvidas a partir do solo-cimento identificou-se a possibilidade de incorporar materiais alternativos, seja para a correção do solo, ou para aumentar as qualidades físicas e visuais dos blocos e tijolos.

Conforme o estudo desenvolvido por Beutler (2017), analisou-se o desempenho de blocos feitos com areia de fundição como forma de corrigir o solo e cimento supersulfatado, comparando-os com blocos fabricados com areia de fundição

e cimento CP II – Z. A correção do solo foi feita em 70% de areia de fundição para 30% de solo e a dosagem do solo-cimento foi de 1:6 (cimento:solo corrigido). Beutler (2017) encontrou dificuldades na moldagem dos blocos de ambas as amostras, e os blocos com areia de fundição e cimento supersulfatado ao serem colocados em contato com a água foram degradados demonstrando a impossibilidade de sua utilização. Já os blocos com areia de fundição e CP II – Z que apresentaram melhor desempenho em contato com a água além de apresentar resistência à compressão significativamente superior.

Na pesquisa de Vieira (2017), as propriedades dos blocos de solo-cimento foram avaliadas após a utilização de areia natural e areia de britagem para a correção do solo, na proporção de uma parte de solo para duas partes de areia (1:2) e a dosagem do solo-cimento foi de 1:10 (cimento:solo corrigido). Tanto os blocos com areia natural como os blocos com areia de britagem apresentaram valores de resistência à compressão superiores ao indicado pela norma e de absorção inferiores ao indicado.

### **3.1.1 Definições**

A definição de solo-cimento é, de acordo com a NBR 10834 (ABNT, 1994), uma mistura homogênea, compacta e endurecida de solo, cimento Portland, água e ocasionalmente pode conter aditivos em proporções adequadas permitindo que os blocos atendam às exigências da norma.

Os benefícios de utilizar o solo-cimento variam desde a facilidade de obtenção da matéria-prima até o processo produtivo considerado simples, não precisando de mão-de-obra especializada, caso não seja utilizada prensas mecânicas para a compactação do material (MOTTA et al., 2014). Diante dessas vantagens citadas, por serem facilmente executados, é possível organizar mutirões para a sua produção, dando ênfase na importância social que os produtos de solo-cimento podem exercer para a construção de casas populares, sobretudo se o custo dos blocos de cerâmica for elevado na região (BAUER, 2010).

De todo o processo produtivo, o que mais influência na qualidade do produto é o tipo de solo, a prensa, a umidade de moldagem, a relação solo/cimento, a adição ou não de estabilizantes e o procedimento de cura (MOTTA et al., 2014). Esses



requisitos devem ser atendidos conforme as normas pertinentes aos blocos de solo-cimento.

### **3.1.2 Materiais**

#### **3.1.2.1 Solo**

O solo é composto por partículas sólidas, minerais e orgânicas, além de vazios, os quais são preenchidos com água e sais chamados de solução do solo. Já os poros presentes são preenchidos por ar que são constituídos por gases (MACHADHO; ARAÚJO, 2014).

Segundo Bragatto (2012), no município de Pato Branco, localizado no sudoeste do Paraná, o relevo em sua maioria varia de suave ondulado a ondulado. Essa característica em conjunto com a ação do clima e da vegetação resultou na formação de solos argilosos, profundos e bem drenados.

De acordo com Ker et al. (2012), os solos que apresentam uma composição mais arenosa e com presença de pedregulhos são os mais indicados para a produção de solo-cimento. Isso porque, a presença de areia grossa e pedregulhos agem como material de enchimento reduzindo a quantidade de cimento utilizado para aglomerar os grãos menores (Apud MACHADO; ARAÚJO, 2014).

Conforme informações disponibilizadas pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), todos os tipos de solo podem ser utilizados para a mistura de solo-cimento, os mais indicados são os que contêm um teor entre 45 a 50% de areia. A ABCP não recomenda os solos que contêm em sua composição um elevado grau de matéria orgânica, que são identificados como os solos de cor preta.

Segundo Motta et al. (2014), é fundamental que o solo utilizado para a mistura apresente uma boa plasticidade e o limite de liquidez seja menor que 40% e 45%. Além disso, é importante que o solo contenha teores de argila entre 10% e 20%, de silte entre 10% e 20% e de areia entre 50% e 70%.

Para a determinação das características do solo, são utilizadas as seguintes normas:

- NBR 6457 informa sobre a preparação de amostras de solo e ensaio de caracterização;

- NBR 6508 traz orientações de determinação da massa específica dos grãos;
- NBR 6459 trata da determinação do limite de liquidez;
- NBR 7180 orienta como determinar o limite de plasticidade;
- NBR 7181 fornece informações sobre análise granulométrica; e
- NBR 7182 propõem o ensaio de compactação.

### **3.1.2.2 Cimento Portland**

O Cimento Portland é produzido através da pulverização de um material constituído de silicatos hidráulicos de cálcio chamado de *clínquer*, com sulfato de cálcio natural, podendo conter adições de substâncias que podem alterar suas propriedades conforme a necessidade do seu emprego (BAUER, 2008).

Conforme a ABCP, o cimento é um pó fino, com propriedades aglomerantes ou ligantes, que endurece após sua hidratação com água. Após endurecido, mesmo que entre em contato com a água, o cimento não se decompõe. Normalmente é misturado com areia, pedra brita, pó de pedra, cal e outros materiais, resultando em diferentes produtos como, por exemplo, argamassa e concreto (ABCP, 2002).

O cimento possui uma classificação que auxilia na distinção da matéria prima empregada em sua fabricação, assim como nas propriedades desejadas. Os mais empregados são, segundo Isaia (2017):

- Cimento Portland Comum (CP I);
- Cimento Portland Composto (CP II);
- Cimento Portland de Alto-Forno (CP III);
- Cimento Portland Pozolânico (CP IV);
- Cimento de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI);
- Cimento Portland Branco (CPB).

### **3.1.3 Dosagem**

Embora o solo seja o componente mais utilizado na mistura, o aglomerante é indispensável para dar ao produto final a de resistência a compressão e intempéries. Para tanto, é importante estudar e determinar a melhor relação solo/cimento para que

o produto final atenda às exigências de projeto. A ABCP recomenda uma quantidade de cimento a ser empregada entre 5 a 10% do peso do solo da mistura, que deve ser o suficiente para estabilizar e conferir as propriedades necessárias.

Bauer (2010) comenta que alguns fabricantes de prensas manuais ou automáticas utilizadas para a moldagem dos tijolos, telhas e outros produtos de solo-cimento, sugerem um traço de 1:2:9 para cimento, cal e solo.

No trabalho realizado por Motta et al. (2014), foi utilizada uma proporção de 15 partes de solo para 1 parte de cimento na confecção dos tijolos de solo-cimento e após a cura foram ensaiados para a absorção de água e a resistência à compressão. Embora a dosagem de cimento adotada corresponde à 6,67% do peso do solo e este se enquadra na faixa indicada pela ABCP de 5% a 10%, os autores concluíram que é necessário utilizar um percentual maior de aglomerante na mistura. Vale ressaltar que o solo utilizado foi o tipo saibro.

Já na pesquisa de Lima e Alexandre (2006), os autores adotaram um traço de 1kg de cimento para 6kg de solo. Avaliaram 30 blocos, divididos em 3 partes iguais para ensaiar aos 7, 14 e 28 dias. Os autores obtiveram resultados satisfatórios quanto à absorção e à resistência à compressão das amostras e reafirmaram a necessidade de se utilizar uma quantidade maior de cimento quando o solo for argiloso.

Conforme os procedimentos descritos na NBR 10.833, para determinar a dosagem ideal do solo-cimento para a fabricação de blocos, devem ser preparados 30 blocos para 3 traços distintos. No ensaio de qualidade, retira-se de forma aleatória 10 amostras de cada traço, definindo ao fim, o traço que apresentou o melhor custo benefício (ABNT, 2012).

Na NBR 10833 de 2012, também consta a forma de mistura do material, que deve ser feita após o destorroamento e peneiramento do solo, colocando o cimento em cima dele e misturando até obter uma coloração homogênea. Após isso, acrescenta-se água até atingir a umidade ideal de trabalho da mistura.

### **3.1.4 Normas**

A fim de que os blocos atendam às especificações da norma, os materiais deverão ser selecionados e ensaiados para caracterização dos insumos utilizados e assim alcançar a qualidade desejada do material.

Se tratando de blocos feitos com solo-cimento, dispõem-se:

- NBR 10834/1994 trata sobre blocos vazados de solo-cimento sem função estrutural;
- NBR 10835/1994 traz a padronização da forma e dimensões dos blocos vazados de solo-cimento sem função estrutural;
- NBR 10836/1994 instrui os métodos de ensaio para a determinação da resistência à compressão e da absorção de água dos blocos vazados de solo-cimento.

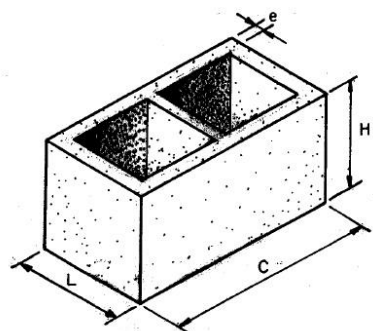
A determinação do traço ideal, assim como os procedimentos de mistura, moldagem, cura e ensaios de qualidade dos blocos de solo-cimento se encontram na norma:

- NBR 10833/2012 instrui o processo de fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento através da utilização de prensa, podendo ser manual ou hidráulica.

Conforme recomendações da NBR 10834 (ABNT, 1994), o cimento Portland utilizado deve atender às diretrizes das normas pertinentes, que são: NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735 e NBR 5736. Além disso, o solo não deve apresentar teores prejudiciais de matéria orgânica e a água utilizada deve ser isenta de impurezas que possam causar problemas na hidratação do cimento.

Os blocos vazados de solo cimento utilizados para alvenaria, devem ter, segundo a NBR 10834/1994, seção transversal útil entre 40% e 80% da seção transversal total e a espessura mínima de qualquer parte do bloco deve ser de 25 mm.

Conforme a NBR 10835 de 1994, os blocos são classificados de acordo com sua forma e dimensões, podendo ser blocos comuns ou especiais. Os comuns precisam possuir a forma externa de um paralelepípedo retangular (Figura 5), sendo a largura do bloco representada por (L), a altura representada por (H), o comprimento representado por (C) e a espessura das paredes por (e). Já os blocos especiais podem ser feitos com diferentes formas e dimensões devendo seguir ainda as outras normas pertinentes, desde que atendam aos requisitos de qualidade.



**Figura 5 - Bloco comum**

Fonte: NBR 10835 (ABNT, 1994).

As dimensões são variáveis para os blocos vazados. A Tabela 1 apresenta as dimensões nominais para os blocos divididos em tipo A, B e C ao que se refere à largura, altura e comprimento dos blocos.

**Tabela 1 - Dimensões nominais dos blocos vazados**

Tipo	Largura	Altura	Comprimento
A	90	140	390/190
B	140	140	390/190
C	190	140	390/190

Fonte: NBR 10835 (ABNT, 1994).

No que se refere à resistência à compressão, a NBR 10834 orienta valores médios maiores que 2 MPa, ou valor individual maior que 1,7 MPa, aos 28 dias. A absorção de água, deve ser inferior a 20% (média), ou então valores individuais de 22% de absorção aos 28 dias (ABNT, 1994).

A NBR 10834 foi atualizada em 2013 e cancelou a NBR 10835 de 1994. Dentre as modificações impostas, as dimensões indicadas pela norma passarão a ser de 300 mm de comprimento, 150 mm de largura e 150 mm de altura (CONSTRUNORMAS, 2018). Vale ressaltar que os valores referentes à resistência à compressão e absorção de água se mantiveram os mesmos.

Muitas prensas existentes no mercado não se adequam às dimensões indicadas pela norma, ficando os blocos classificados como especiais. A moldagem dos blocos realizada por Beutler (2017) e Viera (2017), foi feita com as dimensões 25 x 12,5 x 6,5 cm.

### 3.1.4.1 Moldagem

Necessita-se utilizar equipamentos para a moldagem da mistura do solo-cimento. Este varia muito, podendo ser realizado manualmente através da compactação de camadas sucessivas em pequenas caixas de madeira para fazer a moldagem dos blocos, ou por meio de prensas de moldagem manual ou mecânica, algumas totalmente automatizadas, que permitem a fabricação de outros produtos proveniente do solo-cimento como, por exemplo, telhas, blocos e tijolos (BAUER, 2010).



