



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Michelly Silva Menezes

USO DO PÓ DE SERRAGEM COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA  
BLOCOS DE CONCRETO DE VEDAÇÃO: análise do desempenho  
térmico.

Palmas - TO  
2017

Michelly Silva Menezes

USO DO PÓ DE SERRAGEM COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA  
BLOCOS DE CONCRETO DE VEDAÇÃO: análise do desempenho  
térmico.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II)  
elaborado e apresentado como requisito  
parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas  
(CEULP/PALMAS).

Orientadora: M. Sc. Maria Carolina de  
Paula Estevam D'Oliveira

Palmas - TO  
2017

Michelly Silva Menezes

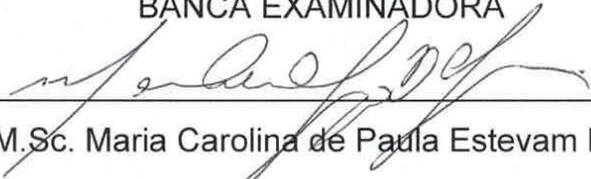
USO DO PÓ DE SERRAGEM COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA  
BLOCOS DE CONCRETO DE VEDAÇÃO: análise do desempenho  
térmico.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II)  
elaborado e apresentado como requisito  
parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas  
(CEULP/PALMAS).

Orientadora: M. Sc. Maria Carolina de  
Paula Estevam D'Oliveira

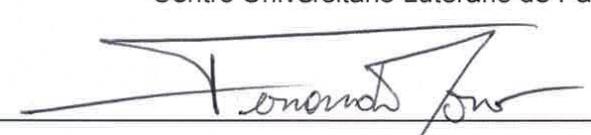
Aprovada em \_\_/\_\_/2017

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. M.Sc. Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas



---

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior  
Centro Universitário Luterano de Palmas



---

Prof. D.Sc. Ângela Ruriko Sakamoto  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que em sua infinita bondade não me deixou desistir, embora a luta fosse árdua e o caminho um pouco doloroso.

Aos meus pais José Braz e Maria Elizabete que me incentivaram, acreditaram e acima de tudo investiram na minha formação profissional. Tudo que sou e tudo que virei a ser é fruto do ensinamento deles. Agradeço ainda pela compressão nos momentos difíceis desta e de outras caminhadas e por eles, assim como minha irmã Marcela Menezes não terem me deixado faltar nada durante esses anos de estudo.

Agradeço ao meu namorado Alef Junior por me motivar, me alegrar e me ajudar nos momentos mais difíceis, pois foi ele que segurou minha mão e me levantou na ausência física dos meus pais.

Agradeço também a professora e orientadora M.Sc Maria Carolina que me acolheu e compartilhou os seus conhecimentos para que fosse possível a criação deste trabalho, obrigada por ter me acalmado sempre e me mostrado as possíveis soluções.

Aos meus colegas e amigos que de uma forma ou outra me tranquilizaram e ajudaram a prosseguir, sem esquecer as demonstrações de carinho que foram importantes em muitos momentos.

E por fim agradeço de forma geral aos professores pelo incentivo e ensinamentos ao longo dessa jornada de formação profissional.

## RESUMO

MENEZES, Michelly Silva. **USO DO PÓ DE SERRAGEM COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA BLOCOS DE CONCRETO DE VEDAÇÃO: análise do desempenho térmico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas – TO, 2017.

Com a atualização da ABNT NBR 15575 (2013) as exigências para o desempenho térmico das edificações ficaram mais rigorosas, visto que os componentes do sistema construtivo, especificamente nesse caso os blocos, absorvem uma parcela considerável das radiações solares, por conseguinte essa absorção acaba aumentando a temperatura térmica das edificações.

Este trabalho possibilitou a quantificação da resistência à compressão dos blocos de concreto através da ABNT NBR 6136 (2016) que foram moldados com substituição parcial do agregado miúdo por pó de serragem com intuito de aproveitar os resíduos sólidos provenientes da madeira e ao mesmo tempo garantir sustentabilidade a edificação. A substituição do resíduo pelo agregado convenientemente empregado tomou como base o trabalho realizado por Dantas Filho (2004), adotando três diferentes teores de substituição em cima de um traço padrão já empregado por determinada fábrica de blocos de concreto na cidade de Palmas – TO. Entretanto, após os primeiros procedimentos obteve-se resultados insatisfatórios para a resistência dos blocos de concreto, comprometendo portanto a continuação do trabalho e a completa mensuração do conforto térmico. Ainda assim, foi efetuado os cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica através da ABNT NBR 15220 (2005) cuja finalidade foi obter conhecimento mínimo sobre o desempenho dos blocos, já que os mesmos são constituídos por resíduos madeireiros e a madeira é considerada bom isolante térmico.

Palavras-chave: desempenho térmico, blocos de concreto, pó de serragem, sustentabilidade, resistência.

## ABSTRACT

MENEZES, Michelly Silva. **USE OF SAW POWDERS AS ALTERNATIVE MATERIAL FOR CONCRETE FENCES: thermalperformanceanalysis.** Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, University Center Lutheran Palmas, Palmas - TO, 2017.

With the update of ABNT NBR 15575 (2013) the requirements for the thermal performance of the buildings became more rigorous, since the components of the construction system, specifically in this case the blocks, absorb a considerable part of the solar radiation, therefore this absorption ends up increasing The thermal temperature of the buildings.

This work made it possible to quantify the compressive strength of concrete blocks through ABNT NBR 6136 (2016), which were molded with partial replacement of the small aggregate by sawdust powder in order to take advantage of the solid residues from the wood and at the same time guarantee sustainability The building. The substitution of the residue by the suitably employed aggregate took as its basis the work done by Dantas Filho (2014), adopting three different substitution contents over a standard trait already used by a particular concrete block factory in the city of Palmas. However, after the first procedures, unsatisfactory results were obtained for the strength of concrete blocks, thus compromising the continuation of work and the complete measurement of thermal comfort. Nevertheless, the calculations of thermal resistance, thermal transmittance and thermal capacity were carried out through ABNT NBR 15220 (2005), whose purpose was to obtain minimum knowledge about the performance of the blocks, since they are wood residues and wood is considered Good thermal insulation.

Keywords: thermal performance, concrete blocks, sawdustpowder, sustainability, resistance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pó de serragem. ....	21
Figura 2: Utilização de garrafas PET e serragem nos blocos.....	26
Figura 3: Blocos Isopet e EPS. ....	27
Figura 4: Fluxo da radiação solar do meio externo para o meio interno. ....	30
Figura 5: Fluxo das etapas metodológicas. ....	33
Figura 6: Agregado miúdo e agregado graúdo.....	34
Figura 7: Pó de serragem sendo tratado com cal. ....	36
Figura 8: Bloco vazado de concreto. ....	38
Figura 9: Misturador. ....	38
Figura 10: Esteira para transporte do concreto. ....	39
Figura 11: Vibro prensa e blocos moldados.....	39
Figura 12: Armazenamento dos blocos de concreto após a confecção.....	40
Figura 13: Cura dos blocos de concreto.....	41
Figura 14: Tamanho da amostragem.....	42
Figura 15: Requisitos para resistência à compressão, absorção e retração.....	42
Figura 16: Análise granulométrica do agregado miúdo. ....	47
Figura 17: Análise granulométrica do agregado graúdo.....	48
Figura 18: Resultados de resistência a compressão do traço referência. ....	53
Figura 19: Médias das resistências à compressão no traço referência. ....	53
Figura 20: Limite superior e inferior dos dados do traço padrão aos 7 dias.....	54
Figura 21: Limite superior e inferior dos dados do traço padrão aos 14 dias.....	55
Figura 22: Limite superior e inferior dos dados do traço padrão aos 28 dias.....	55
Figura 23: Resultados de resistência a compressão no traço de 30%. ....	56
Figura 24: Médias das resistências à compressão na substituição de 30% ....	57
Figura 25: Limite superior e inferior dos dados do traço de 30% aos 7 dias.....	58
Figura 26: Limite superior e inferior dos dados do traço de 30% aos 14 dias. ....	58
Figura 27: Limite superior e inferior dos dados do traço de 30% aos 28 dias. ....	59
Figura 28: Resultados de resistência a compressão no traço de 40%. ....	60
Figura 29: Médias das resistências à compressão na substituição de 40%. ....	60
Figura 30: Limite superior e inferior dos dados do traço de 40% aos 7 dias.....	61
Figura 31: Limite superior e inferior dos dados do traço de 40% aos 14 dias. ....	62

Figura 32: Limite superior e inferior dos dados do traço de 40% aos 28 dias. ....	62
Figura 33: Resultados de resistência a compressão no traço de 50%. ....	63
Figura 34: Médias das resistências à compressão na substituição de 50%. ....	64
Figura 35: Limite superior e inferior dos dados do traço de 50% aos 7 dias.....	64
Figura 36: Limite superior e inferior dos dados do traço de 50% aos 14 dias. ....	65
Figura 37: Limite superior e inferior dos dados do traço de 50% aos 28 dias. ....	66
Figura 38: Médias obtidas nas três substituições e nas três idades.....	67
Figura 39: Bloco em perspectiva.....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vida útil de projeto.....	28
Tabela 2: Traço empregado na fabricação dos blocos de concreto de vedação .....	40
Tabela 3: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas .....	44
Tabela 4: Resistência térmica superficial interna e externa .....	44
Tabela 5: Determinação granulométrica do agregado miúdo.....	46
Tabela 6: Determinação granulométrica do agregado graúdo .....	47
Tabela 7: Determinação da massa unitária do agregado miúdo .....	48
Tabela 8: Determinação da massa unitária do agregado graúdo.....	49
Tabela 9: Determinação da massa específica do agregado miúdo.....	49
Tabela 10: Determinação da massa específica do agregado graúdo .....	50
Tabela 11: Distribuição granulométrica do pó de serragem .....	50
Tabela 12: Determinação da massa unitária do agregado miúdo .....	51
Tabela 13: Médias alcançadas em todas as idades e substituições .....	66
Tabela 14: Resistência térmica dos blocos de concreto do traço padrão .....	70
Tabela 15: Capacidade térmica dos blocos de concreto do traço padrão .....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
EPS	Poliestireno Expandido
NEI	Núcleo de Empreendedorismo e Inovação
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	Poli (Tereftalato de Etileno)
PIB	Produto Interno Bruto
RCC	Resíduos Sólidos da Construção Civil
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. OBJETIVOS .....	14
1.1.1. Objetivo Geral .....	14
1.1.2. Objetivos Específicos .....	14
1.2. JUSTIFICATIVA .....	14
1.3. PROBLEMA .....	15
1.4. HIPÓTESE .....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1. SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO VERDE .....	17
2.1.1. Sustentabilidade na construção civil .....	18
2.2. MADEIRA .....	19
2.3. RESÍDUOS MADEIREIROS.....	20
2.3.1. Geração do pó de serragem.....	21
2.3.2. Pó de serragem como resíduo .....	22
2.3.3. Propriedades da madeira .....	23
2.4. BLOCOS DE CONCRETO .....	23
2.4.1. Concreto.....	24
2.4.1.1. Cimento .....	24
2.4.1.2. Agregado.....	25
2.5. BLOCOS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS.....	26
2.6. NBR 15575 (2013) EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - DESEMPENHO .....	27
2.7. DESEMPENHO TÉRMICO .....	29
2.7.1. Transferência de calor do meio externo para o meio interno .....	30
3. METODOLOGIA.....	32
3.1. APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO .....	32
3.2 MATERIAIS .....	34
3.2.1. Cimento Portland.....	34
3.2.2. Agregado miúdo e graúdo .....	34
3.2.2.1. Granulometria.....	35
3.2.2.2. Massa unitária .....	35
3.2.2.3. Massa específica.....	35

3.2.3. Pó de serragem como agregado .....	35
3.2.3.1. Tratamento do pó de serra .....	36
3.2.3.2. Granulometria da serragem.....	36
3.2.3.3. Massa unitária da serragem .....	37
3.2.3.4. Massa específica da serragem.....	37
3.2.4. Água .....	37
3.3. FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO .....	37
3.4. DOSAGEM DO CONCRETO .....	39
3.5. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	41
3.5.1. Cura do concreto .....	41
3.5.2. Resistência à compressão dos blocos de concreto.....	41
3.6. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO .....	43
3.6.1. Resistência, transmitância e capacidade térmica do sistema .....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO .....	46
4.1.1. Determinação granulométrica .....	46
4.1.2. Determinação da massa unitária.....	48
4.1.3. Determinação da massa específica .....	49
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM .....	50
4.2.1. Determinação granulométrica .....	50
4.2.2. Determinação da massa unitária.....	51
4.2.3. Determinação da massa específica .....	51
4.3. CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO NO ESTADO ENDURECIDO .....	52
4.3.1. Determinação da resistência à compressão.....	52
4.3.1.1. Traço referência .....	52
4.3.1.2. Traço com substituição de 30% do agregado por pó de serragem .....	56
4.3.1.3. Traço com substituição de 40% do agregado por pó de serragem .....	59
4.3.1.4. Traço com substituição de 50% do agregado por pó de serragem .....	63
4.3.1.5. Considerações .....	66
4.4. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO .....	68
4.4.1. Resistência térmica .....	68
4.4.2. Transmitância térmica .....	71
4.4.3. Capacidade térmica.....	71

5. CONCLUSÃO.....	74
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
ANEXOS .....	81
APÊNDICE .....	83

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aprofundamento de estudos a cerca de construções verdes a sociedade deu maior importância aos materiais utilizados no setor da construção, assim como o impacto dos mesmos sobre a natureza. Então antes de optar por um determinado produto e um sistema construtivo é necessário analisar os aspectos técnicos, econômicos e ecológicos. Dessa forma o Núcleo de Empreendedorismo e Inovação (NEI) do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA) busca ao longo dos anos realizar estudos para construção da ECOVILLA que tem como um dos objetivos desenvolver novos produtos para o mercado da construção.

A partir de então surge à preocupação com a grande geração de resíduos sólidos, provenientes tanto da construção como das indústrias, em específico a madeireira. Segundo Tuoto (2009) é gerado anualmente uma grande quantidade de resíduos de madeira no Brasil, entretanto apenas uma pequena minoria é aproveitada economicamente, socialmente ou ambientalmente.

Avalia-se que no Brasil a geração de resíduos provenientes da madeira esteja em torno de 30 milhões de toneladas por ano, o que conseqüentemente instiga a necessidade de reaproveitar este material. Após o processamento da madeira e serragem das toras surge um material fino comumente chamado de pó de serragem que se acumula ao longo do processo e se torna sem utilidade, pois de acordo com Gonçalves, Sartori e Leão (2009) a oferta de resíduos é muito maior que a demanda e o material passa a não ter um destino específico.

Dessa forma o pó de serragem torna-se opção para estudos que busquem justificar o seu emprego no concreto, já que ele é um recurso natural e renovável, além de ser versátil e apresentar um baixo consumo energético. Segundo a Revista Madeira (2008) uma das propriedades físicas da madeira é apresentar baixa condutividade para calor, o que permite concluir que a mesma age melhor como isolante do que como condutora, sendo, portanto ponto relevante para sua inserção no concreto.

Devido a essa baixa condutividade a madeira é aplicada em alguns casos específicos na construção civil, dentre eles cita-se a utilização da mesma quanto ao conforto térmico em habitações. E com intuito de contribuir com a qualidade de vida e diminuir o custo das edificações opta-se por inserir esse material nas construções

em mutirão, com vista na sustentabilidade e no menor impacto possível ao meio ambiente.

Com vista no que foi enumerado sobre a madeira, o presente trabalho irá analisar a substituição parcial do agregado por pó de serragem na confecção de blocos de concreto de vedação.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Analisar os blocos de concreto de vedação compostos por pó de serragem em substituição parcial ao agregado, de acordo com a viabilidade técnica e o desempenho térmico, como material alternativo no traço de construções verdes para comunidades de baixa renda caracterizadas por um sistema de mutirão.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Reutilizar resíduos sólidos da indústria madeireira;
- Definir o traço ideal marcado pela substituição do agregado por pó de serragem na confecção de blocos de concreto, através de ensaios físicos;
- Confeccionar blocos de concreto de vedação com substituição parcial de agregado miúdo por pó de serragem;
- Fazer a caracterização do pó de serragem como material de construção;
- Avaliar o material alternativo escolhido com vista na melhoria do conforto térmico das edificações.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

A geração de resíduos sólidos seja na construção civil como na indústria madeireira induz a elaboração de estudos com intuito de melhorar a destinação dos resíduos produzidos. Segundo o engenheiro ambiental Anders (2016), em entrevista

a Revista CREA-TO, o uso adequado dos recursos naturais assim como a destinação adequada dos resíduos originados é o que irá desenvolver a sustentabilidade.