**Figura 6 - Prensa manual**

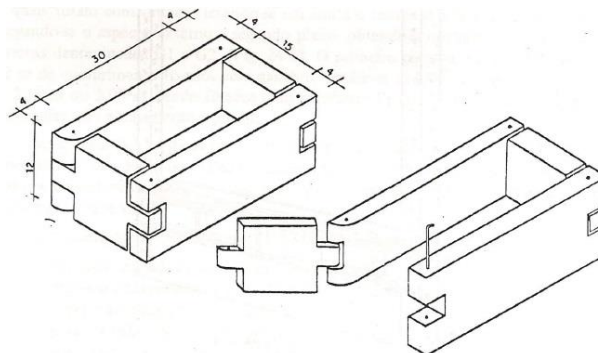
Fonte: Sahara (2018).



**Figura 7 - Prensa automática**

Fonte: Alroma (2018).

A moldagem manual através do socamento de camadas sucessivas requer que, a caixa de madeira utilizada como molde possua dobradiças a fim de facilitar o desmolde dos tijolos (Figura 8). Caso o método de moldagem empregado seja por meio de prensa mecânica ou manual, o próprio fabricante do equipamento indica a forma de execução (BAUER, 2010).



**Figura 8 - Fôrma para compactação de tijolos de solo-cimento**

Fonte: Bauer (2010).

Para a confecção dos tijolos, é necessário produzir apenas a quantidade de massa que será utilizada no dia, em razão do tempo de cura do cimento presente na mistura. Vale ressaltar que o processo de compactação pode acarretar na redução de até 50% do volume no momento da moldagem (LIMA ET AL., 2015).

Outro critério importante é em relação à umidade. A sua determinação deve ser feita com cuidado para não resultar em uma massa muito encharcada ou muito seca, uma vez que a umidade errada dificultaria a prensagem e a boa compactação dos blocos. Para remediar este problema, caso a mistura esteja muito seca adiciona-se água, e caso esteja muito úmida deve-se continuar a fazer o revolvimento da mistura, dessa forma ocorrerá a perda do excedente de água (LIMA; ALEXANDRE, 2006).

#### **3.1.4.2 Cura**

No estudo realizado por Bauer (2010), após a moldagem dos blocos, os mesmos foram dispostos separadamente sobre uma superfície horizontal, abrigados do sol e da chuva. Foram periodicamente molhados e a frequência de molhagem, conforme o autor, varia de acordo com a umidade do ambiente. O autor deixou as amostras curando por 8 dias e comentou que esse tempo pode ser maior se for utilizado cal como aglomerante.

Conforme o trabalho realizado por Machado e Araújo (2014), os blocos de solo-cimento, após confeccionados foram armazenados por 24 horas protegidos contra o sol e chuva e então foram colocados em imersão para o procedimento de cura.

Já na pesquisa feita por Lima e Alexandre (2006), após realizarem a prensagem dos blocos, colocaram estes em uma câmara úmida com umidade média de 88% variando 3,5%, para o processo de cura, por um período de 28 dias.

Nos procedimentos de cura dos blocos, presente na NBR 10.833, após retirar o material moldado, podem ser empilhados até uma altura máxima de 1,5m, sobre uma superfície plana e lisa deixando-os à sombra. A norma recomenda que, durante os sete primeiros dias devem ser mantidos úmidos e podem ser utilizados após 14 dias.

### 3.2 CUSTO BENEFÍCIO DOS BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

Os blocos feitos com solo-cimento apresentam ótimas vantagens, pois seu emprego pode representar cerca de 30 a 50% de economia no custo total de uma obra. Outras vantagens desse material são: o processo de fabricação não possui queima; apresenta uma ótima resistência mecânica; possui um eficiente isolamento acústico e térmico; não absorve muita umidade; é consideravelmente mais leve que outros tipos de vedações (SANTOS et al., 2009; apud MACHADO; ARAÚJO, 2014).

Em virtude da fabricação dos blocos resultar de uma produção com forma padronizada, esse tipo de vedação permite um encaixe preciso auxiliando na diminuição de argamassa empregada (LEROY MERLIN, 2017).

O bloco de solo-cimento, é uma matéria-prima pouco conhecida pelos consumidores, na maioria das vezes passa uma incerteza quanto a sua qualidade e durabilidade pois leva em seu nome a palavra solo, por este motivo muitas empresas passaram a nomeá-lo como tijolo ecológico. Seu milheiro possui um valor médio de R\$ 1.550,00, custo elevado se comparado com os tijolos convencionais proveniente de olarias encontrados em média por R\$ 1.200,00 (LEROY MERLIN, 2015; apud Lima et al., 2015).

### 3.3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A resolução nº 307 do CONAMA (2002) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, de forma que minimize os impactos ambientais. Essa resolução define os resíduos de construção e demolição (RCD) como os oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras de engenharia civil, bem como os resíduos resultantes da preparação e escavação de terrenos. De forma geral, cita-se tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rochas, metais, tintas, madeiras, forros, gesso, vidros entre outros materiais que são popularmente chamados de entulho de obra ou caliça.

O Art. 3º da resolução nº 307, classifica os resíduos da construção civil (RCC) em 4 categorias. O Inciso primeiro trata como Classe A os resíduos reutilizáveis ou recicláveis que podem ser utilizados como agregados. O inciso segundo classifica como Classe B os resíduos recicláveis como papel, papelão, plástico, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso. Já os de Classe C são



ditos como os resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação. E, por fim, no inciso quarto a Classe D que é designada aos resíduos perigosos provenientes do processo de construção (CONAMA, 2002).

De forma abrangente, os resíduos de construção civil são compostos por cerâmicas, argamassa e concreto (SILVA; LAFAYETTE, 2016). De acordo com o Art. 10 da resolução nº 448 (CONAMA, 2012), esses resíduos classificados como Classe A, deverão ser destinados de maneira que sejam reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados para aterros de reservação de material para usos futuros.

Vale ressaltar a importância de uma usina recicladora de resíduos de construção e demolição. Essas recicladores fazem uma separação rigorosa quando recebem os materiais, uma vez que, os resíduos da construção civil comumente encontram-se misturados com outros tipos de matérias. Após essa separação, conseguem dar o destino correto para cada tipo de resíduo, isto é: os resíduos de concreto, argamassa e cerâmicas podem ser triturados e moídos para utilização como agregados; os papeis, plásticos, vidros e metais podem ser encaminhados para a reciclagem convencional; e os resíduos perigosos são destinados da forma correta (SOARES et al., 2017).

Conforme o levantamento feito pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2018), no Brasil existem 350 usinas recicladoras de RCD. O estado de São Paulo é o que mais apresenta usinas recicladoras de RCD correspondendo cerca de 54%, seguido pelo Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul cada um com uma porção de 7% das usinas recicladoras (MIRANDA et al., 2016).

### **3.3.1.1 Pesquisas que utilizaram o RCD**

Os resíduos de construção civil de Classe A devem ser reutilizados ou reciclados (CONAMA, 2002). Segundo Marques Neto (2004), as medidas que vem sendo adotadas na gestão dos RCD são de caráter emergencial e meramente corretivas e precisam ser aperfeiçoadas.

Os impactos ambientais decorrentes da engenharia civil, ocorrem em todas as etapas do processo construtivo, uma vez que são consequências da extração de

matéria-prima, da produção de materiais, da construção, da utilização e da demolição. É importante a redução dos desperdícios e quando não for possível reduzir, como forma de mitigação, temos a sua reutilização como agregados, que muitas vezes é feita no próprio canteiro de obras. Ou então, através da reciclagem dos resíduos, que podem servir como matéria-prima na obtenção de novos produtos (MARQUES NETO, 2004).

Em um estudo realizado por Soares et al. (2017), para a obtenção de concreto, realizaram a substituição do agregado miúdo convencional pelo agregado miúdo proveniente de resíduos de materiais de concreto reciclados em proporções de 20%, 40% e 60%. O agregado miúdo proveniente de reciclagem de concreto foi caracterizado e apresentou um diâmetro máximo de 4,8mm e um módulo de finura de 2,46. Em posse dos resultados, concluíram que os corpos de prova que receberam as menores porcentagens de substituição podem ser utilizados com função estrutural, porém as amostras que receberam maiores concentrações de RCD não apresentaram resultados satisfatórios, fato que pode estar relacionado ao aumento do fator água/cimento (a/c).

Na pesquisa desenvolvida por Amorim et al. (2000), com o intuito de adicionar na argamassa materiais pozolânicos, utilizou-se duas amostras de entulho de construção civil, uma amostra de resíduos cerâmicos e uma amostra com material pozolânico artificial provenientes do laboratório. Uma das amostras de entulho era oriunda da demolição de uma residência antiga com aproximadamente 60 anos, e a outra procedente da demolição de uma torre de igreja construída a mais de 248 anos. Já a amostra de resíduos cerâmicos era composta em partes iguais de tijolos furados e telhas. Os resíduos de construção civil foram triturados, com o auxílio de um britador de mandíbulas, e peneirados com a peneira de nº 4 (4,76mm). Após isso, passaram pelo processo de moagem em um moinho de bolas com o objetivo de obter um material passante pela peneira nº 50 (0,297mm). Através de ensaios de caracterização, consistência e resistência à compressão, os autores concluíram que é possível utilizar RCD como agentes pozolânicos em argamassa.

Silveira e Nóbrega (2005) analisaram a incorporação de RCD na substituição do solo. O resíduo foi retirado da recicladora de Piracicaba e caracterizado como misto rico em materiais cerâmicos e solo. A incorporação dos RCD foi feita com 0%, 25%, 50%, 75% e 100% no solo e a dosagem de solo-cimento foi de 8% de cimento em massa. Para os ensaios de qualidade utilizaram-se apenas as substituições de 75% e

100% pois priorizaram a maior incorporação de resíduos. Por fim, os corpos de prova de solo-cimento foram ensaiados aos 7, 28, 60 e 90 dias de cura, houve um aumento significativo da resistência à compressão dos corpos de prova entre os 7 e 28 dias. Esse aumento da resistência não ocorreu dos 28 dias aos 60 dias, pelo contrário os corpos de prova com 75% de RCD apresentaram uma ligeira diminuição na resistência. Nenhum dos corpos de prova apresentaram resistência individual menor que 2,1 MPa. Os ensaios de absorção de água, perda de massa e variação de volume foram realizados aos 7 dias de cura e todos os corpos de prova atenderam aos valores exigidos em norma.

Silva e Lafayette (2016), adicionaram a mistura de solo-cimento, com 7% de cimento em massa de solo, os teores de 25%, 50% e 75% de resíduos misto de construção civil. Os resultados de resistência à compressão das amostras indicaram que o solo-cimento com adição de 25% de RCD misto apresentaram os melhores resultados, ultrapassando 2 MPa aos 28 dias.

Já na pesquisa de Dallacort et al. (2002), foi substituído parte do cimento Portland por material cerâmico moído. Os autores concluíram que, em substituições de 25 e 57% podem ser produzidos tijolos solo-cimento com resistências superiores a 2 MPa, e assim atender à norma.

Para Souza, Segantini, Pereira (2008) a incorporação de resíduos de construção civil melhorou as propriedades mecânicas do solo-cimento, favorecendo a redução de consumo de cimento e proporcionando a obtenção de solo-cimento de melhor qualidade. Para isso, utilizaram resíduos de concreto, que foram processados em um triturador de mandíbula e peneirado em uma malha de 4,8mm para obtenção de um material com granulometria similar a areia grossa. A adição do resíduo no solo-cimento foi feita em quantidades de 20%, 40% e 60%. O ensaio de resistência à compressão indicou que a adição até 40% de RCD aumentou a resistência dos tijolos e com 60% de RCD os tijolos apenas mantiveram a resistência. Todos os tijolos feitos com adição de RCD atenderam a resistência média exigida pela norma de 2,0 MPa. A absorção de água dos tijolos se manteve com menos de 20% atendendo a norma e o aumento na adição de RCD proporcionou a redução desses valores.

Diversos autores têm alcançado bons resultados com a incorporação de RCD. Silveira e Nóbrega (2005) comentam que o RCD apresenta propriedade arenosa, fato que amplia as características desejadas dos blocos, visto que em solos argilosos há uma deficiência de materiais arenosos, e com isso ocorre um aumento da utilização

de aglomerante, em razão de que os solos com grãos mais finos (argilosos) necessitam de mais cimento para sua estabilização (LIMA; ALEXANDRE, 2006).

### 3.4 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE RCD

Os RCD em Pato Branco são coletados predominantemente por empresas privadas através de *bruks*, que destinam o material em aterros licenciados ou não. Os RCD gerados apresentam uma ampla variedade nas obras, podendo ser gesso, madeira, cerâmica, concreto, argamassa, agregados graúdos e miúdos, plásticos, papéis e outros resíduos recicláveis. (CAMENAR; SCHEID, 2016).

Os aterros existentes no município para o descarte dos RCD não possuem uma triagem adequada, fazendo apenas a separação dos resíduos recicláveis que geram retorno financeiro. Além disso, a disposição final inadequada sem a aplicação de técnicas de engenharia torna instável as áreas aterradas, uma vez que a finalidade dos aterros é a de nivelar a cota do terreno (CAMENAR; SCHEID, 2016).

Camemar e Scheid (2016), concluíram através do Método Direto que o volume total coletado de RCD no município de Pato Branco, levando em consideração as três empresas que atuam no local, é de: 140 m<sup>3</sup>/dia; 2.800 m<sup>3</sup>/mês; e 33.600 m<sup>3</sup>/ano. Deste volume coletado, encontram-se materiais de reformas, ampliações e demolições, assim como matérias não provenientes da construção civil. Utilizando o peso específico do autor Rocha (2006) de 1,326 t/m<sup>3</sup>, obtém-se o valor de 44.553,60 toneladas/ano de resíduos gerados.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa, foi necessário efetuar: caracterização dos materiais; determinação de uma dosagem padrão de solo-cimento; execução dos procedimentos de mistura, moldagem e cura dos blocos; realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água. A caracterização das matérias-primas utilizadas, teve como base a convicção de que o solo necessitaria de correção e para isso, foram empregados dois materiais: a areia natural e os resíduos de construção civil.

### 4.1 OBTENÇÃO DOS MATERIAIS

#### 4.1.1 Solo

O solo utilizado no estudo foi coletado nas proximidades da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Pato Branco (Figura 9), uma vez que as pesquisas de Beutler (2017) e Vieira (2017) foram realizadas na mesma localidade, o que auxilia na comparação dos resultados.



**Figura 9 - Coleta do solo**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

No local, retirou-se uma porção do solo a fim de remover a camada inicial composta por matéria orgânica. Em seguida, considerando os ensaios a serem realizados, preparou-se o solo conforme a NBR 6457 de 2016, a qual fornece dois métodos. Um com e outro sem secagem prévia da amostra, este último só pode ser empregado quando o solo apresentar no máximo 10% de material retido na peneira 0,42mm.

Optou-se pelo método com secagem prévia, para tanto o solo foi deixado secando ao ar até próximo da umidade higroscópica (Figura 10). Essa umidade é a água que se mantém no solo após ser deixado secando ao ar (CAPUTO, 1988).



**Figura 10 - Solo secando ao ar**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Na sequência, desmanchou-se os torrões e a amostra foi homogeneizada. Então, com o auxílio de um repartidor de amostra, uma parcela de solo foi reduzida até obter a quantidade necessária de material para as análises de caracterização.

Para determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade, com o solo seco ao ar, a amostra foi peneirada até atingir a quantidade necessária de material passante pela peneira de 0,42mm.

#### **4.1.2 Areia natural**

A caracterização da areia natural foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Pato Branco. A norma utilizada para a determinação da granulometria é a NBR NM 248 de 2003.

A quantidade mínima da amostra de areia natural para o ensaio de granulometria, segundo a norma, depende da dimensão máxima do grão a ser empregado. Como a intenção é utilizar agregado miúdo com granulometria inferior a 4,75mm, cada amostra separada tinha pelo menos 300g e para cada material são necessárias duas amostras.

Conforme diretrizes da NBR NM 248 (2003), a areia natural foi secada em estufa à 105°C por 24 horas, após esse período foi deixada esfriando em temperatura ambiente, determinando-se as massas m1 e m2 utilizadas no ensaio.

#### **4.1.3 RCD cerâmicos**

Os blocos cerâmicos utilizados foram retirados do Laboratório Canteiro de Obras, do Departamento de Engenharia Civil, na UTFPR campus Pato Branco. Eles são provenientes de diferentes olarias, porém apresentam uma composição similar.

Para caracterização e a posterior utilização do RCD, foi preciso processá-los para apresentarem característica de agregado miúdo, ou seja, diâmetro menor que 4,8 mm. Para tanto, os blocos foram submetidos à moagem utilizando um britador de mandíbulas (Figura 11) do Laboratório Canteiro de Obras, localizado na UTFPR campus Pato Branco.



**Figura 11 - Britador utilizado na moagem do RCD**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Após a britagem o material ainda apresentava grãos graúdos. Em virtude disso, com o auxílio de uma peneira de diâmetro 6,3 mm foi realizada a separação dos agregados. Os grãos retidos nessa peneira foram submetidos ao procedimento de moagem sucessivamente, até obter a quantidade necessária de RCD com diâmetro menor que 4,8mm (Figura 12).



**Figura 12 – Resíduos cerâmicos moídos e peneirados**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



Para a caracterização granulométrica dos RCD cerâmicos, o material foi seco em estufa à 105°C por 24 horas e para realização do ensaio separou-se duas amostras, cada uma contendo 300 g e esperou-se que o mesmo esfriasse até a temperatura ambiente.

## 4.2 CORREÇÃO DO SOLO

Levando em consideração que em Pato Branco-PR o solo é caracterizado como argiloso, é necessária a sua correção para fabricação dos blocos. Para tanto, utiliza-se areia natural, assim, adotou-se ela como critério de referência para comparação de resultados com os blocos fabricados com adição de RCD. Adotou-se os resíduos cerâmicos como substituição da areia como agregado miúdo na correção do solo, principalmente em decorrência das construções em sua maioria serem de alvenaria de blocos cerâmicos. É fundamental que o solo utilizado para produção de blocos de solo-cimento apresente algumas propriedades mínimas apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Propriedades desejáveis para o solo**

Índice de plasticidade	< 18%
Limite de liquidez	< 40% a 45%
Argila + silte	20% a 40%
Areia	50% a 70%

Fonte: Motta et al. (2014).

Para garantir as características mínimas do solo para a fabricação dos blocos nesta pesquisa, o primeiro passo foi a análise granulométrica do solo. Através dela, determinou-se a percentagem de areia, silte e argila presente na amostra. A Tabela 3 indica o diâmetro dos grãos de areia, silte e argila presentes no solo.

**Tabela 3 – Diâmetro dos grãos do solo**

Material	Diâmetro (mm)
Areia	0,05
Silte	0,005 a 0,05
Argila	< 0,005

Fonte: Caputo (1988).

O ensaio do solo foi realizado no Laboratório de solos do Departamento de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Pato Branco. Os resultados encontram-se na Tabela 4, reafirmando a necessidade de ser corrigido para atender o teor de areia. No Anexo A encontrasse o relatório encaminhado pelo laboratório. De forma análoga, a composição granulométrica do solo coletado na mesma região feita por Beutler (2017), apresentou uma composição similar também apresentada na Tabela 4. Da mesma forma que na pesquisa realizada por Vieira (2017), obteve os mesmos valores para a composição do solo.

**Tabela 4 – Composição granulométrica do solo**

<b>Material</b>	<b>Composição</b>	<b>Composição do solo de Beutler (2017) e Vieira (2017)</b>
Argila	80%	80%
Silte	19%	17,8%
Areia	1%	2,2%

Fonte: Acervo pessoal (2018); Beutler (2017); Vieira (2017).

Na sequência, determinou-se a granulometria da areia natural e os RCD cerâmicos. O ensaio consiste na utilização de peneiras padronizadas, nas quais coloca-se a amostra sobre a peneira superior, agita-se o conjunto e determina-se a massa retida em cada peneira e no fundo do conjunto.

Usualmente para a determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos utiliza-se as peneiras da série normal. Contudo, como a intenção deste ensaio é utilizar os resultados para a correção do solo, acrescentou-se a peneira com abertura de 0,075 mm, porque o material passante nela apresenta o diâmetro referente ao silte e argila do solo e esses valores são necessários na metodologia de correção do solo.

A granulometria da areia e dos RCD podem ser conferidos nas tabelas presentes no Apêndice A, verificou-se que a areia natural é classificada com uma distribuição uniforme com dimensão máxima característica (DCM) e módulo de finura (MF) apresentados na Tabela 5. Enquadrando o material como areia média conforme a classificação da Tabela 6.

Já os resultados da análise granulométrica dos RCD os classificaram com granulometria continua bem graduada, com DMC e o MF contidos na Tabela 5, classificando esse agregado como areia grossa conforme a Tabela 6. Por fim, na

Figura 13 encontram-se as curvas granulométricas referente a areia natural e aos resíduos cerâmicos.

**Tabela 5 – Granulometria dos agregados miúdos**

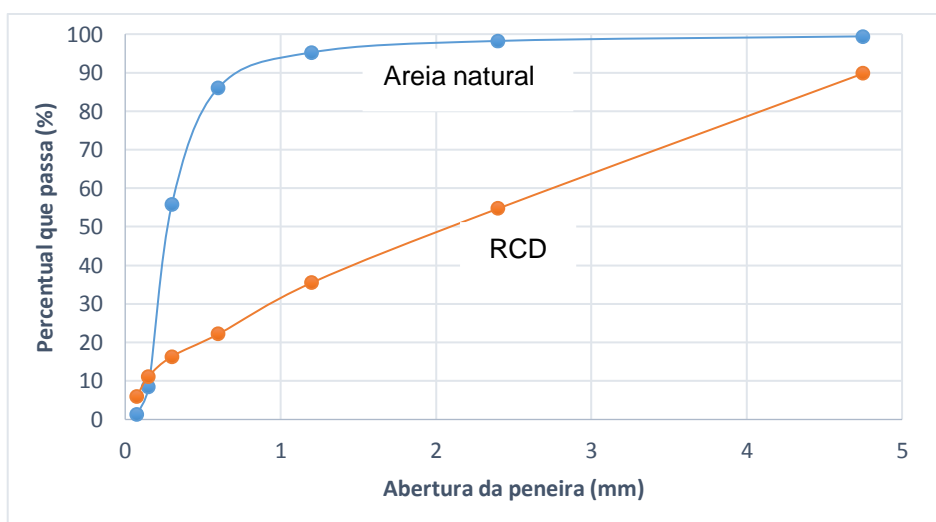
Areia Natural	DMC	1,20 mm
	MF	2,55
Areia de RCD	DMC	4,75 mm
	MF	4,64

Fonte: Acervo Pessoal (2018).

**Tabela 6 – Classificação dos agregados miúdos conforme NBR 7211**

Classificação	Módulo de finura
Muito fina	1,35 a 2,25
Fina	1,71 a 2,85
Média	2,11 a 3,38
Grossa	2,71 a 4,02

Fonte: Bauer (2008).



**Figura 13 - Curva granulométrica dos agregados**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Em posse dos resultados e com base na metodologia adotada por Vieira (2017), a determinação do teor de areia, argila e silte, foi realizada levando-se em consideração diferentes dosagens para o solo corrigido. Com a massa total da mistura, foi possível estimar os teores de areia e argila + silte para as composições de solo corrigido com areia e solo corrigido com RCD.

A Tabela 7 apresenta a percentagem da areia (diâmetro maior que 0,05 mm) e a percentagem de silte + argila (diâmetro menor que 0,05mm) do solo, da areia natural e dos RCD. Para empregar a metodologia, mesmo sabendo que a areia e o resíduo cerâmico não possuem a parcela referente a silte + argila considerou-se a percentagem de material passante na peneira 0,075 mm. A percentagem retida na peneira com abertura de 0,075 mm corresponde a “areia”.

**Tabela 7 - Composição granulométrica do solo, areia e cerâmica**

<b>Materiais</b>	<b>areia (%)</b>	<b>silte+argila (%)</b>
Solo	1,00	99,00
Areia	98,73	1,27
RCD	93,99	6,01

Fonte: Acervo pessoal (2018).

De maneira geral, definiu-se três possibilidades de correção do solo com os agregados de areia natural e RCD. A primeira com 25% de solo e 75% de agregado, a segunda com 30% de solo e 70% de agregado e a terceira com 40% de solo e 60% de agregado. O Apêndice B contém as tabelas referentes a essas dosagens de correção do solo com as respectivas percentagens de areia e silte + argila somados com o solo para cada agregado utilizado.