Anualmente é gerado um grande volume de resíduos proveniente da madeira, dentro os quais apenas uma pequena parcela é aplicada em outras vertentes. Dessa forma o pó de serra que tem como processo final de descarte a sua combustão, torna-se um material alternativo para ser utilizado em substituição parcial do agregado miúdo na elaboração de blocos de construções de baixa renda, já que pode ser facilmente encontrado. E como Dantas Filho (2004) afirma, recuperar o resíduo da madeira como pó de serra empregando-o em outros processos é uma solução mais eficiente para o seu destino final.

Além do mais de acordo com Macedo (2008) o desenvolvimento de um novo material, cuja composição é o resíduo de madeira, como matéria-prima repercute de maneira positiva em vários âmbitos, ao tornar possível a reciclagem, a agregação de valor e por consequência uma destinação adequada aos resíduos. Sendo assim, o mesmo utilizado nas construções verdes em sistema de mutirão além de garantir a qualidade de vida, irá reduzir o custo dos materiais e diminuir a quantidade de resíduos sem utilidade.

As construções verdes surgem então com o propósito de utilizar materiais e métodos que reduza os impactos ambientais. Diante disso se torna necessário identificar materiais que por ventura venha melhorar o conforto de famílias de baixa renda, cujo alicerce parte do tripé da sustentabilidade, onde devem ser atendidas as questões sociais, ambientais e econômicas.

### 1.3. PROBLEMA

Quando surge o intuito de construir em mutirão observa-se a necessidade de economia dos moradores e de praticidade na hora da construção, já que a mão de obra empregada não é totalmente qualificada e por vezes é limitada a alguns dias da semana. Nesse contexto a problemática é a utilização de um material alternativo que venha contribuir com a poupança das famílias de baixa renda, assegurando a elas a comodidade, a rapidez na execução e principalmente a economia.

Além disso, existe a necessidade de reutilizar os resíduos sólidos provenientes da indústria madeireira com vista nas construções verdes,

empregando-os no concreto com meta na obtenção de maior conforto térmico das edificações. O estudo em questão abordará as vertentes climáticas da região de Palmas, que conforme pesquisa realizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia, em 2014 registrou temperaturas acima de 40 graus.

Dessa forma a elevada temperatura da região aliada à necessidade de um material alternativo que vise à economia, induz um estudo pra averiguar se a substituição parcial do agregado nos blocos de concreto garantirá o conforto térmico e a qualidade de vida dos moradores.

Diante disso, como a substituição parcial do agregado por pó de serragem na confecção de blocos de concreto de vedação poderá ajudar na redução dos resíduos madeireiros, assim como melhorar o conforto térmico das edificações?

#### 1.4. HIPÓTESE

Como hipótese para o trabalho em estudo, tem-se que:

- Parte do desconforto das residências das comunidades de baixa renda é ocasionado pela elevada temperatura no interior das mesmas;
- A adoção do material a ser avaliado vai minorar a transferência de calor do exterior para o interior;
- O uso de materiais originados de resíduos sólidos aplicados como material alternativo diminuirá o custo das construções;
- E a reutilização de resíduos contribuirá com a sustentabilidade e consequentemente minorará o impacto ambiental ocasionado pelo descarte dos mesmos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO VERDE

A ideia de sustentabilidade e os seus primeiros conceitos começaram a surgir ainda em 1972 na Conferência das Nações Unidas a cerca do meio ambiente, na cidade de Estocolmo na Suíça. No qual membros da Organização das Nações Unidas (ONU), representantes governamentais e da sociedade organizada discutiram assuntos ligados à degradação ambiental (REVISTA CREA TOCANTINS, 2016).

Mas o primeiro conceito para terminologia “desenvolvimento sustentável” surgiu em torno da década de 80 através do Relatório de Brundtland, envolvendo temas relacionados à construção civil. Neste relatório era proposto como desenvolvimento sustentável aquele capaz de atender as necessidades dos tempos atuais sem prejudicar as necessidades futuras (CORRÊA, 2009).

O conceito de sustentabilidade faz referência a uma busca de soluções e/ou novas políticas governamentais que busquem reduzir os impactos ambientais ocasionados pelo desenvolvimento social, tais como a poluição, a limitação dos recursos naturais e outros. Segundo Boff (2012) a sustentabilidade pode ser medida pela prática de conservação do capital natural, permitindo que o mesmo se refaça e enriqueça as futuras gerações.

Entretanto a sustentabilidade vai além de um termo em moda, visto que a sua aplicabilidade tem como intuito preservar o meio ambiente e garantir os recursos naturais. Diante disso para um empreendimento ser considerado sustentável ele deve ser: ecologicamente correto, economicamente viável e culturalmente aceito. Sendo assim as práticas relacionadas ao termo é incorporada aos poucos no dia a dia (CRISTINA, SIMOES, GARCEZ, 2011).

A sustentabilidade é uma das questões mais importantes da atualidade devido a humanidade ter consumido grande parte do que a natureza tinha a oferecer, e em troca desse consumo gerou resíduos. Tais ações misturadas ao consumo desenfreado dos recursos, e a geração de resíduos sólidos, além de outros, causaram grandes efeitos negativos ao meio, que de maneira geral só pode se renovar com um baixo nível de consumo (SLOAN, LEGRAND E CHEN, 2013).

Muitas organizações após a difusão do conceito de sustentável começaram a se preocupar com a poluição, ao ponto de reavaliar o processo produtivo na busca da obtenção de uma tecnologia limpa, assim como do reaproveitamento dos resíduos. Tal fato acabou possibilitando grandes economias, que podem partir tanto da redução de custos quanto do incremento de receitas (CLARO, AMANCIO, CLARO, 2008).

De acordo com a Revista Crea Tocantins (2016) uma das soluções para se construir de maneira sustentável são os chamados “selos verdes”, desenvolvidos com intuito de avaliar os impactos, além de serem relevantes por estimularem os construtores a produzir de maneira correta ambientalmente. Porém para obtenção do mesmo é preciso atender alguns requisitos, como por exemplo: reduzir a poluição na construção e a destruição da camada de ozônio, obter uma eficiência energética para os prédios e seus sistemas e prever no layout das construções um local para coleta de lixo.

### **2.1.1. Sustentabilidade na construção civil**

Uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil está sob a responsabilidade da indústria da construção civil, decorrente do seu produto final, o que conseqüentemente revela um grande consumo de matéria-prima e por sua vez uma vasta geração de resíduos sólidos (SOUZA et al, 2015).

Diante disso estima-se que boa parte dos resíduos gerados pela atividade humana seja oriunda da indústria da construção civil. Como exemplo cita-se o modelo de construção adotado no Brasil, que por vezes ocasiona muitos prejuízos ambientais, já que além de empregar matéria-prima não renovável e consumir em grande escala energia, é também responsável por grande parte de geração de entulhos dentro da sociedade (ROTH; GARCIAS, 2009).

Segundo Cristina, Simões e Garcez (2011) a construção civil é uma atividade que exerce um impacto ambiental e conseqüentemente o desafio do setor passa a ser construir minimizando os conflitos com o meio ambiente. Ou seja, existe a possibilidade de construir com materiais e tecnologias que garantam e melhore a qualidade de vida do morador sem prejudicar em massa a natureza, garantindo a obra o princípio de sustentabilidade. Logo, construção sustentável é aquela que

diminui os impactos com aproveitamento dos recursos, além de minimizar a geração de resíduos, racionalizar a utilização de energia e aplicar materiais alternativos ou novos processos que economize água e energia.

Em relação ao Brasil cerca de 90% dos resíduos sólidos originados da obra poderiam ser reciclados, ainda mais pelo fato da sua contínua geração. Diante disso a reciclagem dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCC) passa a ter uma importância tanto financeira quanto ambiental, ao considerar que os mesmos possam voltar para a obra substituindo matérias-primas que possivelmente seriam extraídas do meio ambiente. A partir de então o ideal seria que o reuso e a reciclagem fizesse parte do cotidiano de todas as obras (LIMA; LIMA, 2009).

Porém em relação às recomendações sobre gestão e o aproveitamento dos RCC é importante destacar que as mesmas não estão baseadas em tecnologias de ponta, mas sim ao emprego dos mesmos através da reutilização, com intuito de afetar cada vez menos o meio ambiente, além de proporcionar um retorno financeiro (FERREIRA, NOSCHANG E FERREIRA, 2009).

O estágio mais elevado de construção sustentável pode ser tido como aquele que vise a sua própria autossuficiência e sua auto sustentabilidade. Dessa forma Corrêa (2009) destaca que a noção de construir de maneira sustentável deve fazer parte de todo o ciclo de uma obra, desde a sua percepção até a sua possível demolição. Para isso tem-se como opção adotar novas tecnologias, no qual através de agentes de inovação pode-se obter uma oferta de novos materiais ou equipamentos, visto que a base para a sustentabilidade ligada à construção está em ajustar os ganhos ambientais aos sociais e econômicos.

## 2.2. MADEIRA

A madeira é considerada como um material orgânico, visto que sua composição química é composta por carbono (C) e heterogênea devido a todas as variedades, desde os tipos até os componentes básicos. Além disso, pode ser caracterizada como um material anisotrópico, por conta dos diferentes comportamentos (GARCEZ, SANTOS, GATTO, 2013).

Segundo Matoski (2005) como a madeira é de origem natural, a mesma apresenta características singulares, já que se trata de um material de natureza

complexa, além de ser higroscópico, fibroso, poroso, biodegradável, renovável, entre outros aspectos.

Quando se pensa na utilização da madeira é necessário estar atento as suas características físicas e químicas, já que estas podem influenciar diretamente no produto final, principalmente porque nem todas as espécies reagem de forma favorável com o cimento Portland (ALBERTO, et al. 2000).

De acordo com Rocha (2004) para reutilização dos resíduos madeireiros como materiais secundários é necessário fazer a caracterização física e química do mesmo e os prováveis riscos ambientais, assim como estudar a sua aplicação dentro da obra, avaliando seus impactos e a viabilidade econômica.

### 2.3. RESÍDUOS MADEIREIROS

Segundo o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, na Resolução nº 307 (2002) existem quatro classificações distintas para os resíduos da construção civil, denominadas em: Classe A, Classe B, Classe C e Classe D. Na primeira se enquadra os resíduos que podem ser reciclados ou reutilizados, tais como tijolos, blocos, telhas e outros. A segunda classe engloba aqueles que serão reciclados para outros destinos, como por exemplo, o plástico, o papelão, os metais, a madeira e afins. A terceira classe trata dos resíduos que ainda não possuem tecnologia ou aplicação economicamente viável para sua possível reciclagem e reutilização, como o gesso. E por fim a quarta classe abrange os resíduos considerados perigosos, especificamente as tintas, solventes, óleos e etc. Essa classificação propicia o manuseio mais eficiente dos resíduos, assim como auxilia no emprego deles como material alternativo.

As indústrias ligadas à base florestal são capazes de gerar grandes quantidades de resíduos, provenientes desde a exploração florestal até a manufatura do produto final. Destes, estima-se que quase 50% do volume considerado como original das toras acaba virando resíduos. De acordo com Buehlmann (2002) os resíduos de madeira podem ser contaminados facilmente quando em contato e/ou misturado com outros resíduos, o que por consequência dificulta a sua reciclagem.

Tuoto (2009) estima que o Brasil produz cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos anualmente e que a indústria madeireira é responsável por 91% desses resíduos. Dessa forma com a produção da madeira conseqüentemente é gerada uma quantidade considerável de resíduos dentre eles: a serragem, a maravalha, cavacos e outros.

### 2.3.1. Geração do pó de serragem

Segundo Dantas Filho (2004) o resíduo é considerado como a sobra de qualquer material após ser submetido a uma ação ou a um processo produtivo. Sendo assim os resíduos ligados a serragem de madeira sempre foi tido como um material produzido em abundância e com pouca utilização. Após a serragem das toras e o processamento da madeira gera-se um insumo denominado como pó de serragem que fica acumulado nas serrarias e nos canteiros de obras.

A serragem pode ser tida como aquele material oriundo da ação mecânica de serras e maquinas de desbaste da madeira. Ressalva-se ainda que para cada tipo de equipamento ou serra existirá um resíduo peculiar, que de forma geral poderá ser classificado como sobras finas ou grossas. As sobras finas são formadas por pó de serra com diferentes tamanhos de partícula, figura 1, já as sobras grossas são constituídas por lascas, maravalha, cavacos e outros (SILVA, 2011).

Figura 1: Pó de serragem.



Fonte: Pinterest, 2016.

### 2.3.2. Pó de serragem como resíduo

Zoldan e Lima (2012) ressaltam que os dados referentes aos resíduos gerados são bem significativos, com destaque os relacionados à madeira, que tem se mostrado cada vez maior e conseqüentemente tem ocasionado a exploração em massa da mesma podendo ocasionar por sua vez uma possível escassez.

O processo de queima assim como o descarte final ainda é uma das únicas opções de uso para o pó de serragem, entretanto sabe-se que estes processos ambientalmente são bastante prejudiciais, já que a combustão, por exemplo, resulta na remoção de oxigênio da atmosfera e conseqüentemente na liberação de vapor e gás carbônico. Dessa forma a reutilização e a possível recuperação dos resíduos relacionados à indústria madeireira é a maneira mais eficaz pra resolver o transtorno relacionado ao destino final desse componente (DANTAS FILHO, 2004).

Os resíduos gerados e denominados como pó de serra ou serragem são compostos por materiais oriundos de fontes renováveis. Sendo assim ao ser aplicado como substituição parcial do agregado pode atender as ideias de reciclagem e reutilização, além de tornar os novos compostos melhores como isolantes térmicos, visto que a madeira apresenta uma baixa condutividade (STANCATO, BURKE E PAULON, 2001).

Vitoriano e Felipe (2009) afirmam que o processamento correto da madeira é capaz de reduzir consideravelmente a geração de resíduos. Além disso, propicia a reutilização e a reciclagem desse material, através da transformação do mesmo em novas matérias-primas, capaz de produzir uma gama de produtos com excelente qualidade, isto é, a utilização dos resíduos de madeira é uma das soluções para a busca por novos materiais.

Para esse material ser utilizado na confecção de argamassa ou ainda de concreto, é feito um peneiramento com intuito de manter cada resíduo da madeira no tamanho de um grão de areia que é comumente utilizado nos processos convencionais. Usar dessa a forma a serragem em substituição, total ou parcial, a areia, de início parece algo dispensável, entretanto ao ser feita uma análise com vista às regras normativas o resultado pode ser impressionante e economicamente viável (ARRUDA, SILVA E MARTINEZ, 2012).

### 2.3.3. Propriedades da madeira

De acordo com Matoski (2005) existe uma preocupação quanto a compatibilidade entre o cimento e a madeira, visto que a última apresenta, em maior ou menor quantidade variando pela espécie, carboidratos, glucosídeos e componentes fenólicos que por sua vez agem diretamente no retardamento da pega do cimento, podendo até inibir a mesma. Além disso, segundo o mesmo autor a alcalinidade em grande escala do cimento quando dissolvido em água acaba diminuindo a resistência da madeira, e que por consequência para garantir a compatibilidade entre os dois componentes é feito tratamentos com intuito de reduzir a presença de extrativos.

Segundo Rocha (2004) a madeira apresenta componentes como a hemicelulose, os açúcares, taninos e lignina que podem afetar a cura, assim como a resistência dos compósitos a base de cimento-madeira. Os açúcares, por exemplo, têm efeito de retardador, já que os mesmos formam elementos organometálicos sobre as partículas de cimento e retardam a hidratação do material. Já os carboidratos podem-se depositar na rede de cristalização e afetar negativamente tanto a cristalinidade quanto a resistência. E assim como outros autores, Rocha (2004) afirma que para a obtenção de um produto adequado deve-se submeter a madeira a um tratamento específico.

Outro fator que pode ser citado para a inibição da pega do cimento é o ataque de insetos xilófagos, tais como o cupim. De maneira geral Carvalho (2000) afirma que não existe a incompatibilidade entre a celulose e o cimento, mas sim entre a hemicelulose solúvel e os açúcares simples que por ventura se combinaram com íons metálicos e provocam a incompatibilidade entre a madeira e o cimento.

## 2.4. BLOCOS DE CONCRETO

Dantas Filho (2004) define o bloco de concreto como sendo uma unidade de alvenaria formada por uma mistura homogênea de cimento Portland, agregado e água que pode ser moldado através de vibração e prensagem. O emprego dos mesmos como alvenaria de vedação no lugar dos habitualmente usados (blocos cerâmicos) pode ser justificada não somente pelo esgotamento das jazidas de argila

e pelas leis que tem acanhado o desmatamento, visto que a lenha é o combustível da cerâmica, mas também pelas vantagens técnicas dos blocos de concreto.