Por meio de uma regra de três foi possível determinar os teores de silte + argila e areia de cada mistura para as três dosagens. Na Tabela 8 encontram-se os teores estimados para cada dosagem de solo corrigido e também apresenta uma faixa com o teor indicado na literatura variando de 50% a 70% para areia e de 20% a 40% para o teor de silte + argila.

**Tabela 8 – Composição do solo corrigido para as diferentes dosagens**

<b>Dosagem</b>	<b>Correção</b>	<b>Areia %</b>	<b>Argila+silte %</b>	<b>Total %</b>
25% e 75%	Solo + Areia	74,30	25,70	100
	Solo + Cerâmica	70,74	29,60	100
30% e 70%	Solo + Areia	64,52	35,49	100
	Solo + Cerâmica	62,53	37,46	100
40% e 60%	Solo + Areia	55,44	44,56	100
	Solo + Cerâmica	53,74	46,25	100
<b>Valores indicados</b>		<b>50 – 70</b>	<b>20 – 40</b>	<b>-</b>

Fonte: Acervo pessoal (2018).

A definição da melhor dosagem foi feita observando qual das percentagens de areia e silte + argila para os dois agregados se enquadravam melhor na faixa de valores indicados. Assim, a dosagem mais adequada para a correção é de 30% de solo e 70% de agregado.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os valores aceitos pela NBR 10833 (2012) para o limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP), devem ser, respectivamente, menores ou iguais a 45% para LL e a 18% para o IP.

Os ensaios foram realizados primeiramente com o solo, na sequência utilizou-se a correção do solo com a areia natural (à esquerda na Figura 14) e resíduos de cerâmica (à direita na Figura 14).



**Figura 14 - Amostras de solo corrigido com areia natural e solo corrigido com RCD**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

#### 4.1.2 Limite de liquidez

O ensaio foi realizado no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco. A NBR 6459 de 1984 fornece o método de ensaio utilizado para a determinação do limite de liquidez. Esse valor representa o teor de umidade do solo quando ele passa do estado plástico para o estado líquido (CAPUTO, 1988).

Os resultados obtidos no ensaio do limite de liquidez do solo e o respectivo teor de umidade, assim como o gráfico que relaciona o número de golpes com o respectivo teor de umidade que gerou a equação  $Y = -0,9719X + 89,387$  encontram-se no Apêndice C. O teor de umidade para o limite de liquidez referente a 25 golpes foi de 67%.

Da mesma forma que se obteve os valores para o solo in natura foi realizado o ensaio do limite de liquidez para o solo corrigido com areia natural (Figura 15). Os valores deste ensaio também estão no Apêndice C e o teor de umidade correspondente ao LL obtido através da equação da reta  $Y = -23,923X + 542,41$  foi de 22%.



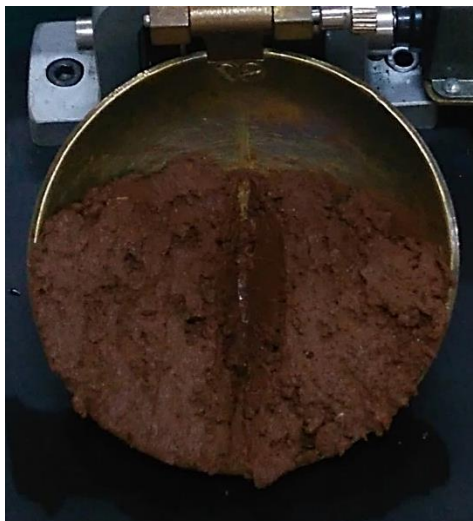
**Figura 15 - Ensaio de limite de liquidez do solo com areia natural**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Contudo, a mistura contendo solo com RCD apresentou uma elevada quantidade de grãos com diâmetro máximo característico (DMC) de 4,75mm, isso impossibilitou a determinação do limite de liquidez porque os grãos não permitiram abrir a ranhura com o cinzel (Figura 16). O limite de plasticidade também não foi executado em razão do diâmetro dos grãos, uma vez que é necessário fazer o cilindro ficar com diâmetro de 3mm.

Esse empecilho está previsto na NBR 6459 de 1984, a qual prevê que na impossibilidade de conseguir fazer a ranhura ou fazer o fechamento com mais de 25 golpes, a amostra é considerada como não apresentando um limite de liquidez. De forma análoga, na NBR 7180 de 2016, subentende-se que caso não seja possível

determinar o limite de liquidez ou de plasticidade, o índice de plasticidade é considerado como não plástico.



**Figura 16 - Ensaio de limite de plasticidade do solo com RCD**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

#### **4.1.3 Limite de plasticidade**

O ensaio de limite de plasticidade também foi realizado no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco. De acordo com Caputo (1988), a plasticidade é uma propriedade do solo que define a sua capacidade de ser moldado perante o efeito de uma determinada umidade.

As tabelas referentes ao ensaio de limite de plasticidade do solo sem correção (Figura 17) e com correção com areia natural (Figura 18) apresentam-se no Apêndice C. O valor referente ao limite de plasticidade para o solo foi obtido através da média dos três teores de umidade arredondando o valor para o número inteiro maior, obtendo assim um valor de 53%. Por fim, o teor de umidade referente ao limite de plasticidade do solo corrigido com areia determinado pela média dos resultados arredondado para o número inteiro maior é de 18%.

O índice de plasticidade foi determinado através da subtração do valor de limite de plasticidade do limite de liquidez, o mesmo apresentou uma percentagem de 14%. Conforme a classificação de Jenkins, solos com IP entre 1% e 7% são considerados fracamente plásticos, entre 7% e 15% são medianamente plásticos e IP

maior que 15% são altamente plásticos, mediante essas informações o solo é classificado como medianamente plástico (CAPUTO, 1988).



**Figura 17 - Ensaio de limite de plasticidade do solo**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 18 - Ensaio de limite de plasticidade do solo com areia natural**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

#### **4.1.4 Índice de plasticidade**

O índice de plasticidade (IP) é dado em porcentagem conforme a NBR 7180 (2016), é obtido através da diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). De acordo com a NBR 10833 (2012), o solo deve apresentar um índice de plasticidade menor ou igual a 18% para a fabricação de blocos de solo-cimento.

Sendo assim, o índice de plasticidade referente ao solo corrigido com areia natural é de 4%. Conseqüentemente o solo é, segundo a classificação de Jenkins, fracamente plástico e se enquadra na norma com os requisitos para fabricação de blocos de solo-cimento.

Os resultados da caracterização do solo in natura, do solo corrigido com areia natural e do solo corrigido com agregados cerâmicos, assim como a comparação com a norma encontram-se na Tabela 9. Os valores referentes ao material passante na



peneira 75µm são as percentagens obtidas do silte + argila do solo e da dosagem de 40% de solo e 60% de agregado miúdo referente ao solo + areia natural e solo + RCD.

**Tabela 9 - Resultados da caracterização do solo comparados com a NBR 10833/2012**

	<b>Solo</b>	<b>Solo + areia natural</b>	<b>Solo + RCD</b>	<b>Solo normativo</b>
Material passante peneira 4,75mm	100%	100%	100%	100%
Material passante peneira 75 µm	99%	44,56%	46,25%	10% – 50%
Limite de liquidez	67%	22%	-	≤ 45%
Índice de plasticidade	14%	4%	-	≤ 18%

Fonte: Acervo pessoal (2018); NBR 10833 (2013).

#### 4.3 AGLOMERANTE

O aglomerante utilizado no presente trabalho foi o CPII-Z da Itambé, por ser um cimento comum na região em que foi aplicado o estudo, além de ser indicado pela ABCP. Este, é um cimento composto, possui proporção de 94 – 76 de clínquer e gesso, contém material pozolânico (de 6 a 14%) e deve seguir a NBR 11578 (ABCP, 2002).

Conforme especificações técnicas disponibilizadas pelo fabricante, a Tabela 10 apresenta a resistência à compressão do cimento. Além disso, o fabricante garante que o composto pozolânico presente permite uma adequada secagem e trabalhabilidade, necessita de cura por no mínimo 7 dias (ITAMBÉ, 2018).

**Tabela 10 – Resistência à compressão do cimento**

<b>Idade (dias)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
1	11,9
3	25,3
7	31,9
28	41,9

Fonte: Itambé (2018).

#### 4.4 ÁGUA

Conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR 10833 (2013), a água utilizada na fabricação de blocos de solo-cimento deve ser isenta de impurezas que possam comprometer a hidratação do cimento. Nesta pesquisa, a água utilizada na dosagem do material é proveniente do abastecimento público.

#### 4.5 EXECUÇÃO DOS BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

##### 4.5.1 Escolha das dosagens

Para determinação da dosagem ideal para a fabricação de produtos de solo-cimento, a NBR 10833 (2013) recomenda escolher três traços diferentes, que devem ser ensaiados e comparados de forma a averiguar qual traço apresenta o melhor custo benefício. Todavia, como o objetivo dessa pesquisa é determinar a possibilidade de utilização de RCD na correção de solos argilosos para fabricação de blocos de solo-cimento, optou-se pela utilização de apenas uma dosagem.

A ABCP recomenda uma quantidade de cimento a ser empregada entre 5 a 10% da massa do solo da mistura, que deve ser o suficiente para estabilizar a mistura e conferir as propriedades necessárias.

Nesta pesquisa, foi escolhido a maior percentagem de cimento, correspondendo a 10% de cimento e 90% de solo corrigido. A quantidade de solo corrigido, em massa, foi definida com a dosagem inicial de 30% de solo e 70% de areia natural. Na sequência, por problemas executivos empregou-se a dosagem de 40% de solo e 60% de areia natural. No Apêndice D encontram-se detalhes sobre as quantidades adotadas em cada bloco.

##### 4.5.2 Mistura

Os materiais foram misturados de forma a apresentarem coloração homogênea, seguindo a sequência de solo mais agregado, coloca-se o cimento fazendo novamente o revolvimento da mistura. O solo-cimento corrigido com RCD apresenta-se na Figura 19 e o solo-cimento corrigido com areia natural encontra-se representado na Figura 17.



**Figura 19 - Mistura de solo-cimento corrigido com RCD**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 20 - Mistura de solo-cimento corrigido com areia**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Adicionou-se água com o auxílio de um borrifador até atingir a umidade ideal para a compactação. Para favorecer a homogeneização do material, após o revolvimento da mistura com a adição de água, foi realizada a fricção do material por entre as mãos como pode ser visto na Figura 21.



**Figura 21 - Homogeneização do material**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Na Figura 22 observa-se a diferença após esse procedimento: da metade da fôrma para trás o material já está homogeneizado e apresenta uma colocação mais escura e na parte da frente da forma encontra-se o material que ainda não passou pelo processo de fricção e possui uma colocação mais clara.



**Figura 22 - Diferença entre material homogeneizado por fricção**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

A determinação do teor de umidade ideal foi definida através de um método empírico chamado teste da mão. Nesse teste, toma-se uma quantidade de material, emprega-se força fechando-o dentro da mão, ao abrir o bolo formado deve apresentar as marcas dos dedos, como pode ser observado nas Figuras 23 e 25 e ao parti-lo ao meio o mesmo não pode se desintegrar, o que é constatado nas Figuras 24 e 26.



**Figura 23 - Teste da mão com a solo-cimento corrigido com areia**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 24 - Bolo partido sem fragmenta-lo de solo-cimento corrigido com areia**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 25 - Teste da mão com a solo-cimento corrigido com cerâmica**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 26 - Bolo partido sem fragmenta-lo de solo-cimento corrigido com cerâmica**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

### 4.5.3 Moldagem

A prensa utilizada mostrada na Figura 27, é da marca Mix Máquinas, modelo PTE-6000, caracterizada como manual e encontra-se no Laboratório Canteiro de Obras, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco, no Departamento de Engenharia Civil.



**Figura 27 - Prensa utilizada na moldagem dos blocos**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

A moldagem dos blocos de solo-cimento foi realizada através de uma prensa manual para blocos modulares e para padronização da pressão de compactação, optou-se em utilizar uma quantidade padrão, em massa, de material colocado na prensa. Para os blocos de solo corrigido com areia utilizaram-se 2700g de material, porém os blocos de solo corrigido com RCD, foi possível compactar os blocos com 2535g, essa diferença ocorreu porque utilizou-se a dosagem em massa e os RCD apresentam massa significativamente menor do que a areia natural.

A prensa manual apresenta como desvantagem a não uniformidade na aplicação da força para compactação, esse problema é decorrente de vários fatores, como por exemplo, da variação de material colocado no molde, da força aplicada pelo operador e da umidade da mistura.