Ainda que os blocos de concreto representem praticidade e agilidade, alguns quesitos podem ser melhorados. Diante disso, a substituição dos agregados frequentemente usados por um material com menor peso específico pode acarretar em benefícios, tais como uma maior praticidade, através do aumento de produtividade e por consequência no aceleração da conclusão das obras, além de reduzir as cargas totais aplicadas da construção (MICHEVIZ, SANTOS E TEIXEIRA, 2011).

Ramalho e Corrêa (2003) ressaltam que os blocos de concreto podem ser classificados como blocos de vedação ou blocos estruturais. E que a resistência a compressão dos mesmos, assim como outras características devem atender a norma (ABNT NBR 6136) visto que esta estabelece limites de resistência à compressão.

#### **2.4.1. Concreto**

O concreto utilizado deve ser de cimento, agregado e água. Lembrando que o agregado não pode ter uma dimensão superior que  $\frac{1}{4}$  da menor espessura da parede do bloco. O procedimento para produção dos blocos de concreto tem início com a determinação do traço dos materiais constituintes assim como a definição do destino do bloco, vedação ou estrutural (CADERNO TÉCNICO ALVENARIA ESTRUTURAL, 2010).

##### **2.4.1.1. Cimento**

O cimento de acordo com Bauer (2015) é considerado como um aglomerante hidráulico que endurece em contato com água e que pode ser adquirido através da pulverização do clínquer, e que ocasionalmente pode ser adicionadas outras substâncias que modificam as propriedades e facilitam o seu emprego.

De maneira geral as funções desse material é proporcionar resistência ao concreto e as argamassas, melhorar a aderência da pasta, ajudar na

trabalhabilidade do material como um todo e fazer a retenção de água (KALIL, 2007).

Salvador Filho (2007) afirma que o cimento quando é misturado a água, obtém propriedades adesivas capazes de agrupar a areia com outros tipos de agregados presentes. Tal fato acontece por conta da reação química do cimento em mistura com a água, processo esse denominando como sendo a hidratação do cimento que pode fornecer um produto final com propriedades de pega e endurecimento, sendo possível encontrar vários tipos de cimento Portland no mercado e estes são diferentes entre si principalmente devido as suas composições.

#### 2.4.1.2. Agregado

O agregado, segundo Bauer (2015) pode ser tido como um material cheio de partículas, incoesivo, com atividade quase nula e com uma vasta gama de tamanhos.

Considerado como um material granular, com volume definido e sem forma, cujas dimensões e propriedades são apropriadas para todas as obras de engenharia. Quando se diz respeito às propriedades do agregado tem-se que elas podem interferir de maneira direta na confecção dos blocos de concreto, já que intervém na aderência e conseqüentemente altera a homogeneidade e a resistência do mesmo (SALVADOR FILHO, 2007).

Salvador Filho (2007) classifica ainda os agregados quanto a sua origem, massa unitária e dimensões de partículas. A última classificação depende basicamente das peneiras, no qual através do material retido ou passante em determinada malha será feita denominações especiais, que variam desde o filer que é o material mais fino até a brita que é o material mais granular. Já para origem os agregados podem ser divididos em naturais e artificiais, além de serem classificados também em relação à massa unitária, podendo ser: leves, normais e pesados.

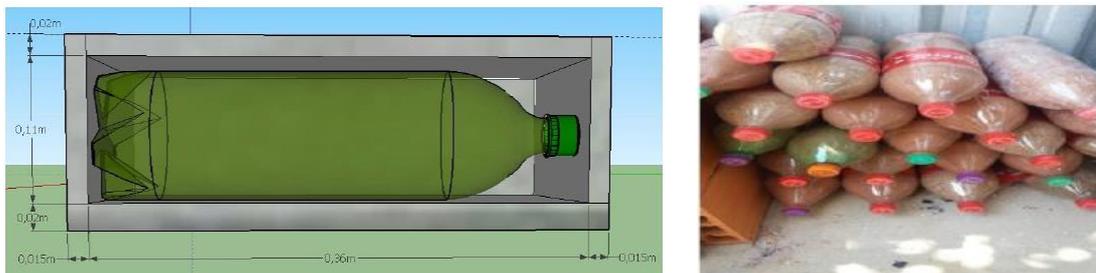
Essa classificação dos agregados se torna importante pela necessidade de garantir um arranjo adequado no concreto, de tal maneira que seja permitida a obtenção de um material com menor índice de vazios, o que melhorará, por conseguinte as propriedades físicas e mecânicas do mesmo.

A ABNT NBR 7211 (2009) especifica que o agregado pode ser classificado de maneira geral como miúdo ou graúdo. O primeiro são os grãos passantes na peneira cuja malha é de 4,75 mm e o segundo são aqueles que ficam retidos nessa mesma peneira. Essa classificação é feita após a execução do ensaio de granulometria através da ABNT NBR NM 248 (2003).

## 2.5. BLOCOS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

Alguns estudos já foram feitos a cerca da utilização de materiais alternativos nos blocos de concreto. Xavier (2016), por exemplo, utilizou garrafas PET preenchidas por serragem (figura 2) para avaliar o desempenho térmico das edificações com intuito de melhorar as condições das moradias das comunidades de baixa renda.

Figura 2: Utilização de garrafas PET e serragem nos blocos.



Fonte: Xavier, 2016.

Dantas Filho (2004) trabalhou com a substituição do agregado por pó de serragem em diferentes traços, em seguida mensurou a resistência desses blocos e utilizando método computacional verificou o desempenho dos mesmos.

Vezero (2016) optou por confeccionar blocos de concreto utilizando o sistema construtivo *Isopet*, que são blocos elaborados também com garrafas PET, porém com enchimento de concreto leve e adição de EPS, figura 3. Esses blocos foram caracterizados quanto à resistência a compressão e quanto ao seu desempenho térmico.

Figura 3: Blocos Isopet e EPS.



Fonte: Vezaro, 2016.

## 2.6. NBR 15575 (2013) EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - DESEMPENHO

Segundo Gomes (2015) a diminuição do desempenho de uma edificação, assim como dos seus componentes é um problema da atualidade e que ocorre frequentemente. As causas são as mais diversas, desde o envelhecimento natural até a falta de manutenção por parte dos construtores e moradores. Essas podem afetar diretamente a estética da edificação, assim como a segurança, utilização, e principalmente estabilidade e durabilidade.

Diante disso as normas ligadas ao desempenho são criadas com intuito de atender as necessidades dos usuários. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou em 19 de fevereiro de 2013 uma nova versão da NBR 15575 – “Edificações habitacionais – Desempenho” cujo intuito principal é garantir que as exigências e as necessidades dos usuários de edificações habitacionais sejam atendidas independente do porte e característica da construção.

A norma em questão foi dividida em seis partes, sendo elas:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários;

Cordovil (2013) afirma ainda, que todas as exigências presentes enquadram e se aplicam as edificações habitacionais, aos sistemas projetados, construídos e operados, assim como aqueles que serão submetidos a intervenções. De inicio a norma trata de um edifício habitacional que será avaliado segundo o seu conjunto de

sistemas, onde o desempenho será analisado de acordo com a interação dos elementos construtivos. Já no segundo momento a mesma vem abordar de forma separada cada sistema construtivo, e para isso afere o desempenho por normas específicas e por itens.

De maneira geral as normas de desempenho explanam as exigências dos moradores em forma de requisitos e critérios, por esse motivo são tidas como complementares as normas prescritivas, não as substituindo. As duas quando utilizadas simultaneamente tem como finalidade atender aos pedidos dos usuários com soluções tecnicamente adequadas. Entretanto, caso haja conflito de critério ou métodos entre as mesmas, será necessário o atendimento de todos os pontos de todas as normas (ABNT NBR 15575, 2013).

Quanto às normas de projetos estruturais, pode-se dizer que elas dão maior enfoque a tecnologia das construções e embora sejam feitas inúmeras recomendações de cuidados e boas práticas, as mesmas focam apenas na avaliação da performance com a utilização de ensaios tecnológicos. Porém, a ABNT NBR 15575 introduz outros aspectos, tais como a definição de delegações de responsabilidade dos construtores, incorporadores, projetistas e usuários, e também trabalha itens relacionados à garantia de conforto e segurança na utilização do imóvel (CORDOVIL, 2013).

Além disso, outro ponto importante a cerca da norma, é o fato da mesma estabelecer a vida útil de projeto para cada componente do sistema de um edifício, que tem como responsável desde o projetista até o incorporador. O objetivo é garantir que o sistema tenha durabilidade em acordo com os valores indicados pela norma, conforme tabela1.

Tabela 1: Vida útil de projeto

<b>Sistema</b>	<b>VUP mínima em anos</b>
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos Internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20
* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.	

Fonte: NBR 15575-1, 2013, adaptada pela autora.

## 2.7. DESEMPENHO TÉRMICO

Segundo Sorgato (2009) os usuários de uma edificação definem como confortável diferentes temperaturas interiores, que variam de acordo com a estação do ano assim como da localização da construção. Sendo assim existe uma relação entre as temperaturas de conforto e a temperatura exterior, no qual deve se levar em conta que as pessoas acabam se adaptando as variações sazonais e ao clima.

Duarte (2016) explica que os estudos referentes a conforto térmico têm com principal intuito estabelecer condições ideais para criar um ambiente com temperatura adequada para o ser humano. Essa finalidade se baseia em três aspectos. O primeiro aspecto procura atender a satisfação, assim como o bem estar humano, de tal forma que a pessoa se sinta termicamente confortável. Já o segundo considera a produtividade, que embora não tenham estudos totalmente conclusivos a cerca disso, existe uma ideia que o desconforto influi diretamente na produtividade. E por fim, considera-se a economia de energia, já que devido a elevadas temperaturas as pessoas passam boa parte do tempo expostas aos condicionamentos artificiais.

Na engenharia civil o concreto, seja armado ou não, é considerado um dos materiais mais importantes e sempre teve uma atenção por parte de muitos pesquisadores. Entretanto, apesar de ser considerado ótimo estruturalmente apresenta um pequeno déficit quanto à baixa resistência térmica. Daí surge à importância de buscar materiais alternativos que por ventura possam melhorar essa condição do concreto. E conforme Barbosa (2014) afirma, a edificação estará sujeita aos efeitos solares de qualquer maneira, assim como da temperatura externa, e como existe uma variedade nessas condições, os materiais utilizados podem ajudar na regulação da entrada e saída de calor da edificação.

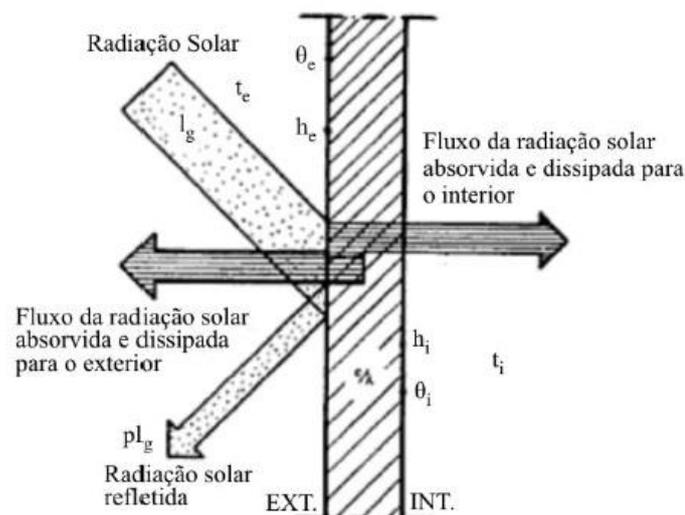
Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia em 2014 a cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins apresentou temperaturas acima de 40 graus, ficando atrás apenas da capital de Mato Grosso com uma temperatura de 41,1 graus. Ressalva-se que a cidade possui clima tropical e que a diferença entre as temperaturas média dos meses mais quentes e dos mais frios é menor que 5°C. Este fato aliado a transferência de calor do meio externo para o meio interno é que induz estudos a cerca da melhoria do desempenho térmico de uma edificação.

### 2.7.1. Transferência de calor do meio externo para o meio interno

A ABNT NBR 15220 (2005) – Desempenho térmico das edificações ressalta que o tijolo aparente absorve uma boa parte das radiações solares e conseqüentemente aumenta a temperatura térmica das edificações. Diante disso, Viegas (2012) afirma que devido ao aquecimento e a busca por melhorias relacionadas à eficiência energética o estudo referente às alternativas que por ventura venha aperfeiçoar o desempenho térmico vem se destacando na construção civil.

Segundo Bezerra (2003) a edificação absorve calor do meio externo através de mecanismos ligados a radiação e convecção, no qual a temperatura da fachada externa sofre uma elevação quando comparada a temperatura inicial, dessa forma como a temperatura da face interna é menor, a tendência é ocorrer um fluxo de calor por meio de condução na direção interna. Mas, ressalta-se que a intensidade desse fluxo depende tanto da espessura da parede, quanto da capacidade calorífica do material, sua densidade e sua condutividade térmica. Um exemplo de como essa transferência de calor existe pode ser observado através da figura 4.

Figura 4: Fluxo da radiação solar do meio externo para o meio interno.



Fonte: ARQconcursos, 2010.

Ordenes, Lamberts e Guths (2008) explicam que a condução está diretamente relacionada ao carregamento de energia térmica em um meio sólido em

consequência do gradiente de temperatura. Isto é, a transferência de calor nesse caso está ligada a uma condução unidimensional de forma permanente em um local plano (parede), no qual ocorrerá uma distribuição de temperatura linear.

### 3. METODOLOGIA

Este estudo é classificado como qualitativo e possui como procedimentos metodológicos a pesquisa bibliográfica em normas, teses de doutorado, revistas e outros meios. Dessa forma o presente capítulo tem como intuito descrever os procedimentos e os equipamentos adotados, assim como especificar o tratamento do pó de serragem utilizado para confecção dos blocos de concreto nas dimensões de 14x19x39.

#### 3.1. APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

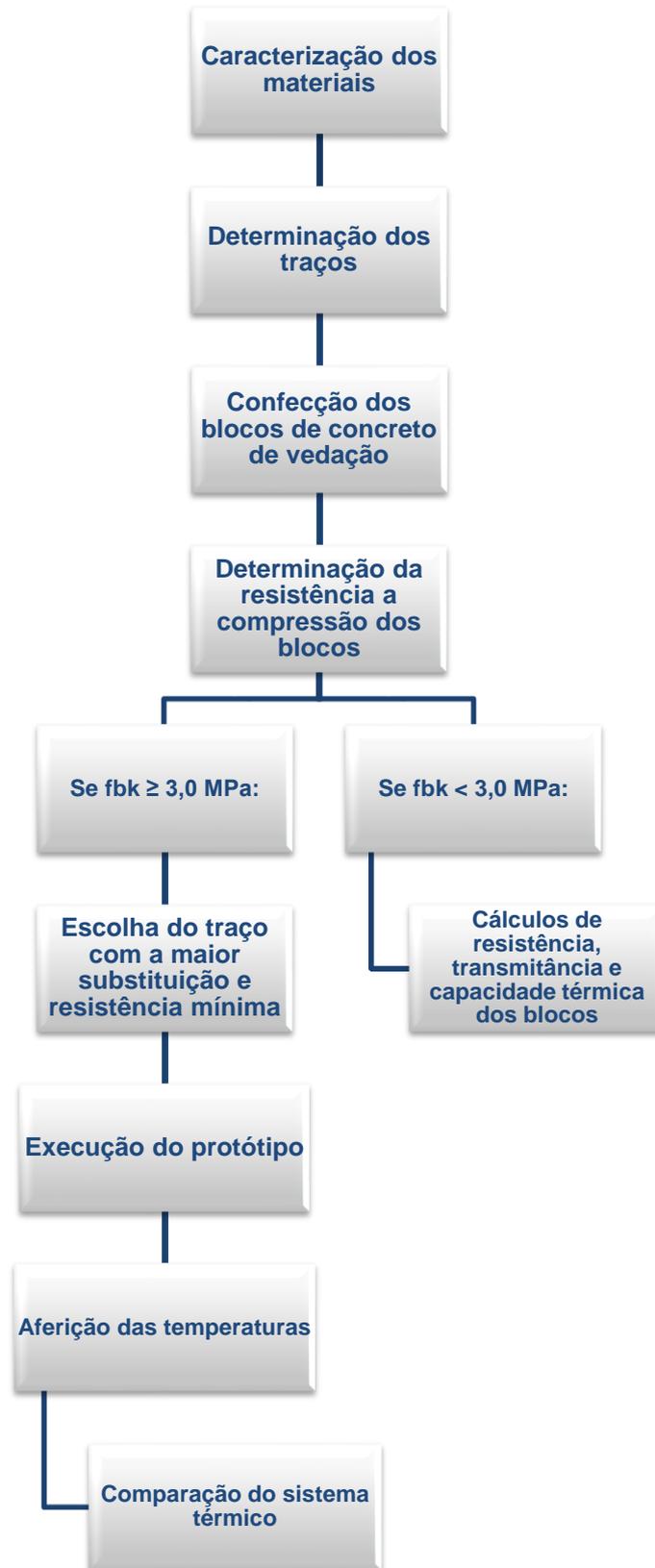
O objeto de estudo desse trabalho foi o emprego de materiais alternativos em blocos de concreto para construção verde de baixa renda. Especificamente o material utilizado foi o pó de serragem que por ventura substituiu parcialmente o agregado miúdo em proporção adequada no traço.

Os procedimentos necessários para desenvolvimento do estudo foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do CEULP/ULBRA e em uma determinada fábrica, onde os blocos foram concretados e moldados. Quanto à caracterização dos componentes do sistema, a mesma ocorreu através de ensaios físicos normatizados pela ABNT. Onde, os ensaios de resistência à compressão dos blocos foram feitos em virtude dos requisitos da norma ABNT NBR 12118 (2013).

Sendo assim a produção dos blocos de concreto com pó de serragem como material alternativo, a caracterização e todos os ensaios necessários foram feitos no CEULP/ULBRA e na fábrica.

Diante disso a metodologia utilizada segue o fluxograma (figura 5) ilustrado a seguir, cujo intuito é apresentar de maneira simplificada a sequência dos procedimentos que serão executados no decorrer do estudo.

Figura 5: Fluxo das etapas metodológicas.



Fonte: Autor, 2016.

## 3.2 MATERIAIS

Os materiais que foram utilizados no desenvolvimento do trabalho e na elaboração do protótipo são os elencados a seguir.

### 3.2.1. Cimento Portland

O cimento utilizado durante todo o estudo de caso é o CP II Z-32. Como justificativa pela utilização deste tem-se a sua alta durabilidade, entre outras características que por vezes garantem as propriedades necessárias para o concreto, além da disponibilidade e facilidade de aquisição no mercado local.

### 3.2.2. Agregado miúdo e graúdo

O agregado miúdo (figura 6) que foi empregado na confecção dos blocos foi a areia lavada, proveniente das jazidas da região. Sendo o mesmo caracterizado e ensaiado através da granulometria, da massa unitária e massa específica

Já o agregado graúdo (figura 6) utilizado foi o pedrisco também proveniente das jazidas locais. Havendo ainda a caracterização do mesmo quanto à granulometria, a massa unitária e também massa específica.

Figura 6: Agregado miúdo e agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2017.

#### 3.2.2.1. Granulometria

A norma utilizada para determinação da composição granulométrica do agregado miúdo e graúdo foi a ABNT NBR NM 248 (2003). Esse ensaio transcorreu-se visto que a granulometria influencia diretamente na qualidade do produto e nos aspectos relativos à trabalhabilidade, compacidade e resistência a esforços mecânicos.

#### 3.2.2.2. Massa unitária

A massa unitária do agregado miúdo e do graúdo no estado solto foi calculada seguindo os procedimentos da ABNT NBR NM 45 (2006), sendo obtida de maneira geral pelo quociente da massa do agregado lançado e o volume do recipiente.

#### 3.2.2.3. Massa específica

A determinação da massa específica classificou o agregado em leve, normal e pesado, no qual foi encontrada através da utilização do picnômetro, que leva em consideração o peso do material, do recipiente e da água. A norma adotada para este ensaio foi a ABNT NBR 6508 (1984), sendo o procedimento disponível no laboratório da instituição.

### 3.2.3. Pó de serragem como agregado

O pó de serragem utilizado no estudo foi obtido em uma serraria renomada da região, sendo proveniente de madeira de lei e classificado como resíduo da madeira *Pinus*. O mesmo após a sua geração na máquina era armazenado em sacos plásticos, diferenciados segundo o tipo de madeira e permaneciam no local até o seu devido descarte.

O material aproveitado foi o resíduo passante na peneira 4,8mm, que após um tratamento específico se transformou em pó de serra utilizável. Quanto à caracterização desse material, foi feita baseada nas normas de agregado da ABNT,

entretanto foram imprescindíveis algumas adaptações em consequência do tipo de material, para este passo os procedimentos adotados tiveram como referência os empregados por Dantas Filho (2004).

#### 3.2.3.1. Tratamento do pó de serra

O pó de serra aplicado passou por uma lavagem com substância alcalina, na qual foi empregada cal numa quantidade de 5% p/p (peso/peso) da massa unitária do pó e em seguida se fez necessário à diluição numa proporção de 10 litros de água para 1 kg de pó de serra. Após esse processo, o material ficou imerso por 24 horas (figura 7), sendo em seguida lavado em água corrente e submetido à secagem ao ar livre.

Figura 7: Pó de serragem sendo tratado com cal.



Fonte: Autor, 2017

#### 3.2.3.2. Granulometria da serragem

Para a granulometria da serragem foi utilizada a mesma norma aplicada na granulometria do agregado, a ABNT NBR NM 248 (2003).

### 3.2.3.3. Massa unitária da serragem

A massa unitária da serragem tanto no estado seco quanto no estado solto foi determinada com referência a norma técnica ABNT NBR NM 45 (2006).

### 3.2.3.4. Massa específica da serragem

A massa específica da serragem teve como referência a antiga ABNT NBR 9776 (1987), entretanto com uma modificação adotada por Dantas Filho (2004), referência do estudo, que consiste na substituição da água por 350 cm<sup>3</sup> de álcool e do agregado miúdo por 75g do pó de serra.

Essa substituição pode ser explicada pelo fato do álcool apresentar menor densidade, visto que o pó de serra apresenta massa unitária menor que a do agregado miúdo. A partir de então surge à necessidade da alteração, pois caso a água tivesse sido utilizada neste procedimento o pó de serra teria boiado na superfície e comprometido todo o experimento.

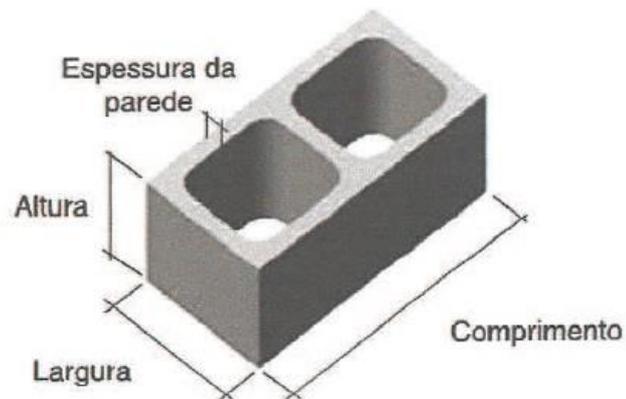
### 3.2.4. Água

A água utilizada nos procedimentos foi coletada no Laboratório do CEULP/ULBRA proveniente de poço artesiano.

## 3.3. FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

A confecção dos blocos de concreto de vedação com substituição parcial do agregado por pó de serragem como material alternativo consiste em um procedimento relativamente novo, embora tenha sido feito um estudo semelhante por Dantas Filho (2004). Os blocos foram vazados de concreto (figura 8) e confeccionados com dimensões de 14x19x39 para os blocos de dois furos conforme ABNT NBR 6136 (2016) e a modulação respeitaram as exigências de norma.

Figura 8: Bloco vazado de concreto.



Fonte: ABNT NBR 6136, 2016.

Os blocos foram confeccionados em uma indústria da capital, que já trabalha com blocos de concreto há certo tempo, tendo, portanto os equipamentos e conhecendo os procedimentos necessários. Inicialmente a pasta de concreto foi preparada no misturador (figura 9), sendo transportada em seguida através de uma esteira (figura 10) e submetida a uma vibro prensagem (figura 11), a partir daí os blocos ganhavam forma e eram retirados para armazenamento. Os blocos de concreto eram moldados em cima de um traço referência, já empregados nessa mesma indústria, sendo feita em seguida três substituições parciais do agregado por pó de serragem.

Figura 9: Misturador.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 10: Esteira para transporte do concreto.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 11: Vibro prensa e blocos moldados.



Fonte: Autor, 2017.

### 3.4. DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem do concreto consistiu na substituição do agregado por pó de serragem, no qual a mesma ocorreu como citado anteriormente em cima de um traço referência já utilizado na indústria onde foram confeccionados os blocos de concreto. O traço empregado pode ser observado na tabela 2, de forma detalhada.

O traço foi trabalhado em volume em virtude das massas dos materiais serem diferentes, tendo ainda a utilização de um aditivo especificado posteriormente. As substituições de agregado por pó de serragem foram feitas de maneira previamente definidas adotando como referência a conclusão feita por Dantas Filho (2004) em que resultados satisfatórios ocorreriam com substituições parciais de até 50% do agregado por pó de serragem, diante disso a primeira substituição correspondeu a 30%, a segunda foi de 40%, e a terceira numa proporção de 50%.

Tabela 2: Traço empregado na fabricação dos blocos de concreto de vedação

<b>Materiais</b>	<b>Consumo</b>
Cimento Portland CP II Z-32	1 saco
Brita 0 ou pedrisco	230 litros
Areia Grossa	230 litros
Água	18 litros
Aditivo (Sikament RM 300)	
Um aditivo líquido de pega normal, além de ser plastificante e com um alto poder de redução de água empregada no concreto.	86 ml

Fonte:Autor, 2017.

Após as três substituições (30%, 40% e 50%) os blocos de concreto foram moldados e armazenados em um ambiente aberto e arejado (figura 12), sendo submetidos à cura somente 24 horas após a sua confecção e moldagem. O intuito a partir de então era adotar o traço com a maior proporção de substituição do agregado garantindo a resistência mínima de compressão para o bloco.

Figura 12: Armazenamento dos blocos de concreto após a confecção.



Fonte: Autor, 2017.

### 3.5. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

#### 3.5.1. Cura do concreto

Os blocos com pó de serragem, assim como os blocos do traço referência foram submetidos à cura 24 horas após a sua confecção. A cura destes foi feita através de uma manta úmida, de tal forma que os mesmos eram umedecidos no mínimo duas vezes ao dia (nos dias frios) e até três vezes (nos dias quentes) e em seguida eram cobertos (figura 13) para que não perdessem umidade. Vale ressaltar que esses são procedimentos adotados por pelo menos duas indústrias de blocos de concreto da região.

Figura 13: Cura dos blocos de concreto.



Fonte: Autor, 2017.

#### 3.5.2. Resistência à compressão dos blocos de concreto

A análise de resistência a compressão dos blocos de concreto foram realizadas no laboratório da instituição, com um número de amostras de 6 (seis) blocos de concreto de 14x19x39 cm para cada idade ensaiada, conforme exigido pela ABNT NBR 6136 (2016), figura 14.

Figura 14: Tamanho da amostragem.

Quantidade de blocos do lote	Quantidade de blocos da amostra		Quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial		Quantidade de blocos para ensaios de absorção e área líquida
	Prova	Contraprova	Critério estabelecido em 6.5.1	Critério estabelecido em 6.5.2	
Até 5 000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5 001 a 10 000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
Acima da 10 000	9 ou 13	9 ou 13	10	6	3

Fonte: ABNT NBR 6136, 2016.

Os procedimentos foram executados com idades de 7 (sete), 14 (quatorze) e 28 (vinte e oito dias), cumprindo as exigências da ABNT NBR 12118 (2013) e utilizando a prensa hidráulica universal da marca EMIC com célula de carga de capacidade de 30 tf, disponível na instituição de ensino em questão.

Os blocos foram ensaiados em condições normais com a carga aplicada na direção do esforço que o bloco deveria suportar. Sendo assim, o bloco foi colocado na prensa, com o centro de gravidade no eixo de carga dos pratos e em seguida deu-se início ao ensaio de compressão. Vale salientar que a resistência a compressão dos blocos deve estar dentro dos limites estabelecidos pela norma, conforme figura 15.

Figura 15: Requisitos para resistência à compressão, absorção e retração.

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial <sup>a</sup> MPa	Absorção %				Retração <sup>d</sup> %
			Agregado normal <sup>b</sup>		Agregado leve <sup>c</sup>		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

<sup>a</sup> Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.

<sup>b</sup> Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).

<sup>c</sup> Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935).

<sup>d</sup> Ensaio facultativo.

Fonte: ABNT NBR 6136, 2016

### 3.6. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

#### 3.6.1. Resistência, transmitância e capacidade térmica do sistema

A resistência térmica, a capacidade térmica e transmitância do sistema com blocos compostos por pó de serragem foram calculadas conforme ABNT NBR 15220 (2005). Entretanto para este cálculo, vale ressaltar que foi necessário além das fórmulas ter conhecimento das propriedades térmicas dos materiais aplicados nos processos e que são apresentados na norma citada anteriormente.

Define-se como resistência térmica a capacidade de reduzir a transmissão de calor e quanto maior for à resistência maior será a capacidade de redução. Ela foi calculada conforme equação [1].

$$R = e/\lambda \quad [1]$$

Sendo:

- ✚ e é espessura do bloco;
- ✚  $\lambda$  é o coeficiente de condutividade térmica do material

Além da fórmula citada anteriormente foi necessário calcular a resistência térmica total do componente através das equações [2] e [3]. A equação quatro especificamente tratou da resistência térmica de superfície e a cinco da resistência térmica de ambiente a ambiente.

$$R_t = \frac{(A_a + A_b + \dots + A_n)}{\left[\left(\frac{A_a}{R_a}\right) + \left(\frac{A_b}{R_b}\right) + \dots + \left(\frac{A_n}{R_n}\right)\right]} \quad [2]$$

$$R_t = R_{se} + R_t + R_{si} \quad [3]$$

Sendo:

- ✚  $R_a, R_b, \dots, R_n$  são as resistências térmicas de superfície a superfície;
- ✚  $A_a, A_b, \dots, A_n$  são as áreas de cada seção;

- ✚ Rt é a resistência térmica de superfície a superfície;
- ✚ Rse e Rsi são resistências superficiais externas e internas.

Para os elementos que não apresentam câmaras de ar ventiladas foi necessário determinar a resistência térmica do ar, através da tabela 3. E para o cálculo de resistência térmica de superfície considerando o fluxo de ar foi considerada a tabela 4.

Tabela 3: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica $R_{ar}$ $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:  
 1  $\varepsilon$  é a emissividade hemisférica total.  
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.  
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.  
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2005).

Tabela 4: Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si}$ ( $m^2.K/W$ )			$R_{se}$ ( $m^2.K/W$ )		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇔	⇑	⇓	⇔	⇑	⇓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2005).

Já a transmitância térmica é a quantidade de calor transmitido de um material para outro. Esta foi calculada através da equação [4].

$$U = 1/Rt$$

[4]

Sendo:

- ✚ U é a transmitância térmica;
- ✚ Rt é a resistência térmica total.

E a capacidade térmica nada mais é que a determinação do calor necessário para que haja variação da temperatura em um determinado sistema. A equação utilizada para o cálculo da capacidade foi a [5].

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

[5]

Como se tem componentes com camadas diferentes (homogêneas e não homogêneas), perpendiculares ao fluxo de calor, também foi necessário o cálculo da capacidade térmica através da equação [6].

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{T_a}} + \frac{A_b}{C_{T_b}} + \dots + \frac{A_n}{C_{T_n}}}$$

[6]

Sendo:

- ✚  $\lambda_i$  é a condutividade térmica do material  $i^a$ ;
- ✚  $R_i$  é a resistência térmica da camada  $i^a$ ;
- ✚  $e_i$  é a espessura da camada  $i^a$ ;
- ✚  $c_i$  é o calor específico do material da camada  $i^a$ ;
- ✚  $\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada  $i^a$ ;
- ✚  $C_{T_a}, C_{T_b}, \dots, C_{T_n}$  são as capacidades dos componentes, encontradas pela equação [7];
- ✚  $A_a, A_b, \dots, A_n$  são áreas de cada seção.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO

#### 4.1.1. Determinação granulométrica

As tabelas 5 e 6 apresentam os valores encontrados nas amostras para determinação granulométrica do agregado miúdo e do agregado graúdo respectivamente. E as figuras 16 e 17 mostram a zona que os agregados se encontram, devido a sua distribuição granulométrica.