Durante o processo de moldagem, ocorreram contratemplos, sendo eles referentes ao teor de umidade da mistura, a dosagem do material e problemas com a manutenção da prensa. É pertinente ressaltar que se iniciou a moldagem com os blocos de areia natural porque já era esperado que ocorresse uma elevada perda de material ocasionada principalmente pela quantidade de água ser determinada empiricamente. Esses impasses já eram esperados, porque nas pesquisas realizadas por Beutler (2017) e Vieira (2017), foram constatados problemas na retirada dos blocos.

Como citado anteriormente, inicialmente optou-se pela dosagem de solo corrigido com a percentagem de 30% de solo e 70% de agregados miúdos. A partir

desses valores adicionou-se o cimento e em seguida acrescentou-se a água de forma uniforme e homogeneizando bem a mistura. A água acrescentada foi feita em quantidades determinadas em massa, realizando-se o teste de mão até chegar ao melhor resultado.

Após vários incrementos de água e vários testes de mão para determinar o teor de umidade, atingiu-se uma coesão aceitável e foi realizada a moldagem de alguns blocos. Embora essa dosagem tenha ficado dentro da parcela indicada na literatura para os teores de areia e silte + argila, a mistura se mostrou pouco coesa impossibilitando a retirada do material da prensa, como pode ser observado na Figura 28. Com essa dificuldade, optou-se por aumentar a coesão da mistura alterando a quantidade de solo corrigido para a dosagem 40% de solo e 60% de agregado.



**Figura 28 - Bloco de solo-cimento pouco coeso**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Com a alteração da dosagem da mistura, observou-se o aumento de coesão da mistura e o aumento da resistência inicial dos blocos. Porém ainda precisou ser encontrado o teor de umidade ideal para essa dosagem. Na Figura 29 encontra-se um exemplo de problemas causados pelo teor de umidade inadequado.



**Figura 29 - Material descolado do bloco causado pelo teor de umidade inadequado**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Após atingir o teor de umidade ideal, foram moldados alguns blocos que se rompiam ao retirar da prensa ou ficavam com partes coladas no molde, contudo observou-se que o local da fratura ou descolamento de material se dava em um dos lados da máquina como exemplificado na Figura 30. Considerando essa constatação, notou-se que ela apresentava um desnível na parte do molde destinada a formar as reentrâncias, impossibilitando a compactação uniforme dos blocos.



**Figura 30 - Bloco moldado rompido no mesmo ponto**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Com isso, realizaram-se alguns ajustes no equipamento que, embora não tenham deixado o molde totalmente nivelado, permitiram a execução de alguns blocos para o presente estudo (Figura 31). Contudo, parte do macho dos blocos ainda ficavam presos na prensa.





**Figura 31 - Bloco solo-cimento corrigido com areia moldado**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Após a moldagem de 10 blocos de solo corrigido com areia natural, iniciou-se a moldagem dos blocos feitos com RCD. Inesperadamente, os blocos com RCD apresentaram uma elevada coesão se comparado com os blocos com areia natural. Se supõem que essa diferença na coesão inicial dos blocos ocorreu em virtude da aderência fornecida pelos resíduos cerâmicos na mistura. Em razão da facilidade de moldagem dos blocos com resíduos cerâmicos, foi possível executar 11 blocos. Na Figura 32 observa-se um dos blocos na prensa.



**Figura 32 - Bloco solo-cimento corrigido com RCD**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

#### 4.5.4 Cura

A NBR 10833 de 2013 indica que os blocos precisam ser mantidos úmidos nos 7 primeiros dias para garantir a cura necessária e após 14 dias é possível utilizá-los. Para tanto, os blocos foram colocados espaçados sob chapas de Madeirit, apresentado na Figura 33, umidificados com o auxílio de um borrifador por 6 dias e cobertos com uma lona para manter a umidade (Figura 34).



**Figura 33 - Blocos de solo-cimento moldados e colocados para curar**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 34 - Blocos cobertos com lona para preservar a umidade**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Devido a impossibilidade de umidificar os blocos no domingo, foi decidido colocar em cima dos blocos serragem úmida a fim de garantir a cura, situação observada na Figura 35. Essa serragem foi removida na segunda-feira e manteve-se a cura através do borrifador até completar os 7 dias.



**Figura 35 - Blocos com serragem umedecida para favorecer a cura**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

## 4.6 ENSAIOS

A norma que dispõe dos métodos de ensaio dos blocos de solo-cimento é a NBR 10836 (1994), com o auxílio dela é possível determinar a resistência à compressão e a porcentagem de absorção de água. Já a NBR 10834 (1994) preconiza os valores limites para a resistência a compressão e absorção de água. Além disso, a norma sugere que a idade mínima dos blocos deve ser de 7 dias.

### 4.6.1 Resistência à compressão

Para determinar resistência a compressão dos blocos de solo-cimento, deve-se assegurar que a prensa utilizada distribua uniformemente os esforços no bloco, também deve permitir a leitura das cargas aplicadas com uma tolerância de 2% para mais ou para menos para a carga máxima estimada para o ensaio.

A prensa hidráulica utilizada é do modelo PC 200, da marca EMIC (Figura 36) e encontra-se na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Laboratório de Materiais, do Departamento de Engenharia Civil. As idades de rompimento escolhidas para os blocos foram aos 14 e 28 dias. A idade de rompimento aos 14 dias foi escolhida pois a NBR 10.833 (2012) permite a utilização dos blocos após esse período. Os blocos que seriam rompidos aos 28 dias sofreram atraso de um dia, ou seja, foram rompidos na idade de 29 dias.



**Figura 36 - Prensa utilizada na determinação da resistência à compressão**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Com a finalidade de proporcionar a distribuição uniforme das cargas no bloco durante o ensaio com a prensa hidráulica, os blocos foram capeados nas duas faces de trabalho de forma a nivelar a superfície, etapa representada na Figura 37. Esse procedimento foi realizado nos blocos alguns dias antes de cada período previsto para o ensaio, visto que cada face deve ficar curando por 24 horas.



**Figura 37 - Blocos capeados nas duas faces de trabalho**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Além disso, conforme recomendações da NBR 10834 de 1994, os blocos devem ser ensaiados na pior condição, ou seja, devem estar saturados. Para tanto,

foram submersos em água 24 horas antes do ensaio, na Figura 38 verifica-se parte dos blocos submersos em um tanque. Após o período de saturação, os blocos foram submetidos ao ensaio como consta na Figura 39.



**Figura 38 - Blocos submersos antes do ensaio de resistência à compressão**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 39 - Bloco submetido ao ensaio de resistência**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

O equipamento utilizado fornece a carga resistente de cada bloco em kgf, essa carga deve ser multiplicada pela gravidade para obter uma força, esta força dividida pela área transversal fornece a tensão resistente de cada bloco. A área da seção transversal empregada no cálculo da resistência à compressão é obtida através da média da área das duas faces de trabalho. Os blocos foram moldados na mesma prensa que fornece a dimensão de 25cm x 12,5cm x 6,25cm e apresentavam uma área de 31250mm<sup>2</sup>.

#### 4.6.2 Absorção de água

Este ensaio foi realizado aos 28 dias de cura e também foram ensaiados no Laboratório de Materiais da UTFPR campus Pato Branco. A obtenção do valor de absorção é feita através da equação:

$$A\% = \frac{(M2 - M1)}{M1} \times 100$$

O ensaio da absorção de água pelos blocos iniciou-se com a secagem dos blocos em estufa a 105°C por 24 horas como ilustrado na Figura 40. Após a retirada da estufa os blocos foram identificados e pesados, determinando assim a massa seca (M1). Na sequência, foram colocados em um tanque de água por 24 horas (Figura 41). Posteriormente foram retirados da água do tanque, removendo o excesso de água com um pano úmido e logo em seguida foi aferido sua massa úmida (M2).



**Figura 40 - Blocos secando em estufa para o ensaio de absorção**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 41 - Blocos submersos em água para determinação da absorção**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

#### 4.7 CORREÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DE RCD PELO VOLUME DA AREIA NATURAL

Após a realização da moldagem e cura dos blocos, constatou-se a necessidade de readequar a quantidade de RCD na mistura. A massa específica da areia natural é de  $2,63 \text{ g/cm}^3$  e a massa específica do RCD é de  $1,64 \text{ g/cm}^3$ . A dosagem em massa fez com que na substituição da areia natural para o RCD o volume de RCD fosse maior, tornando os blocos menos resistentes após a cura pela elevada quantidade de grãos de RCD.

Para determinar o volume de RCD equivalente ao de areia natural, utilizou-se a relação da massa específica que é igual a massa dividida pelo volume. Como se sabia a massa específica da areia e a quantidade de areia na mistura em massa, determinou-se o volume referente a areia natural. Com o volume conhecido de areia e a massa específica do agregado de RCD obteve-se a massa de RCD para a mistura, a Tabela 11 apresenta os valores referentes à substituição de areia por RCD em volume.

**Tabela 11 – Substituição de areia por RCD em volume**

<b>Material</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>
Areia natural	2,63	1458	554,37
RCD	1,64	909,17	554,37

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Com a nova dosagem de RCD em volume e mantendo a quantidade em massa de cimento (270g) e solo (972g) moldou-se seis blocos com substituição da

areia por RCD. Três para ensaiar à resistência à compressão aos 28 dias saturado, dois para ensaiar à resistência à compressão aos 28 dias sem saturar e um para determinar à absorção de água. O rompimento dos blocos precisou ser feito aos 30 dias em decorrência de contratempos.

**Tabela 12 - Dosagem dos blocos com RCD em volume**

Cimento	Solo	RCD
270 g	972 g	909,17

Fonte: Acervo pessoal (2018).

A Figura 42 apresenta a mistura devidamente revolvida e com coloração homogênea de solo corrigido com o RCD em volume de areia natural e o cimento. Na Figura 43 estão os blocos moldados e deixados para curar em câmara úmida. Os blocos foram umidificados por cinco dias.



**Figura 42 - Mistura de solo-cimento com a correção do RCD pelo volume de areia natural**  
Fonte: Acervo pessoal (2018).

**Figura 43 – Blocos feitos com a correção do RCD pelo volume de areia natural**  
Fonte: Acervo pessoal (2018).

Para o ensaio de resistência à compressão, os blocos passaram pelo processo de capeamento a fim de nivelar a superfície e permitir a distribuição uniforme das cargas (Figura 44). Foi dada atenção especial aos cantos dos blocos pois apresentam arestas chanfradas e caso esses locais não sejam devidamente capeados podem interferir na resistência dos blocos. Na Figura 45 observa-se um bloco durante o ensaio de resistência à compressão.



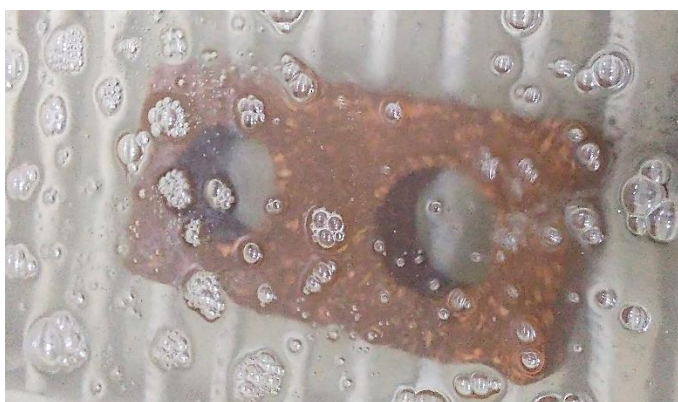


**Figura 44 - Capeamento dos blocos feitos com a correção do RCD em volume de areia**  
Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 45 - Ensaio de resistência à compressão do bloco com a correção de RCD em volume**  
Fonte: Acervo pessoal (2018).

O ensaio de absorção de água foi realizado com a secagem do bloco em estufa à 105°C por 24 horas, pesou-se o bloco e foi determinada a massa seca (M1). Na sequência o bloco foi colocado em um tanque de água por 24 horas (Figura 46) e após esse período o bloco foi pesado novamente e se obteve a massa úmida (M2).



**Figura 46 - Ensaio de absorção de água do bloco com o RCD corrigido**  
Fonte: Acervo pessoal (2018).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 RESULTADOS

#### 5.1.1 Resistência à compressão

Os valores apresentados na Tabela 13 referem-se as resistências à compressão dos blocos aos 14 dias. Os blocos não atenderam a resistência mínima recomendada pela NBR 10834 (1994) para a média de 2 Mpa, apresentando uma resistência média de 1,32 Mpa para os blocos com areia e 1,14 Mpa para os blocos com RCD.