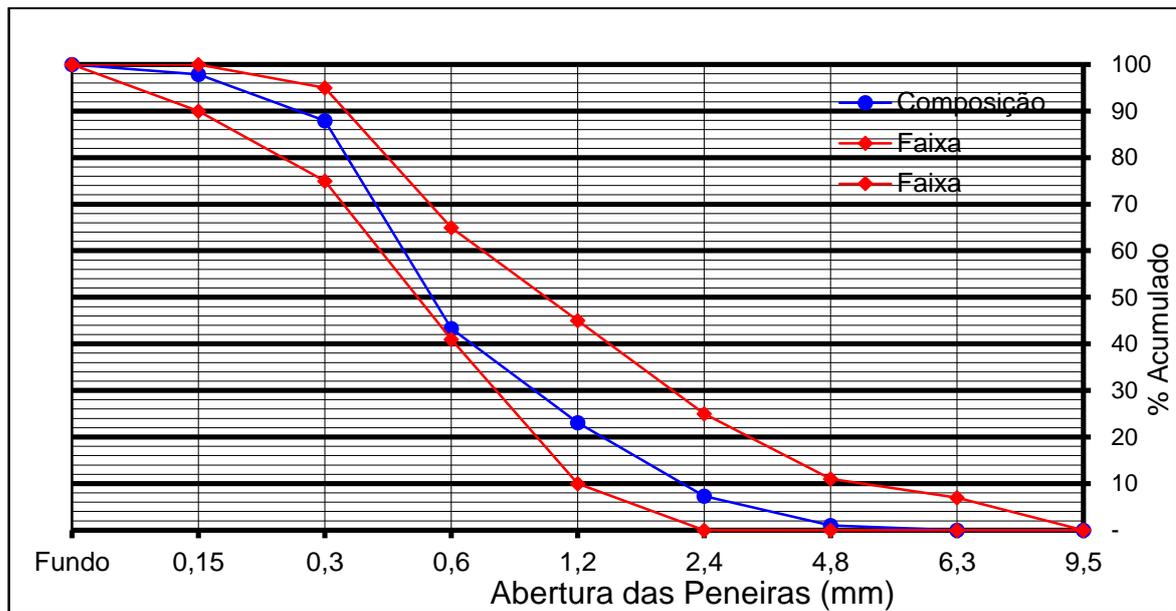
Tabela 5: Determinação granulométrica do agregado miúdo

Peneiras	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % retida	
	Massa retida (g)	% Retida		Massa retida (g)	% Retida		Simples	Acumul.
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.		
4,8	5,60	1,12	1,12	4,80	0,96	0,96	1,04	1,04
2,4	32,30	6,46	7,58	30,30	6,06	7,02	6,26	7,30
1,2	81,80	16,36	23,94	76,30	15,26	22,28	15,81	23,11
0,6	99,50	19,90	43,84	102,20	20,44	42,72	20,17	43,28
0,3	220,10	44,02	87,86	226,50	45,30	88,02	44,66	87,94
0,15	49,80	9,96	97,82	49,80	9,96	97,98	9,96	97,90
Fundo	10,90	2,18	100,00	10,10	2,02	100,00	2,10	100,00
<b>Total</b>	<b>500,00</b>	<b>100,00</b>		<b>500,00</b>	<b>100,00</b>		<b>100,00</b>	

Fonte: Autor, 2017.

Em conformidade com os ensaios de granulometria no agregado miúdo, verificou-se que os valores encontrados atendem as exigências da ABNT NBR NM 248 (2003), não ultrapassando os limites estabelecidos por ela. Tais como, a diferença do somatório do material retido não diferiu mais que 0,3% da massa da amostra, as porcentagens individuais retidas não diferiram mais que 4% entre si.

Figura 16: Análise granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autor, 2017.

De acordo com o ensaio de granulometria no agregado miúdo exposto anteriormente, foi possível determinar que devido à faixa de domínio o agregado em questão pode ser classificado como areia média, por estar na zona 3.

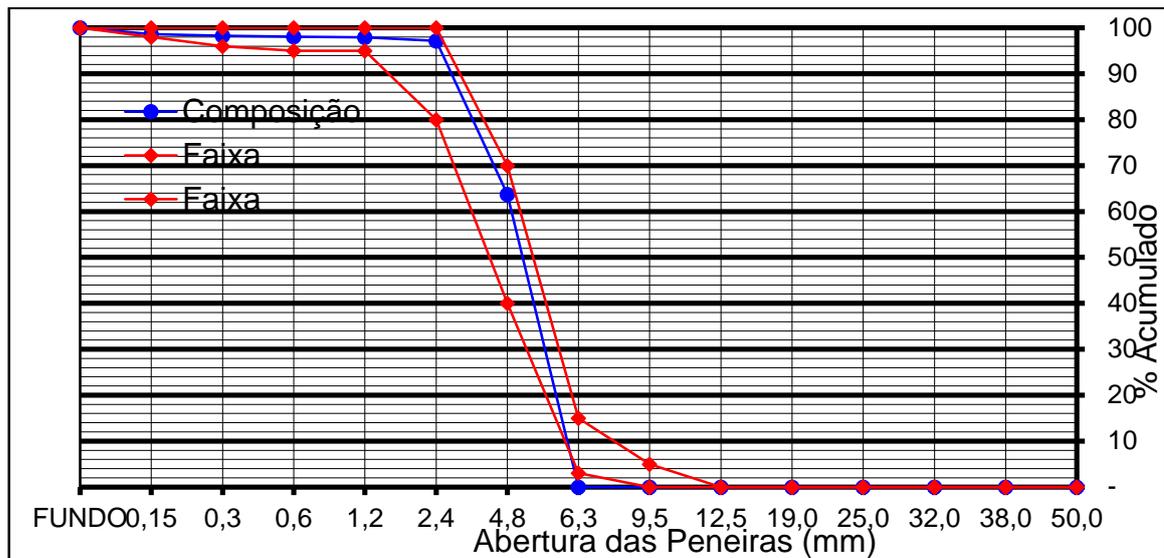
Tabela 6: Determinação granulométrica do agregado graúdo

Peneiras	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % retida	
	Massa retida (g)	% Retida		Massa retida (g)	% Retida		Simples	Acumul.
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.		
4,8	597,70	59,77	59,77	676,60	67,66	67,66	63,72	63,72
2,4	368,20	36,82	96,59	300,40	30,04	97,70	33,43	97,15
1,2	11,00	1,10	97,69	4,60	0,46	98,16	0,78	97,93
0,6	2,10	0,21	97,90	1,40	0,14	98,30	0,18	98,10
0,3	2,20	0,22	98,12	1,70	0,17	98,47	0,20	98,30
0,15	3,30	0,33	98,45	2,80	0,28	98,75	0,31	98,60
Fundo	15,50	1,55	100,00	12,50	1,25	100,00	1,40	100,00
<b>Total</b>	<b>1.000,00</b>	<b>100,00</b>		<b>1.000,00</b>	<b>100,00</b>		<b>100,00</b>	

Fonte: Autor, 2017.

Assim como no agregado miúdo, o ensaio de granulometria para o agregado graúdo foi considerado satisfatório, visto que atendeu todas as exigências estabelecidas pela norma ABNT NBR 248 (2003).

Figura 17: Análise granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2017.

De acordo com o ensaio exposto anteriormente o agregado graúdo trata-se de um pedrisco por se encontrar na zona 0. Além disso, é considerado como misto por apresentar uma granulometria variando de 150  $\mu\text{m}$  a 12,5 mm.

#### 4.1.2. Determinação da massa unitária

O recipiente utilizado no ensaio de massa unitária era de 10cm x 10cm x 10cm (comprimento x largura x altura), possuindo um volume de 1  $\text{dm}^3$ . Para uma melhor precisão nos resultados, foram obtidas três determinações e em seguida foi calculado as massas unitárias de cada uma dessas determinações, conforme tabela 7 e 8.

Tabela 7: Determinação da massa unitária do agregado miúdo

Amostra	Massa (kg)	Volume do recipiente ( $\text{dm}^3$ )	Massa unitária ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )
1	1,6533	1,00	1,65
2	1,6750		1,68
3	1,6854		1,69
<b>Média</b>			<b>1,67</b>

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 8: Determinação da massa unitária do agregado graúdo

Amostra	Massa (kg)	Volume do recipiente (dm <sup>3</sup> )	Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )
1	1,3722	1,00	1,37
2	1,3764		1,38
3	1,4078		1,40
<b>Média</b>			<b>1,39</b>

Fonte: Autor, 2017.

De acordo com ABNT NBR NM 45 (2006) os resultados de massa unitária obtidos não devem diferir mais que 1% em relação à média. Dessa forma tanto para os resultados do agregado miúdo quanto para os resultados do agregado graúdo a determinação foi considerada satisfatória.

#### 4.1.3. Determinação da massa específica

Para obtenção deste dado foram feitas duas determinações através da ABNT NBR 6508 (1984). Onde os resultados são expressos a seguir.

Tabela 9: Determinação da massa específica do agregado miúdo

Picnômetro nº	#	1	2
Massa Picnômetro + Areia + Água	(g)	2831,3	2832,9
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	2514	2514
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Material Seco	(g)	500	500
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm <sup>3</sup> )	0,9981	0,9981
Massa Específica	(g/cm <sup>3</sup> )	2,74	2,76
<b>Massa Específica Média</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,75</b>	

Fonte: Autor, 2017.

De acordo com a norma citada anteriormente, para os resultados serem considerados como satisfatórios, é necessário que os resultados não apresentem diferença superior que 0,02 g/cm<sup>3</sup> entre si. Sendo assim, é possível considerar que o agregado miúdo apresenta massa específica de aproximadamente 2,75 g/cm<sup>3</sup> e os resultados não diferem mais que o estabelecido.

Tabela 10: Determinação da massa específica do agregado graúdo

Picnômetro nº	#	1	2
Massa Picnômetro + Areia + Água	(g)	2816,9	2818,8
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	2514	2514
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Material Seco	(g)	500	500
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm <sup>3</sup> )	0,9981	0,9981
Massa Específica	(g/cm <sup>3</sup> )	2,54	2,56
<b>Massa Específica Média</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,55</b>	

Fonte: Autor, 2017.

Assim como nos resultados do agregado miúdo, os valores encontrados para massa específica do agregado graúdo são considerados satisfatórios já que não ultrapassaram as exigências contidas em norma.

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM

### 4.2.1. Determinação granulométrica

A tabela 11 mostra a distribuição granulométrica do pó de serragem, destaca-se que na obtenção desse material, o intuito era obter apenas material passante na peneira de 4,75 mm.

Tabela 11: Distribuição granulométrica do pó de serragem

Peneiras	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % retida	
	Massa retida (g)	% Retida		Massa retida (g)	% Retida			
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.	Simples	Acumul.
4,8	-	-	-	-	-	-	-	-
2,4	141,80	28,36	28,36	141,50	28,30	28,30	28,33	28,33
1,2	268,50	53,70	82,06	267,90	53,58	81,88	53,64	81,97
0,6	29,40	5,88	87,94	29,20	5,84	87,72	5,86	87,83
0,3	31,80	6,36	94,30	32,10	6,42	94,14	6,39	94,22
0,15	20,20	4,04	98,34	20,80	4,16	98,30	4,1	98,32
Fundo	8,20	1,64	99,98	8,30	1,66	99,96	1,65	99,97
<b>Total</b>	<b>499,90</b>	<b>99,98</b>		<b>499,80</b>	<b>99,96</b>		<b>99,97</b>	

Fonte: Autor, 2017.

Em conformidade com a ABNT NBR 248 (2003) os resultados são satisfatórios e encontram-se dentro dos limites estabelecidos por norma. Porém, vale salientar que a amostra do pó de serragem utilizado encontra-se com uma distribuição granulométrica um pouco irregular, visto que a maior parte dos seus finos ficaram retidos na peneira de 1,18mm, já as outras peneiras reteve uma menor quantidade de material.

#### 4.2.2. Determinação da massa unitária

O recipiente utilizado no ensaio de massa unitária do pó de serragem foi de 316mm x 316mm x 150mm (comprimento x largura x altura), possuindo um volume de aproximadamente 15 dm<sup>3</sup>. Assim como no ensaio dos agregados, foram feitas três determinações conforme exigência de norma (tabela 12).

Tabela 12: Determinação da massa unitária do agregado miúdo

Amostra	Massa (kg)	Volume do recipiente (dm <sup>3</sup> )	Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )
1	2,95	15,00	0,20
2	2,90		0,19
3	2,95		0,20
<b>Média</b>			<b>0,20</b>

Fonte: Autor, 2017.

A ABNT NBR NM 45 (2006) como citado anteriormente estabelece que os resultados de massa unitária não apresente diferença superior que 1% em relação a média, sendo assim, os resultados obtidos para massa unitária do pó de serragem são considerados satisfatórios.

#### 4.2.3. Determinação da massa específica

A massa específica do pó de serragem levou em consideração algumas adaptações como citado no capítulo anterior. Todavia, de maneira geral, os resultados alcançados deveriam atender a ABNT 9776 (1987). Após execução do ensaio, os resultados alcançados podem ser visualizados a seguir:

- Leitura 1 (frasco): 421 cm<sup>3</sup>
- Leitura 2 (frasco): 422 cm<sup>3</sup>
- Massa específica 1: 1,06 g/cm<sup>3</sup>
- Massa específica 2: 1,04 g/cm<sup>3</sup>

Dessa forma, a média da massa específica do pó de serragem é igual a 1,05 g/cm<sup>3</sup> e os resultados são classificados como satisfatórios de acordo com a norma.

### 4.3. CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO NO ESTADO ENDURECIDO

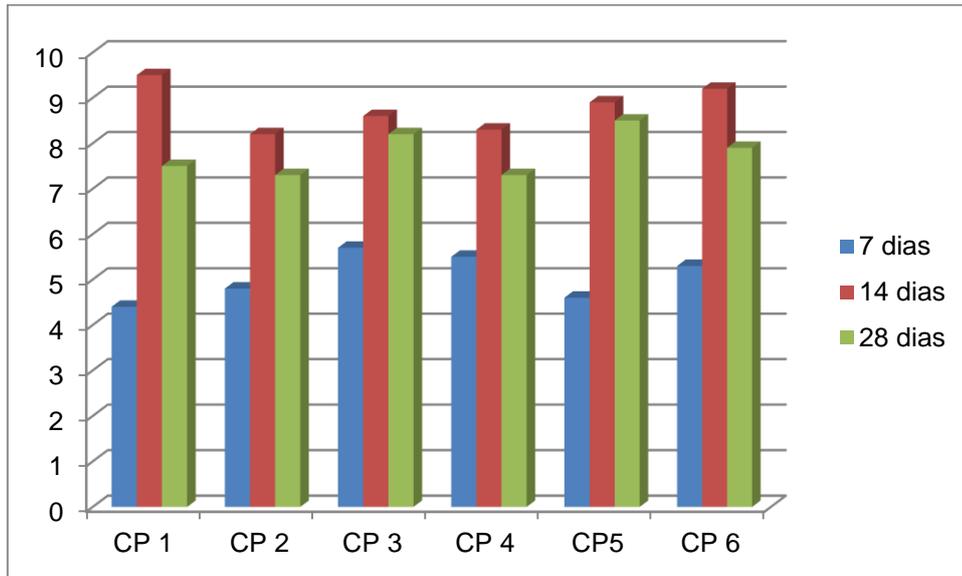
#### 4.3.1. Determinação da resistência à compressão

Os blocos de concreto de vedação foram avaliados conforme a sua resistência à compressão para a definição do traço que apresentasse a resistência mínima para a máxima substituição. Além de serem observados os três traços com as substituições parciais do agregado por serragem foram feita também a análise da resistência à compressão do traço referência. De tal forma que os resultados serão expostos a seguir.

##### 4.3.1.1. Traço referência

A fim de obter resultados para comparação e até mesmo para segurança, também foram moldados blocos de concreto para o traço de referência, e assim como os traços com substituições, eles foram submetidos à compressão na idade de 7, 14 e 28 dias. Os resultados de resistência à compressão para esse traço variaram de uma idade pra outra, com uma queda de resistência aos 28 dias, conforme figura 18.

Figura 18: Resultados de resistência a compressão do traço referência.

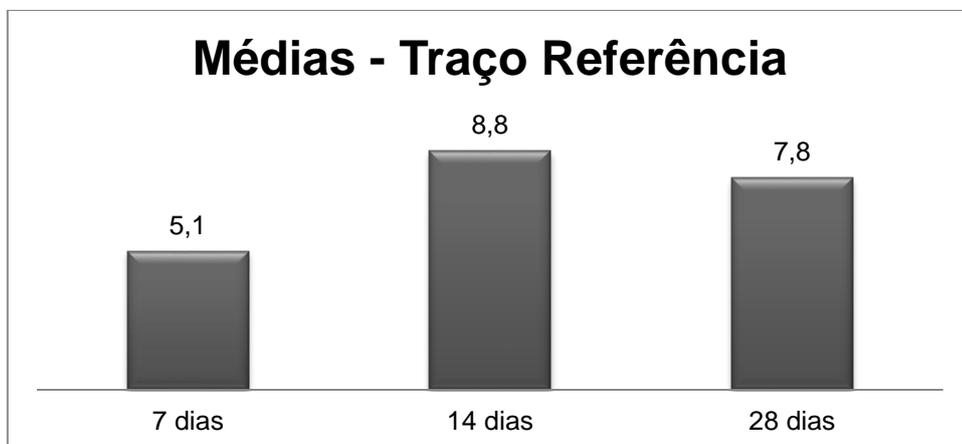


Fonte: Autor, 2017.