**Tabela 13 - Resistência à compressão dos blocos com 14 dias**

Solo-cimento corrigido com areia			Resistência individual (Mpa)
Amostra	Carga (Kgf)	Resistência (Mpa)	
Blocos com areia natural	4180	1,34	
	3800	1,22	
	4340	1,39	
Solo-cimento corrigido com RCD			≥ 1,7
Amostra	Carga (Kgf)	Resistência (Mpa)	
Blocos com RCD	3560	1,14	
	3590	1,15	
	3550	1,14	

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Em uma pesquisa similar, Vieira (2017) produziu blocos de solo-cimento corrigidos com areia natural, o traço do solo-cimento escolhido pelo autor foi de 1:10 e a correção do solo com areia foi de 1:2, ou seja, uma parte de solo para duas partes de areia. O autor ensaiou os blocos sem saturar aos 7 dias e obteve a média das resistências à compressão em 3,67 Mpa.

Comparando os resultados, a média dos blocos corrigidos com areia desta pesquisa apresentou um valor muito inferior aos resultados de Vieira (2017), cerca de 35,97% menor. Essa variação pode ser justificada pela diferença das dosagens e do material utilizado, mesmo que o autor tenha utilizado areia natural a mesma apresentou uma granulometria diferente deste estudo. Pode ser observado no estudo de Vieira (2017) a grossa camada de capeamento dos blocos, o que também pode ter

contribuído na elevada resistência à compressão. Além disso, o autor não saturou os blocos, o que pode levar a uma diferença na resistência à compressão, visto que a saturação induz os resultados ao pior caso.

Definiu-se que para o ensaio aos 29 dias, parte dos blocos seriam ensaiados sem saturar. Na Tabela 14 encontram-se os valores referentes aos blocos rompidos aos 29 dias previamente saturados. A média da resistência dos blocos corrigidos com areia foi de 1,41 Mpa e para os corrigidos com RCD foi de 1,31 Mpa.

**Tabela 14 - Resistência à compressão dos blocos com 29 dias saturados**

<b>Solo-cimento corrigido com areia</b>			<b>Resistência individual (Mpa)</b>
<b>Amostra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	
Blocos com areia	4570	1,46	<b>≥ 1,7</b>
	4250	1,36	
	4400	1,41	
<b>Solo-cimento corrigido com RCD</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	
Blocos com RCD	4300	1,38	
	4260	1,36	
	3740	1,20	

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Observa-se na Tabela 15, os valores das amostras aos 29 dias sem saturação. Os blocos apresentaram média de 2,03 Mpa para os blocos com areia e 2,26 Mpa para os blocos com RCD, ambos se enquadrando no mínimo exigido pela norma de 2 Mpa.

**Tabela 15 - Resistência à compressão dos blocos com 29 dias sem saturar**

<b>Solo-cimento corrigido com areia</b>			<b>Resistência individual (Mpa)</b>
<b>Amostra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	
Blocos com areia	6230	1,99	<b>≥ 1,7</b>
	6480	2,07	
<b>Solo-cimento corrigido com RCD</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	
Blocos com RCD	7280	2,33	
	6830	2,19	

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Os blocos ensaiados saturados, mesmo após 29 dias, não alcançaram a resistência média e individual mínimas indicadas pela norma. Todavia, os blocos ensaiados sem serem submersos em água alcançaram a resistência determinada pela norma tanto para a média como para os valores individuais. Contudo, ainda apresentaram valores inferiores ao da pesquisa de Vieira (2017).

Por fim, os blocos ensaiados à compressão aos 30 dias depois da correção da substituição do RCD pelo volume de areia natural, apresentaram a resistência média de 1,9 MPa para os blocos saturados e 2,45 MPa para os blocos ensaiados sem saturação. Os resultados das resistências individuais e a comparação com a norma estão na Tabela 16.

**Tabela 16 - Resistência à compressão dos blocos com correção da substituição de RCD com 30 dias**

<b>Blocos saturados</b>			<b>Resistência individual (Mpa)</b>
<b>Amostra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	
1	5790	1,85	
2	5490	1,69	
3	6570	2,10	
<b>Blocos sem saturação</b>			<b>≥ 1,7</b>
<b>Amostra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	
1	7430	2,38	
2	7900	2,53	

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Comparando os resultados médios da resistência à compressão dos blocos com a correção do RCD pelo volume da areia natural e os blocos feitos sem a correção do volume de RCD que foram respectivamente 1,31 MPa para os blocos saturados e 2,26 MPa para os blocos sem saturação. Percebe-se que houve um acréscimo na resistência à compressão dos blocos com a correção da substituição do RCD pelo volume de areia natural.

### **5.1.2 Absorção de água**

Conforme recomendação da NBR 10834 (1994), os valores de absorção individual devem ser menores que 22% e o valor da média deve ser menor que 20%.

Como indicado na Tabela 17 a absorção individual e a média dos blocos, foi superior que o máximo permitido, tanto para os blocos com areia como para os blocos com RCD.

**Tabela 17 – Absorção de água dos blocos de solo-cimento**

Solo-cimento corrigido com areia				
Amostra	M1 (g)	M2 (g)	Absorção (%)	Absorção máxima individual
Blocos com areia	2428,4	2988,1	23,05	
	2392,4	2958,1	23,65	
Solo-cimento corrigido com RCD				
Amostra	M1 (g)	M2 (g)	Absorção (%)	≤ 22%
Blocos com RCD	2091,4	2797,4	33,76	
	1917,0	2636,4	37,53	
	1884,3	2549,9	35,32	

Fonte: Acervo pessoal (2018).

A média da absorção das amostras compostas de areia natural foi de 23,35% e das amostras com RCD foi de 35,54%. Conforme Bauer (2008), a distribuição granulométrica afeta diretamente a permeabilidade do produto final, teoricamente os blocos com RCD, por apresentarem distribuição contínua bem graduada deveria absorver menos que os blocos com areia que possui granulometria uniforme. Essa discrepância pode ser explicada em razão da elevada absorção de água da cerâmica se comparado com a areia natural.

Outro fator que pode ter interferido na absorção, como já mencionado anteriormente, é a diferença da massa específica dos materiais utilizados, a cerâmica apresenta-se mais leve que a areia natural e representou um volume maior na mistura se comparado com a mistura de areia, desta forma afetando as características do produto final.

A Tabela 18 apresenta a absorção de água para o bloco moldado com a correção da substituição de RCD pelo volume de areia natural apresentou um teor de absorção de 31,79%. Representando um decréscimo em comparação aos blocos com RCD sem a correção em volume que apresentaram uma absorção de 35,54%, porém ainda não atenderam à norma. Essa melhora na absorção dos blocos indica que novas pesquisas deverão ser desenvolvidas de forma a melhorar esse parâmetro.

**Tabela 18 – Absorção de água dos blocos com a substituição de RCD corrigida**

<b>M1 (g)</b>	<b>M2 (g)</b>	<b>Absorção (%)</b>	<b>Absorção máxima individual</b>
2172,3	2862,9	31,79	≤ 22%

Fonte: Acervo pessoal (2018).

## 5.2 DISCUSSÕES

Como mencionado, a pesquisa não buscou definir o melhor traço, mas sim os limites de incorporação de RCD na fabricação de blocos solo-cimento. A definição do traço ideal implicaria em ensaiar diversas dosagens de RCD e granulometrias diferentes buscando o melhor custo benefício.

Encontrar o traço ideal poderia permitir a obtenção de resultados mais satisfatórios que atendessem aos requisitos na norma, não apenas para a resistência à compressão e absorção, mas também as exigências de qualidade dos blocos, como por exemplo, possuir arestas vivas ou chanfradas e não apresentar fissuras, fraturas ou outros defeitos que sejam capazes de afetar o assentamento, a resistência e a durabilidade da alvenaria (NBR 10834, 1994).

Neste trabalho, os blocos com areia natural e RCD atingiram à resistência à compressão mínima de 2 MPa apenas aos 28 dias sem saturar, sendo 2,03 MPa a média dos blocos de areia natural e 2,26 MPa a média dos blocos com RCD. Já a resistência média à compressão dos blocos saturados foi de 1,41 MPa para os blocos com areia e 1,31 MPa para os blocos com RCD. A absorção de água para os blocos com areia natural e RCD ultrapassaram o limite da norma de 22% para a média dos resultados, porém os blocos de areia natural ficaram mais próximos ao exigido com 23,35% em comparação com os blocos com RCD com a média de absorção de 35,54%. Após a correção da substituição do RCD pelo volume de areia natural a resistência à compressão dos blocos saturados ficou em 1,9 MPa e os blocos sem saturação em 2,45 MPa, a absorção dessa nova dosagem de RCD apresentou 31,79%. Na Tabela 19 constam esses valores em comparação aos requisitos da norma.

**Tabela 19 - Resultados de resistência à compressão aos 28 dias e absorção de água**

<b>Blocos</b>	<b>Resistência à compressão saturados 28 dias (MPa)</b>	<b>Resistência à compressão sem saturação 28 dias (MPa)</b>	<b>Absorção</b>
Blocos com areia natural	1,41	2,03	23,35%
Blocos com RCD	1,31	2,26	35,54%
Blocos com RCD corrigidos pelo volume de areia natural	1,90	2,45	31,79%
<b>Referência normativa</b>	<b>≥ 2,00</b>	<b>≥ 2,00</b>	<b>≤ 20%</b>

Fonte: Acervo pessoal (2018).

No trabalho desenvolvido por Souza, Segatini, Pereira (2008) incorporaram resíduos de construção civil na fabricação de solo-cimento, com três dosagens de cimento e adição do resíduo no solo-cimento foi feita em quantidades de 20%, 40% e 60%. No ensaio de resistência à compressão todos os tijolos feitos com adição de RCD atenderam a resistência média exigida pela norma de 2,0 MPa. A absorção de água dos tijolos se manteve com menos de 20% atendendo a norma. Concluíram que os resíduos de concreto empregados na pesquisa melhoraram as propriedades mecânicas dos corpos de prova, possibilitando um fim mais nobre aos RCD.

Na pesquisa desenvolvida por Pinto (2015) empregou resíduos de argamassa de construção civil na fabricação de blocos de solo-cimento. No estudo empregou-se um traço de 1:8 e 1:10 de cimento e solo, porém devido à dificuldade em retirar os blocos moldados da prensa o traço 1:8 se mostrou impraticável. Os resultados obtidos para a resistência à compressão não foram satisfatórios comparados com os exigidos pela norma, isso pode ter ocorrido porque o rejeito de argamassa apresentava grumos que deveriam ter sido melhor processados antes de ser incorporado na mistura.

O estudo de Lima e Alexandre (2006), adotaram um traço de 1:10 de solo-cimento e avaliaram 30 blocos. Os autores obtiveram resultados satisfatórios quanto a absorção e à resistência à compressão e reafirmaram a necessidade de se utilizar uma quantidade maior de cimento quando o solo for argiloso.

Os resultados deste trabalho não foram satisfatórios considerando os limites de resistência à compressão e absorção de água indicados em norma, porém foi possível determinar os limites para a substituição de areia natural pelo RCD na correção de solos argilosos. Consideração os resultados das pesquisas citadas acima,

nem todos os autores conseguiram atingir os valores indicados em norma, mesmo assim não desencorajaram a utilização de RCD na fabricação de blocos de solo-cimento.

Neste trabalho, os blocos com substituição de areia natural por RCD submetidos ao ensaio de resistência à compressão apresentaram forma de rompimento semelhante aqueles compostos por material convencional. A ruptura ocorreu nas extremidades, implicando a separação de material de forma lamelar como pode ser verificado na Figura 42 e Figura 43 para os blocos com areia natural e Figura 44 e Figura 45 para as amostras com RCD.



**Figura 47 - Bloco com areia sem saturação após o rompimento**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 48 - Ruptura do bloco com areia saturado**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 49 - Bloco com RCD sem saturação após o rompimento**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 50 - Detalhe da fratura no bloco com RCD**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



Após a correção da substituição do RCD pelo volume de areia natural os blocos apresentaram características semelhantes nas fraturas, isso pode ser observado nas Figuras 51 e 52. Ressalta-se que a propriedade de coesão inicial dos blocos identificada com a substituição do RCD pela massa de areia, não foi identificada nos blocos com a correção da substituição do RCD pelo volume de areia.