Os resultados detalhados de resistência para cada corpo de prova, assim como a força de ruptura aplicada encontram-se detalhados no APÊNDICE (A, B e C). Os blocos do traço referência estão dentro dos padrões estabelecidos pela ABNT NBR 6136 (2016), já que as resistências à compressão nas 3 idades alcançou a resistência mínima exigida por norma.

As médias para este traço podem ser visualizadas conforme a figura 19. Quanto ao desvio padrão, ficou em torno de 0,5 MPa para todas as idades, o que consequentemente demonstra que os resultados estão bem próximos as respectivas médias.

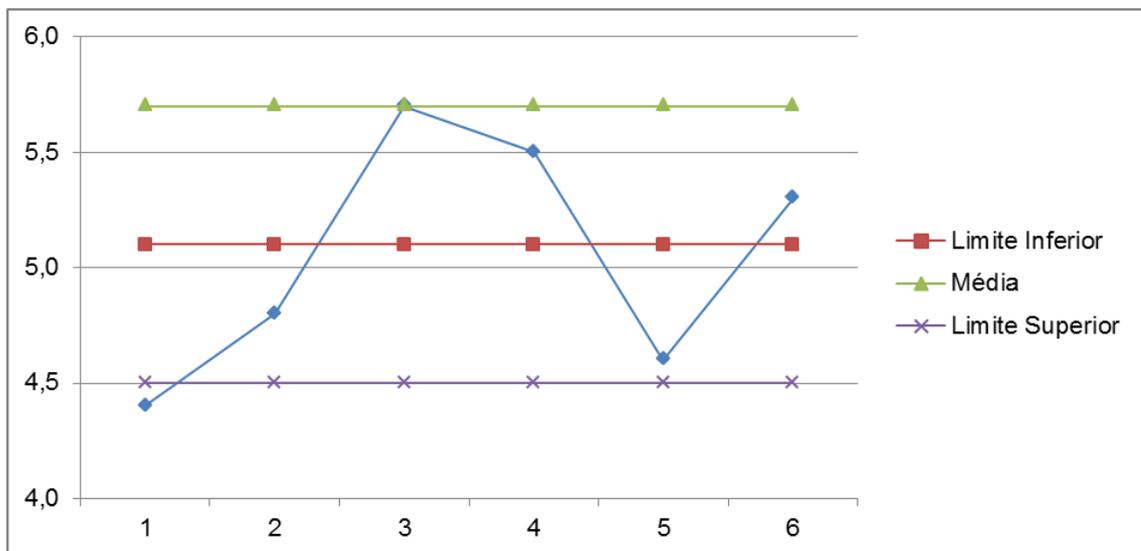
Figura 19: Médias das resistências à compressão no traço referência.



Fonte: Autor, 2017.

Entretanto quando calculado os limites superiores e inferiores em relação a média obtida inicialmente percebe-se que nas três idades de rompimento houve valores (marcados nos apêndices) que extrapolaram esses limites, sendo desconsiderados portanto para obtenção de uma nova média. A dispersão desses valores pode ser visualizada conforme figura 20, que demonstra a média inicialmente determinada e o limite superior e inferior dentro do intervalo de 95% de confiança.

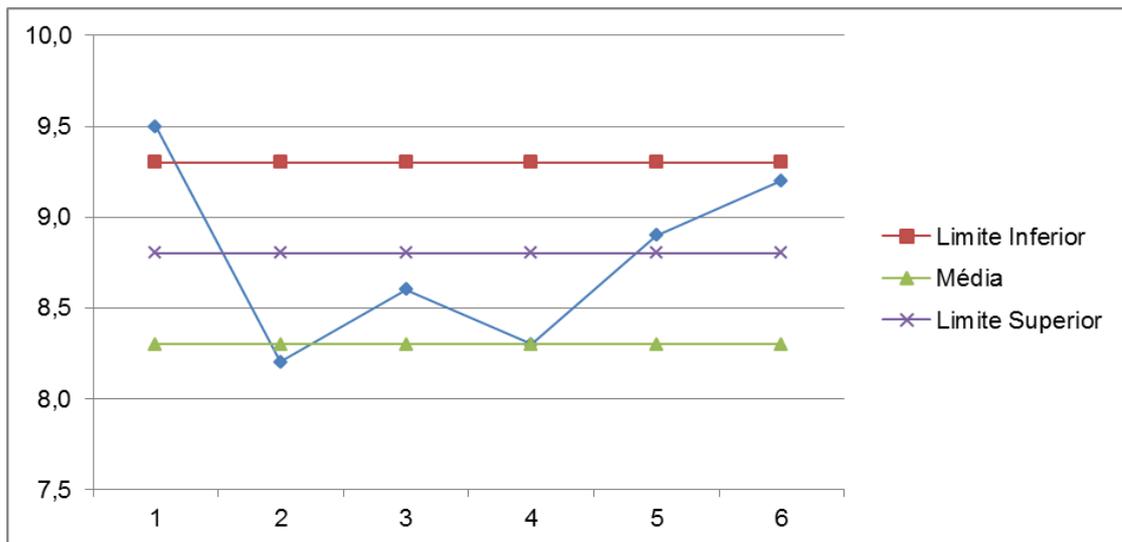
Figura 20: Limite superior e inferior dos dados do traço padrão aos 7 dias.



Fonte: Autor, 2017.

O limite superior para controle no traço padrão na idade de 7 dias seria de 5,7 MPa e o limite inferior de 4,5 MPa, dessa forma, conclui-se que o bloco 1 estatisticamente deve ser desconsiderado para o cálculo de média, já que é inferior ao limite mínimo. Para a idade de 14 dias a dispersão pode ser visualizada conforme figura 21.

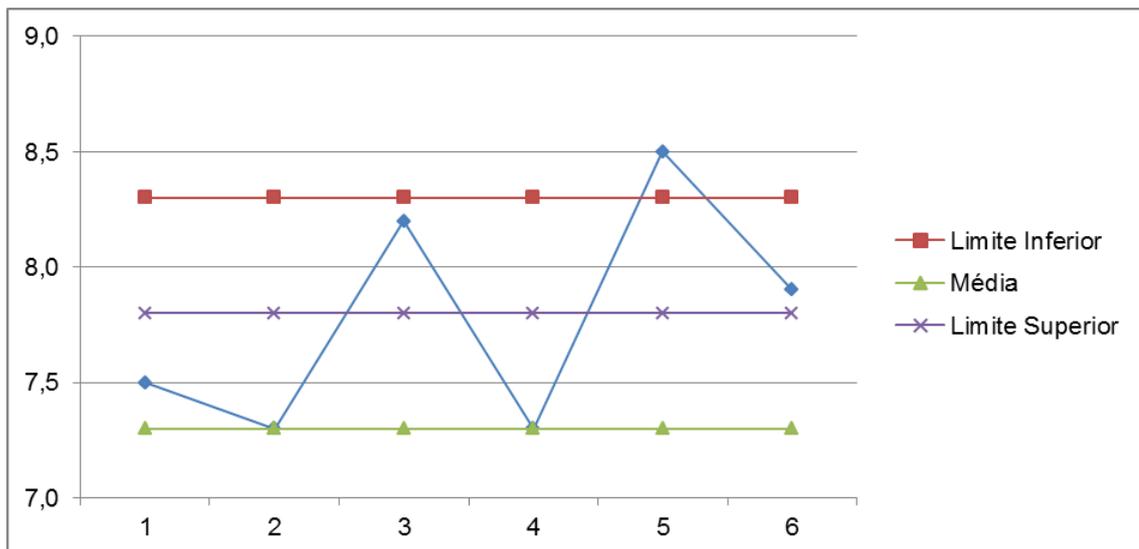
Figura 21: Limite superior e inferior dos dados do traço padrão aos 14 dias



Fonte: Autor, 2017.

Nessa idade o limite superior calculado seria de 9,3 MPa e o inferior de 8,3 MPa, sendo notório através da figura acima que os blocos 1 e 2 apresentaram valores de resistência que ultrapassaram os limites calculados. E por fim, de acordo com a figura 22 tem-se os limites na idade de 28 dias.

Figura 22: Limite superior e inferior dos dados do traço padrão aos 28 dias



Fonte: Autor, 2017.

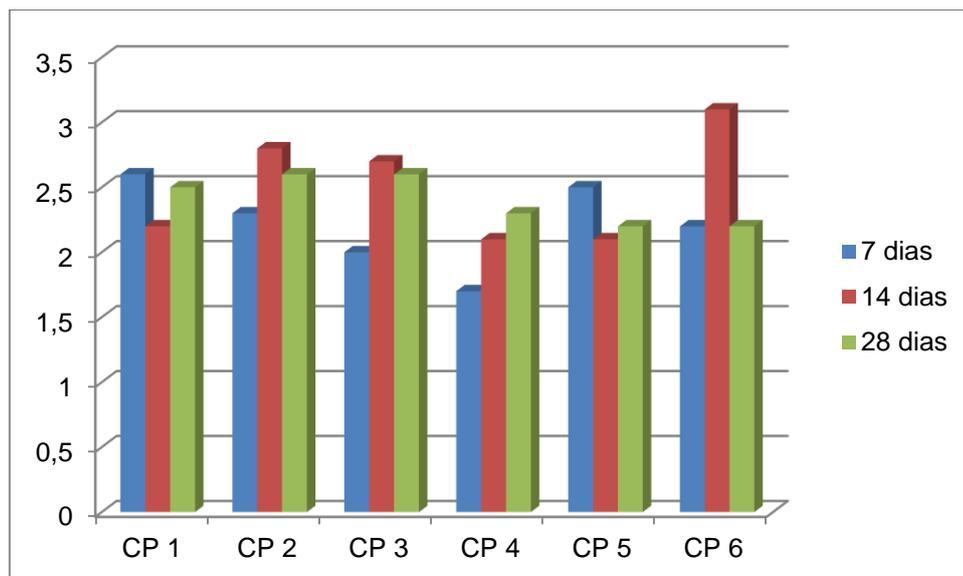
Na idade de 28 dias somente o bloco 5 excedeu o limite, devendo dessa forma também ser desconsiderado para o cálculo da média.

A partir dessas considerações a cerca dos limites calculados através da margem de erro da amostra foi possível obter novas médias para as três idades, sendo elas de 5,2 MPa aos 7 dias, 8,8 MPa aos 14 dias e 7,6 MPa aos 28 dias.

#### 4.3.1.2. Traço com substituição de 30% do agregado por pó de serragem

A primeira alteração no traço consistiu em substituir o agregado miúdo por 30% de pó de serragem, devidamente tratado. Em seguida, como detalhado no capítulo anterior os blocos foram submetidos ao ensaio de compressão nas idades de 7, 14 e 28 dias. A seguir, os resultados expressos graficamente (figura 23) para a menor substituição. Os resultados esmiuçados podem ser encontrados no APÊNDICE (D, E e F).

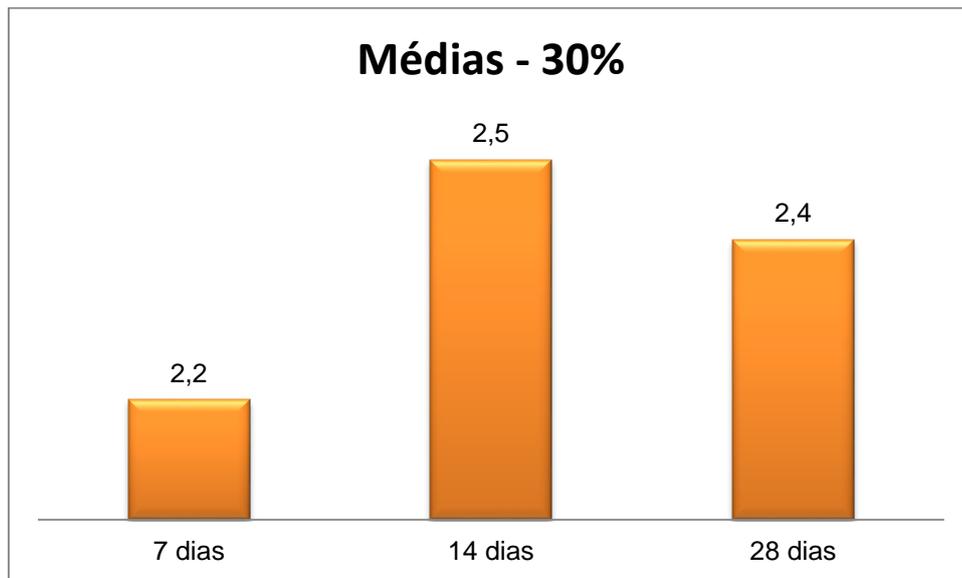
Figura 23: Resultados de resistência a compressão no traço de 30%.



Fonte: Autor, 2017.

De acordo com ABNT NBR 6136 (2016) quando os blocos não possuem função estrutural, eles devem apresentar no mínimo resistência característica de compressão igual a 3,0 MPa. Entretanto, ao ser feita a primeira substituição parcial correspondente a 30%, foi possível observar que os resultados não foram satisfatórios, visto que a média para as três idades (7, 14 e 28) foram inferiores a 3,0 MPa, conforme figura 24.

Figura 24: Médias das resistências à compressão na substituição de 30%

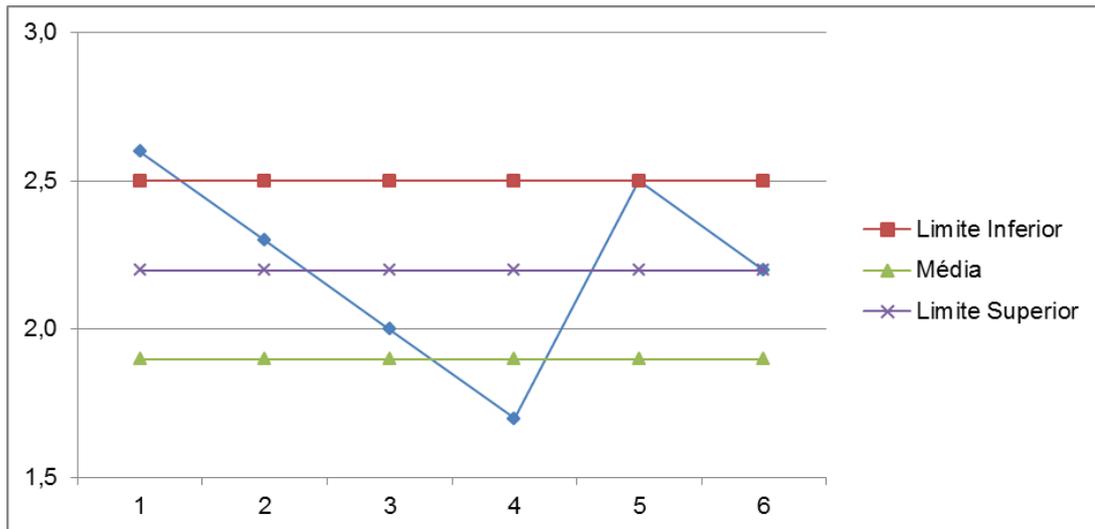


Fonte: Autor, 2017.

Quanto ao desvio padrão da amostra ele oscilou nas idades na proporção de 0,19 até 0,42 MPa. Na idade de 7 dias a resistência à compressão foi menor apresentando um desvio de 0,33 MPa, já com 14 dias os blocos alcançaram a maior resistência e apresentaram também a maior oscilação em relação a média, sendo em torno de 0,42 MPa. E com a idade de 28 dias, os blocos perderam resistência e o desvio ficou sendo o menor de todos (0,19 MPa).

Quando calculado os limites superiores e inferiores da amostra observa-se que na idade de 7 dias a resistência dos blocos 1 e 4 ultrapassaram os limites (inferiores e superiores) calculados, conforme figura 25. Para a amostra em questão o limite superior é de 2,5 MPa e o limite inferior de 1,9 MPa e todos os valores que não estão nesse intervalo devem ser desconsiderados no cálculo da nova média.

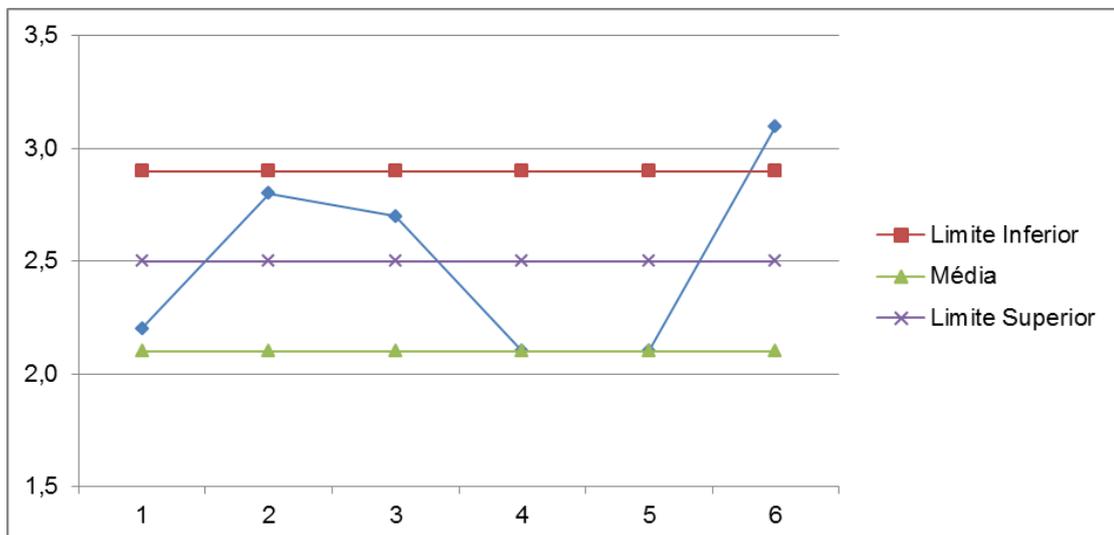
Figura 25: Limite superior e inferior dos dados do traço de 30% aos 7 dias.



Fonte: Autor, 2017.

Já para a idade de 14 dias é necessário a exclusão de apenas um dado, referente ao bloco 6 que apresentou resistência de 3,1 MPa, excedendo o limite superior calculado que é igual a 2,9 MPa, figura 26.

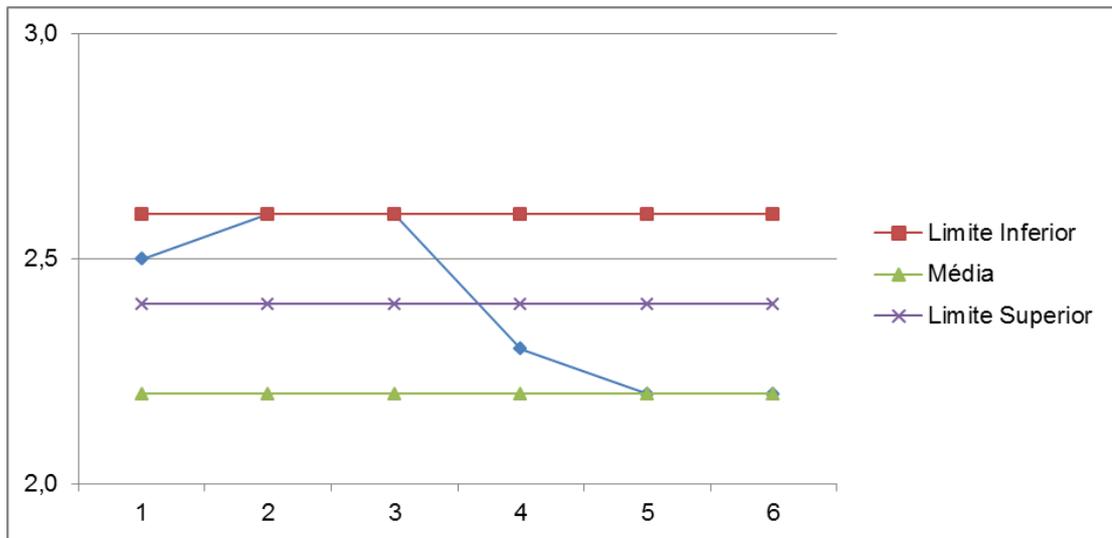
Figura 26: Limite superior e inferior dos dados do traço de 30% aos 14 dias.



Fonte: Autor, 2017.

Na idade de 28 dias todos os blocos apresentaram resistências que ficaram dentro dos limites de controle amostral (figura 27), estes foram de 2,6 MPa para o maior limite e 2,2 MPa para o menor. Portanto, para essa idade todos os blocos devem ser considerados no cálculo da média.

Figura 27: Limite superior e inferior dos dados do traço de 30% aos 28 dias.



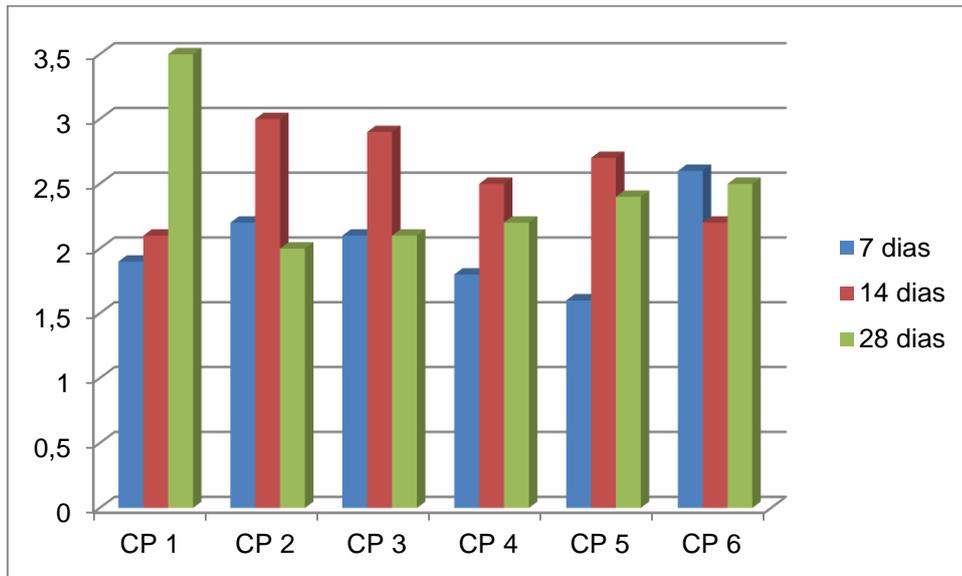
Fonte: Autor, 2017.

Vale ressaltar que para o cálculo dos limites dessa amostragem foi adotado um nível de confiança de 95% e o memorial de cálculo está no APÊNDICE M. A nova média calculada de acordo com as exclusões citadas anteriormente ficou como sendo de 2,3 MPa aos 7 dias, 2,4 MPa aos 14 dias e aos 28 dias permanece a resistência de 2,4 MPa.

#### 4.3.1.3. Traço com substituição de 40% do agregado por pó de serragem

A segunda alteração no traço ocorreu através da substituição de 40% do agregado miúdo por pó de serragem. Sendo a segunda maior substituição, os resultados para resistência a compressão encontram-se expressos resumidamente na sequência (figura 28) e de forma detalhada no APÊNDICE (G, H e I).

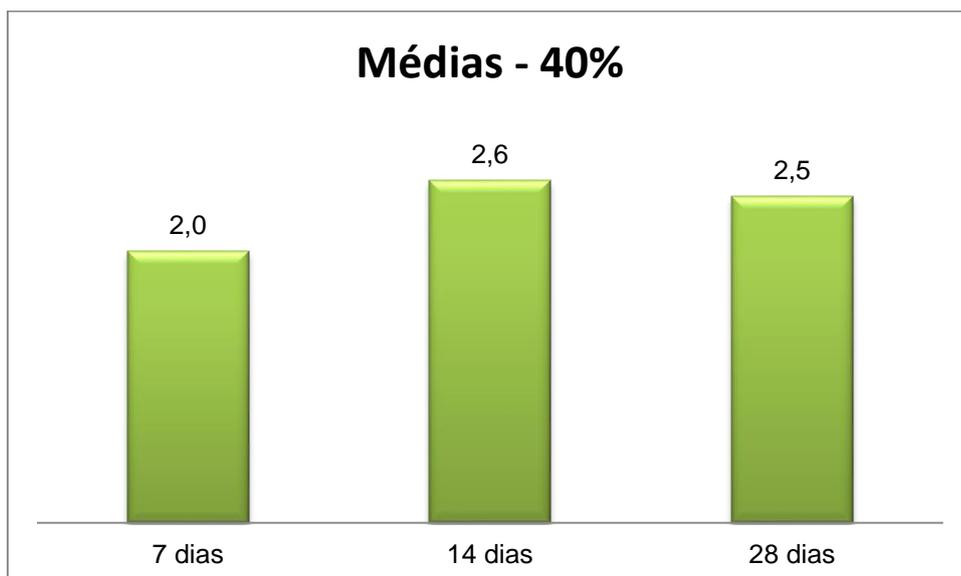
Figura 28: Resultados de resistência a compressão no traço de 40%.



Fonte: Autor, 2017.

Em relação a substituição parcial de 40% do agregado por pó de serragem os resultados também não alcançaram ao mínimo necessário estabelecido pela ABNT NBR 6136 (2016). De tal forma que a resistência a compressão ficou abaixo dos 3,0 MPa, conforme ilustrado (figura 29) a seguir:

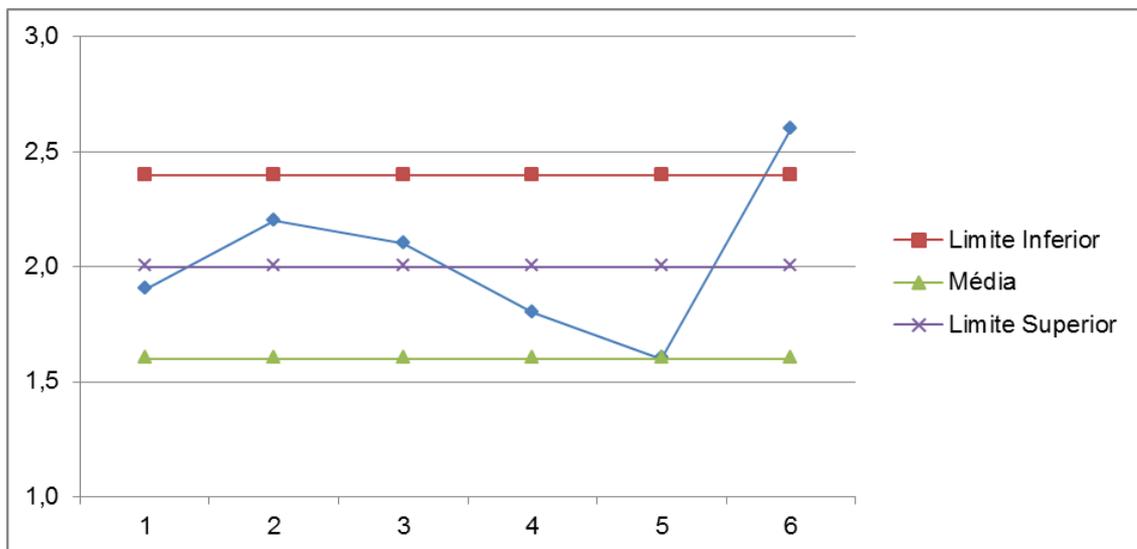
Figura 29: Médias das resistências à compressão na substituição de 40%.



Fonte: Autor, 2017.

Já o desvio padrão dessa amostra ficou mais regular, de tal forma que a dispersão foi de 0,35 a 0,55 MPa. No qual para as idades de 7 e 14 dias o desvio foi de 0,35 MPa e 0,37 MPa e na idade de 28 dias de 0,55 MPa. Quando calculado os limites na idade de 7 dias verificou-se que 1 valor de resistência referente ao bloco 6 ultrapassou o limite máximo, figura 30, sendo que a máxima resistência admitida seria de 2,4 MPa, logo esse valor deve ser excluído no cálculo da média.

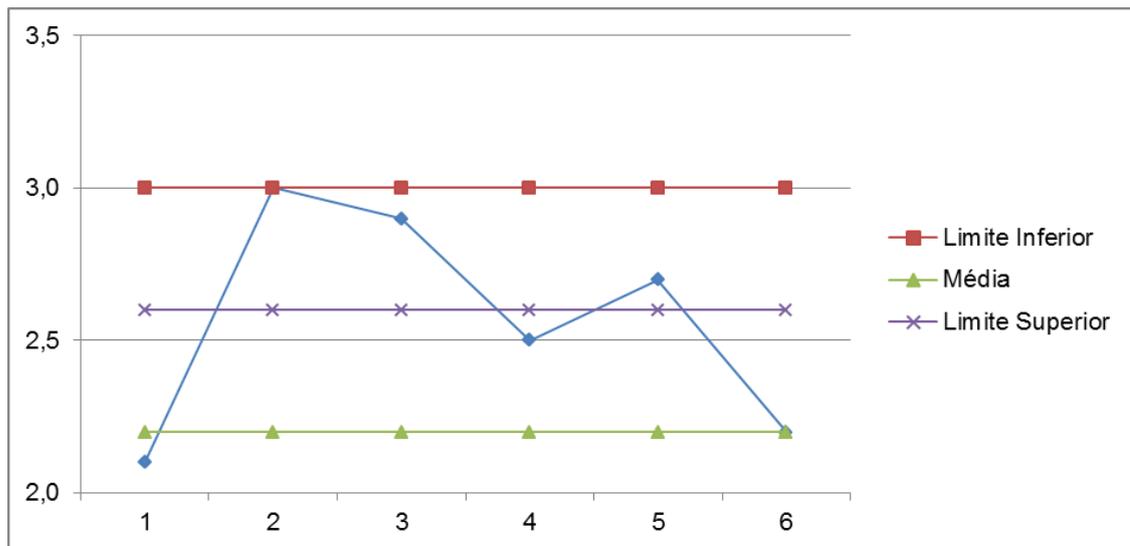
Figura 30: Limite superior e inferior dos dados do traço de 40% aos 7 dias.



Fonte: Autor, 2017.

Para a idade de 14 dias o bloco 1 apresentou uma resistência inferior (figura 31) ao limite mínimo calculado, sendo este último de 2,2 MPa e assim como nos casos anteriores ele também deve ser esquecido no cálculo da média.

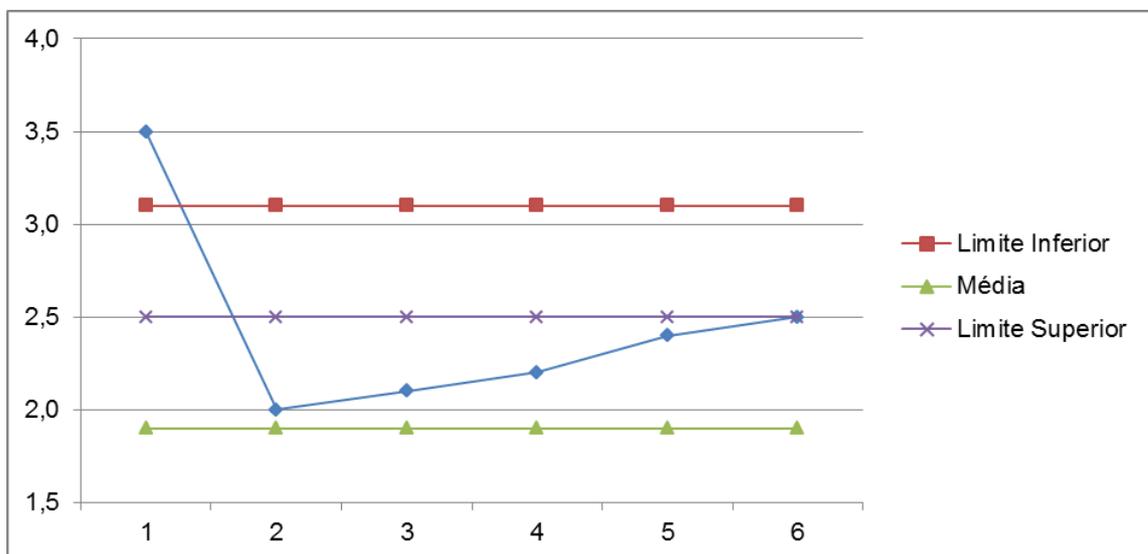
Figura 31: Limite superior e inferior dos dados do traço de 40% aos 14 dias.



Fonte: Autor, 2017.

E na idade de 28 dias a amostra 1 também apresentou divergência da resistência em relação ao limite, figura 32, só que dessa vez considerando o limite superior, que é igual a 3,1 MPa.

Figura 32: Limite superior e inferior dos dados do traço de 40% aos 28 dias.