**Figura 51 - Blocos corrigidos com RCD corrigido em volume sem saturação após o rompimento**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 52 – Bloco corrigido com RCD corrigido em volume saturado após o rompimento**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Uma análise direcionada a estrutura dos blocos e as características do rompimento demonstraram que a camada externa dos blocos apresentava uma resistência maior que a interna, a parte interna apresentava pouca resistência se desagregando facilmente ao toque (Figura 53), ocorrência que pode indicar a não uniformidade na compactação dos blocos.



**Figura 53 - Detalhe da parte rompida do bloco corrigido com areia**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Os blocos feitos com RCD se desagregavam significativamente ao toque mesmo na camada externa, isso pode ter sido ocasionado pela presença de grãos com diâmetros maiores que 2,4mm o que torna o aspecto dos blocos mais rústico como indicado na Figura 54.

Outro processo pertinente às propriedades mecânicas e visuais dos blocos seria o aprimoramento do processo de moagem do RCD buscando atingir a granulometria do RCD passantes na peneira 2,4 mm que poderá reduzir à desagregação dos blocos causada pelo elevado valor do DMC da cerâmica moída. Com essa redução na granulometria o elemento referente ao macho nos blocos poderá ser melhor moldado, diferente do defeito de moldagem indicado na Figura 55. Também seria relevante a utilização de prensas hidráulicas que fornecem maior pressão e uniformidade na compactação.



**Figura 54 - Detalhe dos grãos do bloco com RCD**

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 55 – Aparência dos blocos fabricados com RCD**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

As diferenças visuais nesse estudo podem ter sido provocadas pela diferença nas características dos agregados miúdos empregados para a correção do solo. Segundo Bauer (2008), os agregados naturais, representada pela areia utilizada, apresentam a forma do grão cuboide, com superfície arredondada e lisa. Já os agregados industrializados, onde se enquadram os RCD de origem cerâmica deste estudo, oferecem grãos com superfície muito irregular e angulosa. A diferença nas características dos grãos ocasiona uma variação na trabalhabilidade da mistura o que pode favor a compactação dos blocos com areia natural por possuir um formato cuboide.

Outro aspecto relevante, trata-se da massa específica do material. A massa específica é a relação entre a massa de um material pelo seu volume (BAUER, 2008). Esta pesquisa foi realizada através de dosagens dada em percentagem de uma massa total por bloco sem considerar a água nessa percentagem inicial. Com isso, por a cerâmica apresentar uma massa específica menor que a areia natural, houve uma diferença no volume de agregado miúdo empregado nas amostras.

A dosagem do cimento, característica do solo, teor de umidade, compactação da mistura e a cura interferem diretamente na qualidade do produto final. Além disso, a utilização de cal como aglomerante pode proporcionar resultados mais satisfatórios uma vez que é mais indicado para fabricação de solo-cimento feitos com solos argilosos (BAUER, 2010).

O emprego de outro aglomerante não descarta a utilização de RCD na fabricação dos blocos de solo-cimento, uma vez que ao serem processados, apresentam características de areia grossa, agindo como um material de enchimento, reduzindo a quantidade de cal ou cimento utilizado para aglomerar os grãos menores característicos dos solos argilosos (Apud MACHADO; ARAÚJO, 2014).

O levantamento dessas informações, assim como o estudo do traço ideal, poderá possibilitar o emprego desses resíduos de construção civil para a correção de solos argiloso na fabricação de produtos oriundos de solo-cimento.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das características fundamentais para a fabricação em grande escala dos blocos de solo-cimento é a agilidade na retirada dos blocos da prensa após a moldagem. Neste estudo constatou-se que os blocos fabricados com areia natural na correção dos solos argilosos, apresentaram pouca resistência após a prensagem e isso afetou diretamente na quantidade final dos blocos produzidos com areia natural. A substituição do RCD pela massa de areia natural facilitou a retirada dos blocos recém moldados da prensa. Contudo, os blocos moldados com a correção da substituição do RCD pelo volume de areia se mostraram tão pouco resistentes quanto os blocos feitos com areia natural. Essa capacidade de manusear os blocos sem fragmentá-los está relacionada a coesão inicial proporcionada pelo RCD de origem cerâmica, porém se substituído em pequenas quantidades essa propriedade deve ser desprezada.

A norma que rege os requisitos de resistência à compressão dos blocos de solo-cimento recomenda que eles sejam ensaiados aos 28 dias de idade e estejam submetidos à pior situação, ou seja, saturados previamente em água. Os blocos produzidos com areia natural e RCD não se enquadraram no valor mínimo indicado por norma para a média das resistências dos blocos. Porém, os blocos de solo-cimento moldados após a correção da substituição do RCD pelo volume de areia natural se enquadraram nos valores individuais mínimos exigido pela norma, ficando pouco abaixo do limite mínimo para a média dos resultados. Os valores da resistência à compressão dos blocos de solo-cimento com RCD, tanto antes como após a correção da substituição do RCD pelo volume de areia natural, se enquadraram nos valores indicados em norma sem a saturação prévia dos blocos. Mesmo que os blocos com RCD não tenham apresentado valores satisfatórios em relação a resistência à compressão, alcançaram valores superiores aos blocos com areia natural.

O ensaio de absorção de água realizado nos blocos com areia natural e com substituição por RCD ultrapassaram os limites indicados em norma. No entanto é relevante comentar que o bloco com RCD após a correção da substituição pelo volume de areia, apresentou um teor de absorção de água inferior aos blocos com substituição do RCD por massa de areia.

O potencial de substituição de areia natural por RCD para a correção dos solos argilosos na fabricação dos blocos de solo-cimento, pode ser constatado pelo

acréscimo da resistência à compressão e pela facilidade no manuseio dos blocos recém moldados. Contudo, são necessários novos estudos que identifiquem a dosagem ideal do RCD. Também, indica-se a avaliação das propriedades de resistência à compressão e absorção de água para misturas que utilizem a cal como aglomerante, uma vez que a cal é indicada para estabilização dos solos argilosos. Por fim, o emprego do RCD passante pela peneira 2,4 mm e a moldagem em prensa hidráulica poderão contribuir para as propriedades de resistência à compressão e absorção de água.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Caracterização dos materiais utilizados;
- Estudo do traço ideal;
- Comparação de blocos produzidos com cal e com cimento;
- Avaliação da incorporação de outro RCD;
- Utilização de diferentes moldes;
- Utilização de prensa hidráulica;
- Melhorar o processo de moagem dos resíduos de construção civil.

## REFERÊNCIAS

ABCP. **Solo-cimento**: aplicações. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>>. Acesso em: 26 out. 2017.

ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**: Boletim técnico. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p.

ABNT. **NBR 6.457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. **NBR 6.459**: Solo – Determinação do limite de liquidez: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. **NBR 7.180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. **NBR 7.180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. **NBR 10.004**: Classificação de resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 10.833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. **NBR 10.834**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural: especificações. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. **NBR 10.835**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – forma e dimensões: Padronização. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. **NBR 10.836**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

ABRECON (São Paulo). Associação Brasileira Para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. 2018. Disponível em: <<http://abrecon.org.br/quem-somos/>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

ALROMA (Palmas). Maquinas Para Tijolos Ecológicos. **Prensa automática**. 2018. Disponível em: <<http://www.alroma.com.br/maquina/7/prensa-automatica>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

AMORIM, L.v. et al. Reciclagem de Rejeitos de Cerâmica Vermelha e da Construção Civil para Obtenção de Aglomerantes Alternativos. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 5, n. 4, p.35-46, Jul/Ago, 2000. Bimestral.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**: vol 1. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 471 p.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**: vol. 2. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010. 538 p.

BRAGATTO, Rosane D. et al. Indicadores ambientais de sustentabilidade sistematizados pelo modelo pressão estado-resposta (PER): análise de águas superficiais na microbacia hidrográfica Passo da Pedra, em Pato Branco – PR. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [s.i.], v. 7, n. 2, p.87-103, 15 jun. 2012.

BEUTLER, Cheila Sirlene. **Estudo da adequabilidade do uso de areia de fundição e cimento supersulfatado em blocos de solo-cimento**. 2017. 108f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

CAMENAR, Mariana Thays; SCHEID, Melquior Forgiarini. **Análise do sistema de gestão de resíduos da construção civil**: estudo de caso no município de pato branco - pr. 2016. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

CONSTRUNORMAS. Editora PINI. **Blocos e tijolos de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural**. Disponível em: <<http://construnormas.pini.com.br/engenharia-instalacoes/vedacoes-revestimentos/blocos-e-tijolos-de-solo-cimento-para-alvenaria-sem-funcao-estrutural-341162-1.aspx>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: fundamentos. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1988. 234 p.

CIMENTO MONTES CLAROS (Brasil). Lafarge Holcim. **Solo cimento**: como fazer uma obra sustentável e mais barata. 2017. Disponível em: <<https://cimentomontesclaros.com.br/solo-cimento/>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

CONAMA. Resolução nº 307: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002.

DALLACORT, Rivanildo et al. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial de cimento Portland por resíduo cerâmico moído. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p.511-518, 2002.

ISAIA, Geraldo Cechella (Comp.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2017.

ITAMBÉ. **CP II-Z-32**: Cimento Portland composto com pozolana. 2018. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-ii-z-32/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

LEROY MERLIN. **Tijolo ecológico**: material de construção sustentável reduz custos de acabamento sem abrir mão do design. 2017. Disponível em:

<<https://www.leroymerlin.com.br/dicas/tijolo-ecologico-material-de-construcao-sustentavel-reduz-custos-de-acabamento-sem-abrir-mao-do-design>>. Acesso em: 26 out. 2017.

LIMA, Joyce Cavalcante de et al. A viabilidade da utilização de tijolos de solo cimento na construção sustentável. **Encontro de Iniciação Científica: ETIC**, Presidente Prudente, p.1-10, 2015.

LIMA, T. V.; ALEXANDRE, J. Estabilização de três solos argilosos para a produção de blocos ecológicos (solo-cimento). In: encontro nacional de tecnologia no ambiente construído XI, 2006, Florianópolis. **Encontro**. Florianópolis: Entac, 2006. p. 4168 - 4177.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach et al. Panorama atual do setor de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. In: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, XVI. São Paulo: Entac, 2016. p. 4247 - 4267.

MACHADO, Amanda Ozório; ARAÚJO, Joice Andrade de. Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de ETA e Resíduos da Construção Civil. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, XI, 2014. **Simpósio**. Resende: SEGET.  
MARQUES NETO, José da Costa. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: Rima, 2004. 164 p. (ISBN 8576560437).

MF RURAL (Marília). **Tijolo ecológico**. 2012. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/detalhe/tijolo-ecologico-solo-cimento-104899.aspx>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva et al. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **E-xacta: Editora UniBH**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p.13-26, 2014.

PINTO, Lucas Mazzoleni. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil**. 2015. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

RECRIAR COM VOCÊ (Brasil). **Alvenaria de solo-cimento**. 2015. Disponível em: <[http://www.recriarcomvoce.com.br/blog\\_recriar/alvenaria-de-solo-cimento/](http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/alvenaria-de-solo-cimento/)>. Acesso em: 08 jun. 2018.

ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. Os resíduos sólidos de construção e demolição: gerenciamento, quantificação e caracterização. Um estudo de caso no distrito federal. Brasília - DF: Universidade de Brasília, 2006. 174 p.

SAHARA (São Paulo). Grupo Aguilar. **Máquinas para tijolos ecológicos solo-cimento**. 2018. Disponível em: <<https://www.sahara.com.br/produtos/maquinas-para-tijolos-solo-cimento.php>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

SILVA, Laize A. de S.; LAFAYETTE, Kalinny P. V. Avaliação das propriedades do Resíduo da Construção Civil (RCC) como subsídio para confecção de tijolos de solo-



cimento. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Pernambuco, v. 2, n. 1, p.278-281, 2016.

SILVEIRA, Paulo Edison Martins da; NOBREGA, Carlos Alberto. Aplicação do resíduo de construção e demolição em solo – cimento. **Holos Environment**, v. 5, n. 2, p.152-169, 4 jun. 2005.

SOUZA, Márcia I. B.; SEGANTINI, Antonio A. S.; PEREIRA, Joelma A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p.205-212, 2008.

SOARES, Felipe dalla Nora et al. Durabilidade de concretos com uso de resíduos da construção civil (RCC) como substituição parcial do agregado miúdo. In: seminário de iniciação científica, 2017, Ijuí. **Salão do conhecimento**. Ijuí: Unijuí, 2017. p. 1 - 5.

VIEIRA, Gustavo Henrique Veronese. **Avaliação De Blocos De Solo-Cimento Utilizando O Solo De Pato Branco Corrigido Com Areia Natural Ou Areia De Britagem**. 2017. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – Tabelas com os resultados dos ensaios de granulometria da areia natural e dos RCD cerâmicos**

**Tabela 20 – Granulometria da areia natural**

<b>Abertura peneira (mm)</b>	<b>Percentual retido (%)</b>	<b>Percentual retido acumulado (%)</b>	<b>Percentual passante (%)</b>
4,75	0,57	0,57	99,43
2,4	1,19	1,77	98,23
1,2	2,98	4,74	95,26
0,6	9,08	13,92	86,08
0,3	30,35	44,27	55,73
0,15	47,35	91,62	8,38
0,075	7,11	98,73	1,27
Fundo	1,27	100,00	0,00
Total	99,90	-	-

Fonte: Acervo pessoal (2018).

**Tabela 21 - Granulometria do RC**

<b>Abertura peneira (mm)</b>	<b>Percentual retido (%)</b>	<b>Percentual retido acumulado (%)</b>	<b>Percentual passante (%)</b>
<b>4,75</b>	10,21	10,21	89,79
<b>2,4</b>	35,06	45,27	54,73
<b>1,2</b>	19,26	64,53	35,47
<b>0,6</b>	13,28	77,81	22,19
<b>0,3</b>	5,84	83,66	16,34
<b>0,15</b>	5,20	88,86	11,14
<b>0,075</b>	5,13	93,99	6,01
<b>Fundo</b>	6,01	100,00	-
<b>Total</b>	100,00		

Fonte: Acervo pessoal (2018).

## APÊNDICE B – Tabelas das concentrações de areia e silte + argila para as diferentes composições

**Tabela 22 - Concentração de areia e argila+silte para a composição 25% solo e 75% de agregado**

<b>Materiais</b>	<b>Areia (g)</b>	<b>Silte + Argila (g)</b>	<b>Total (g)</b>
Solo	0,75	74,25	75
Areia	222,14	2,86	225
Cerâmica	211,48	13,52	225
Solo + Areia	222,89	77,11	300
Solo + Cerâmica	212,2	87,78	300

Fonte: Acervo pessoal (2018).

**Tabela 23 - Concentração de areia e argila+silte para a composição 30% solo e 70% de agregado miúdo**

<b>Materiais</b>	<b>Areia (g)</b>	<b>Silte + Argila (g)</b>	<b>Total (g)</b>
Solo	0,90	89,10	90
Areia	192,65	17,37	210
Cerâmica	186,69	23,29	210
Solo + Areia	193,55	106,47	300
Solo + Cerâmica	187,6	112,39	300

Fonte: Acervo pessoal (2018).

**Tabela 24 - Concentração de areia e argila+silte para a composição 40% solo e 60% de agregado miúdo**

<b>Materiais</b>	<b>Areia (g)</b>	<b>Silte + Argila (g)</b>	<b>Total (g)</b>
Solo	1,20	118,80	120
Areia	165,13	14,89	180
Cerâmica	160,02	19,962	180
Solo + Areia	166,33	133,69	300
Solo + Cerâmica	161,2	138,76	300

Fonte: Acervo pessoal (2018).

## **APÊNDICE C – Resultados dos ensaios de limite de liquidez e plasticidade do solo natural e solo corrigido**

O ensaio do limite de liquidez consiste na utilização de um equipamento chamado Casagrande (Figura 56), no qual é colocado em seu prato côncavo uma quantidade de amostra de solo umedecida e homogeneizada, com diferentes teores de umidade. É feito um corte no meio da amostra com o auxílio de um cinzel. Em seguida, aplica-se os golpes através da manivela do aparelho e quando as bordas inferiores do corte feito na amostra forem fechadas em 1 cm, anota-se o número de golpes que foram aplicados.



**Figura 56 - Aparelho Casagrande e cinzel**

Fonte: Acervo próprio (2018).

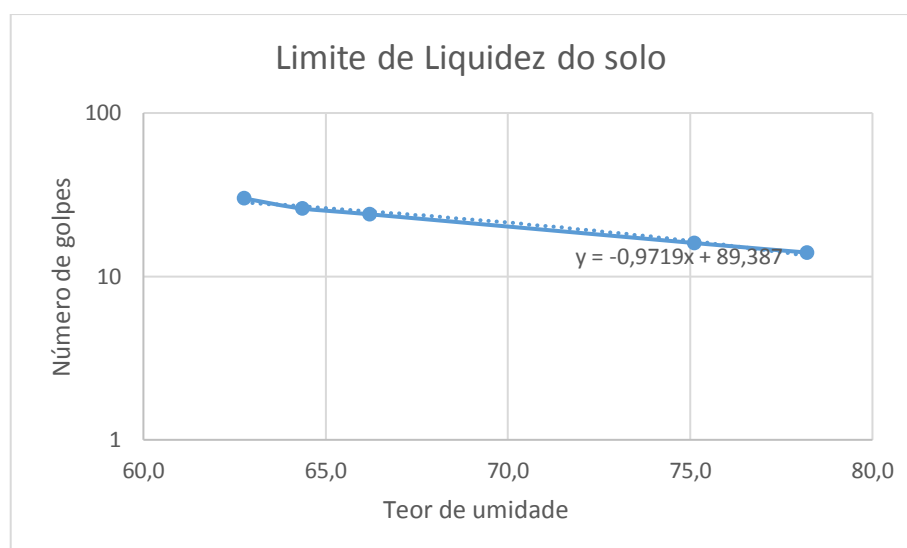
Para cada teor de umidade utilizado para aplicar os golpes, retira-se uma pequena amostra para determinação do teor de umidade, que deve ser feito conforme orientações da NBR 6457 (2016). A norma sugere obter pelo menos 5 pontos de umidade atendendo o intervalo entre 35 e 15 golpes.

Com os resultados do número de golpes necessários para cada teor de umidade, elabora-se um gráfico ajustando uma reta pelos pontos obtidos. Com a equação da reta (Figura 57), é determinado o limite de liquidez do solo através teor de umidade relativo a 25 golpes expresso em porcentagem.

**Tabela 25 - Limite de liquidez do solo**

Amostra	Número de golpes	Massa úmida - M1 (g)	Massa seca - M2 (g)	Massa tara - M3 (G)	Teor de umidade (%)
1	30	32,59	28,689	22,47	<b>62,77</b>
2	26	19,01	14,9	8,52	<b>64,37</b>
3	24	19,52	15,792	10,16	<b>66,21</b>
4	16	20,99	16,785	11,18	<b>75,12</b>
5	14	21,01	16,47	10,66	<b>78,20</b>

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Figura 57 - Gráfico com a equação da reta do LL do solo**

Fonte: Acervo pessoal (2018).

No ensaio para determinar o limite de plasticidade, seguindo as diretrizes da NBR 7180 (2016), coloca-se uma amostra de solo em uma capsula de porcelana, em seguida adiciona-se água destilada aos poucos enquanto a mesma é homogeneizada de forma vigorosa e continua. Quando obter uma pasta de consistência plástica, toma-se aproximadamente 10g do material moldando em forma de uma bola, na sequência sobre uma placa de vidro, rola ela com a palma da mão, deixando em forma de um cilindro.

Esse cilindro deve obter o tamanho e diâmetro do gabarito, que é de 3mm de diâmetro e um comprimento de 100mm, transfere-se ele imediatamente para uma capsula metálica previamente pesada e determina-se a umidade conforme a norma

6457. É necessário repetir o procedimento três vezes. Caso o cilindro se fragmente antes de atingir o diâmetro de 3mm, a amostra deve ser colocada novamente na capsula para adicionar mais água destilada e posteriormente fazer um novo cilindro.

**Tabela 26 - Limite de plasticidade do solo**

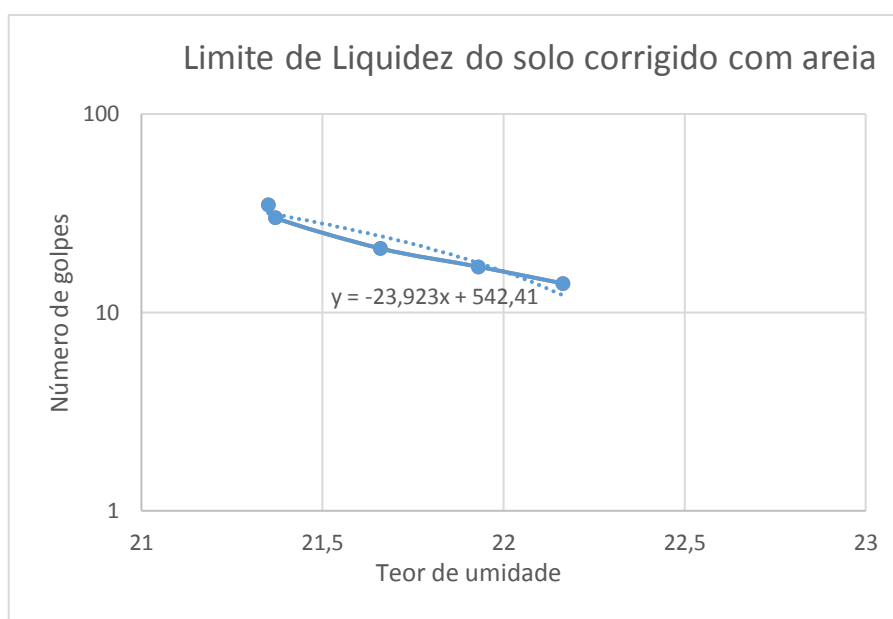
Amostra	Massa úmida - M1 (g)	Massa seca - M2 (g)	Massa tara - M3 (g)	Teor de umidade (%)
1	24,623	24	22,90	<b>56,84</b>
2	24,725	23,9	22,268	<b>50,55</b>
3	24,983	24,4	23,226	<b>49,66</b>

Fonte: Acervo pessoal (2018).

**Tabela 27 - Limite de liquidez do solo corrigido com areia**

Amostra	Número de golpes	Massa úmida - M1 (g)	Massa seca - M2 (g)	Massa tara - M3 (g)	Teor de umidade (%)
1	35	31,96	30,51	23,72	<b>21,35</b>
2	30	29,06	28,06	23,38	<b>21,37</b>
3	21	33,65	31,82	23,37	<b>21,66</b>
4	17	26,84	26,09	22,67	<b>21,93</b>
5	14	30,72	29,47	23,83	<b>22,16</b>

Fonte: Acervo pessoal (2018).



**Tabela 28 - Limite de plasticidade do solo corrigido com areia**

<b>Amostra</b>	<b>Massa úmida - M1 (g)</b>	<b>Massa seca - M2 (g)</b>	<b>Massa tara - M3 (g)</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
1	30,14	29,77	27,81	<b>18,70</b>
2	25,78	25,51	23,94	<b>17,16</b>
3	29,67	29,45	28,17	<b>17,28</b>

Fonte: Acervo pessoal (2018).



## APÊNDICE D – Dosagens do solo-cimento

**Tabela 29 - Dosagem solo corrigido (90%) e cimento (10%)**

<b>Massa por bloco (g)</b>	<b>Cimento (g)</b>	<b>Solo corrigido (g)</b>
2535	253,5	2281,5
2700	270,0	2430,0

Fonte: Acervo pessoal (2018).

**Tabela 30 – Correção de 60% de areia e 40% de solo**

<b>40% Solo e 60% Areia</b>	<b>Total (g)</b>	<b>Solo (g)</b>	<b>Agregado Miúdo (g)</b>
Solo + cerâmica	2281,5	912,6	1368,9
Solo + areia	2430,0	972	1458,0

Fonte: Acervo pessoal (2018).

## ANEXO

### ANEXO A – Relatório da análise granulométrica do solo



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Pato Branco  
Laboratório de Solos UTFPR  
Rodovia PR 469, Km 01. Cx.Postal 571 - 85501-970  
Telefone: (46) 3220 2539 Pato Branco - PR  
TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ



### LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS

**Solicitante:** Jéssica Filipe

Curso: Engenharia Civil / UTFPR-PB

**Amostra:** Solo - 05P

**Profundidade:** 0 a 50 cm

#### Resultado da Análise de Física do Solo

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
05P	80,0	19,0	1,0

Para maiores esclarecimentos consulte um Engenheiro Agrônomo.

De acordo com a Instrução Normativa nº 2, de 09 de outubro de 2008, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, este solo é classificado como do **TIPO 3**

Este resultado representa a amostra enviada pelo interessado.

Pato Branco, 29 de Março de 2018