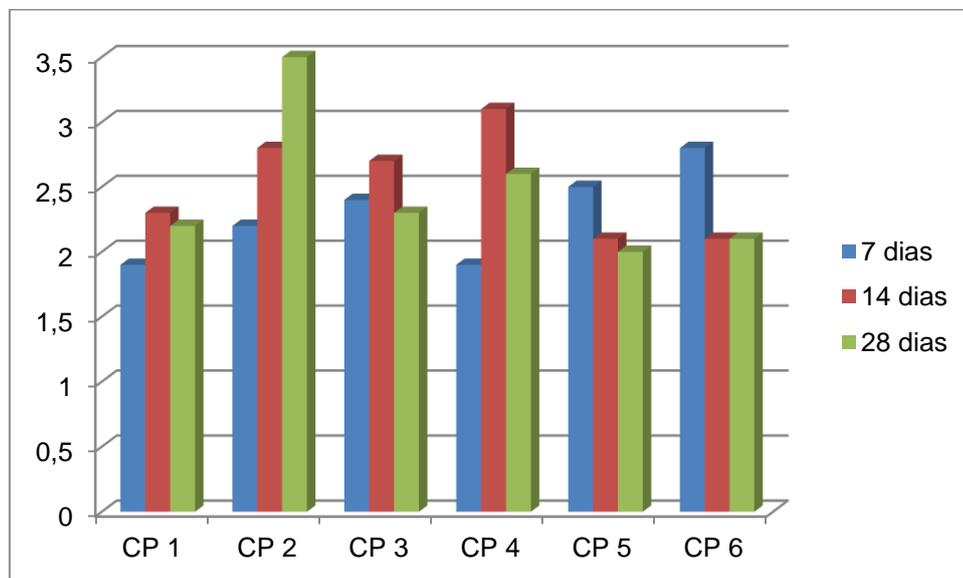
Fonte: Autor, 2017.

As médias calculadas após a exclusão dos dados fora dos limites nas idades de 7, 14 e 28 dias foram iguais a 1,9 MPa, 2,7 MPa e 2,2 MPa respectivamente.

#### 4.3.1.4. Traço com substituição de 50% do agregado por pó de serragem

A maior alteração no traço se deu através da substituição de 50% do agregado miúdo por pó de serragem. De acordo com Dantas Filho (2004), essa seria a maior substituição possível para que o concreto alcançasse resistência. A seguir, os resultados sucintos de tal substituição (figura 33), já os resultados discriminados podem ser encontrados no APÊNDICE (J, K e L)

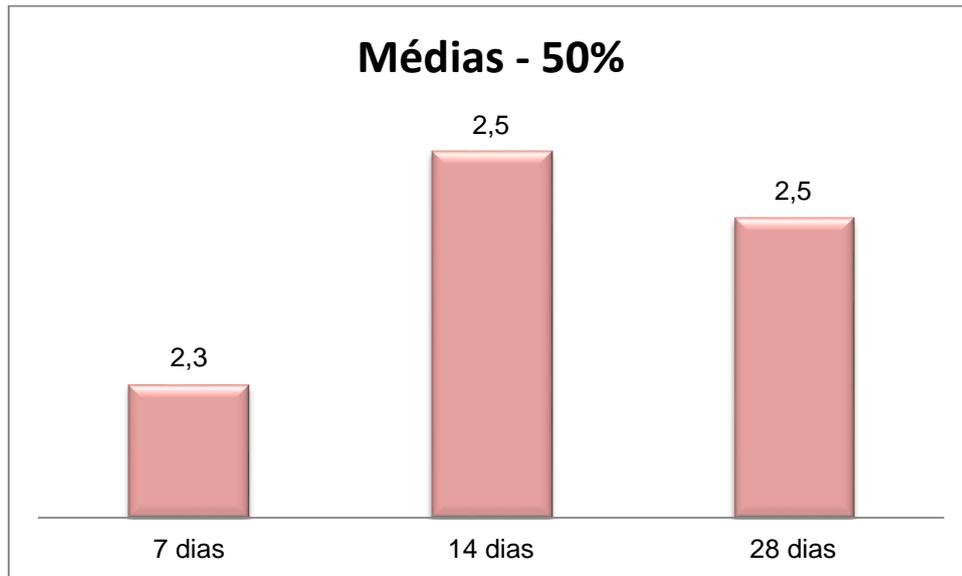
Figura 33: Resultados de resistência a compressão no traço de 50%.



Fonte: Autor, 2017.

Em relação a última e maior alteração no traço, assim como as outras duas substituições não alcançaram a resistência a compressão, esta também não alcançou, apresentando dessa forma um resultado insatisfatório em relação a ABNT NBR 6136 (2016). Os resultados de resistência à compressão apresentaram médias inferiores ao mínimo necessário (figura 34), ficando em desacordo com o esperado.

Figura 34: Médias das resistências à compressão na substituição de 50%.

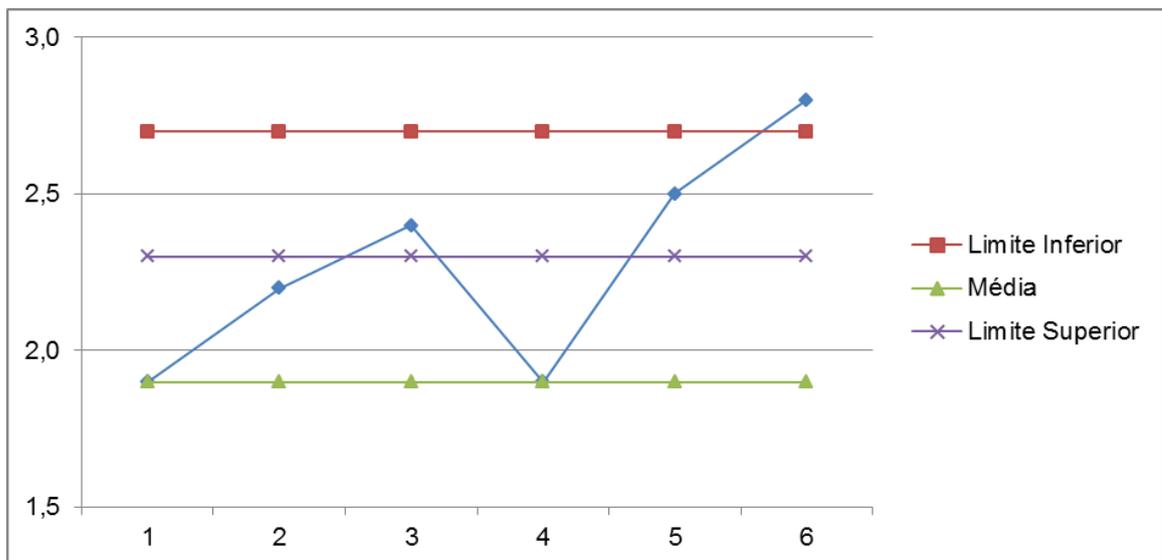


Fonte: Autor, 2017.

O desvio dessa última amostragem ficou em torno de 0,35 a 0,56 MPa, no qual na idade de 7 e 14 dias foi de 0,35 MPa e 0,41 MPa e na idade de 28 dias 0,56 MPa.

Quanto aos limites, o último bloco apresentou resistência superior ao limite máximo que era de 2,7 MPa (figura 35) e conseqüentemente deve ser feita a sua desconsideração no cálculo da média para determinada idade.

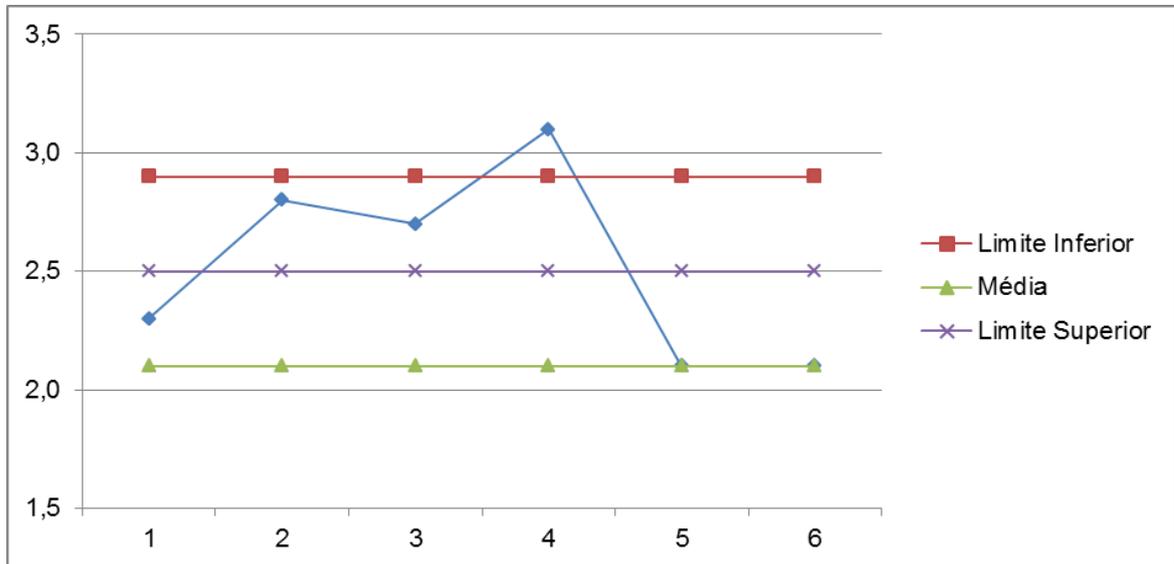
Figura 35: Limite superior e inferior dos dados do traço de 50% aos 7 dias.



Fonte: Autor, 2017.

Assim como na idade de 7 dias, apenas um bloco (bloco 4) na idade de 14 dias apresentou resistência superior, figura 36, a máxima calculada (2,9 MPa).

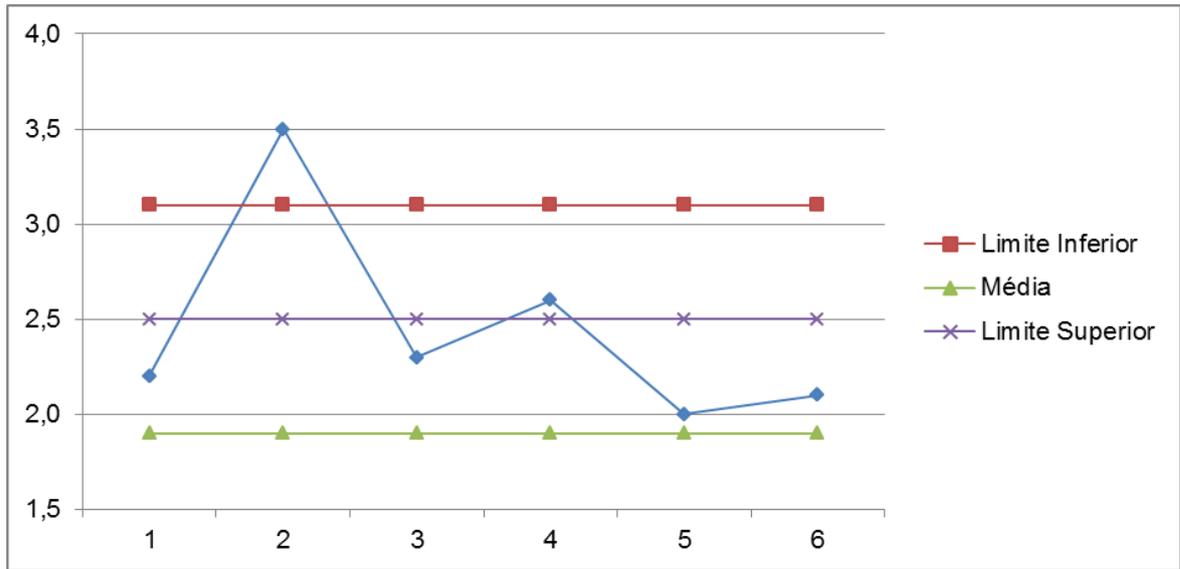
Figura 36: Limite superior e inferior dos dados do traço de 50% aos 14 dias.



Fonte: Autor, 2017.

Para a idade de 28 dias o limite superior calculado foi de 3,1 MPa e quando foi feita a análise em relação as resistências dos blocos observou-se que o bloco 2 apresentou resistência superior ao limite (figura 37). E por consequência foi esquecido no cálculo das novas médias.

Figura 37: Limite superior e inferior dos dados do traço de 50% aos 28 dias.



Fonte: Autor, 2017.

Depois de feita a exclusão dos limites de controle as novas médias foram calculadas e foram iguais a 2,2 MPa aos 7 dias, 2,4 MPa aos 14 dias e 2,2 MPa aos 28 dias.

#### 4.3.1.5. Considerações

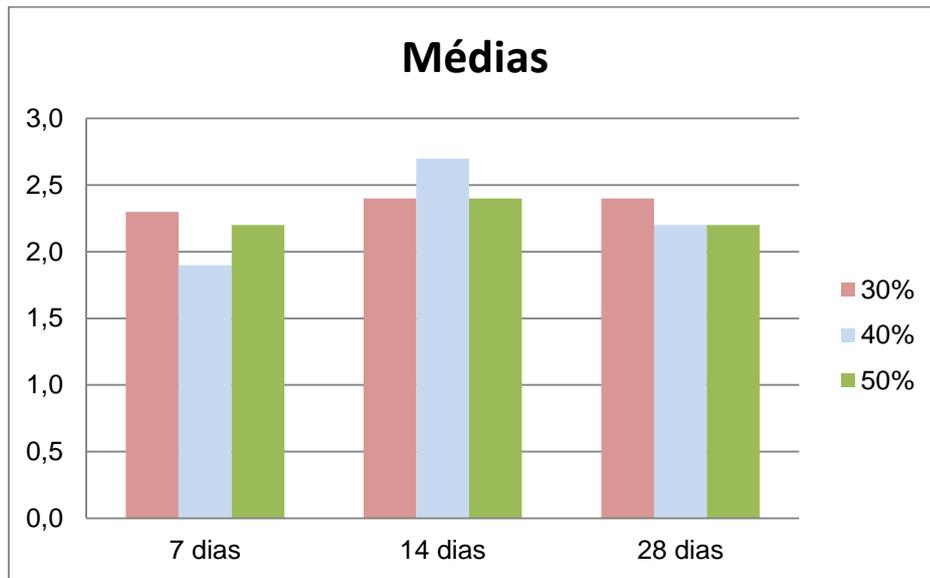
Os blocos de concreto tiveram resistência insatisfatória para as três substituições parciais de agregado miúdo por pó de serragem, em desacordo com o mínimo de 3,0 MPa exigido por norma. Ao apurar as médias alcançadas (tabela 13), observa-se que no decorrer das idades não houve grande alteração na resistência à compressão dos blocos, embora em todas as substituições os blocos tenham perdido resistência da idade de 14 para 28 dias. A figura 38 mostra a variância nas resistências nas idades de rompimento.

Tabela 13: Médias alcançadas em todas as idades e substituições

Substituição (%)	Resistência à compressão		
	7 dias	14 dias	28 dias
30%	2,3	2,4	2,4
40%	1,9	2,7	2,2
50%	2,2	2,4	2,2

Fonte: Autor, 2017.

Figura 38: Médias obtidas nas três substituições e nas três idades.



Fonte: Autor, 2017.

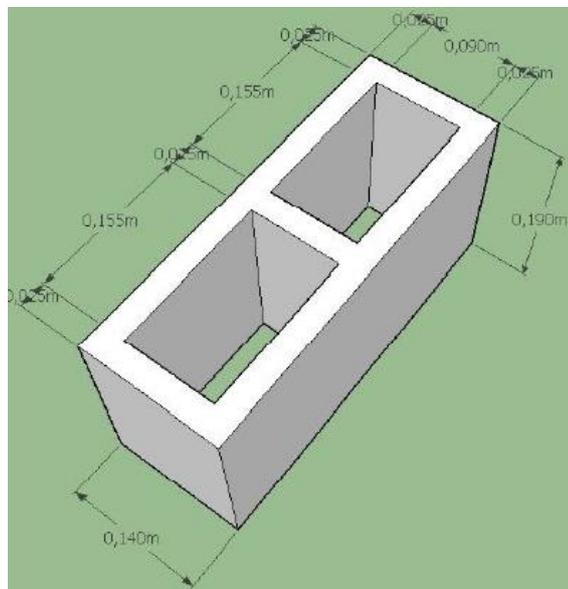
Em relação à água utilizada na mistura de confecção dos blocos, para um traço cheio a proporção era de 18 litros, para execução dos blocos foi necessário apenas metade do traço. Dessa forma, a proporção de água utilizada no traço de 30% foi de 9 litros, o traço com 40% de pó de serragem utilizou um pouco mais que 9 litros, em torno de 9,5 litros, já o traço com 50% precisou de mais água em virtude do material que estava sendo colocado, precisamente utilizou cerca de 10 litros de água. Vale ressaltar que embora a água estivesse sendo mensurada através de um balde, a consistência do concreto dependia basicamente do toque, onde um funcionário, com bastante experiência, pegava um pouco da mistura e apertava, dali ele definia se era necessário mais ou menos água.

Diante de tais fatos apresentados, vale salientar que o intuito principal do trabalho era adotar um traço com aproveitamento de resíduos sólidos e que ao mesmo tempo alcançasse a resistência mínima necessária, a partir daí seria executado o protótipo em cima desse traço e conseqüentemente mensurado o desempenho térmico. Todavia, como os blocos não alcançaram resistência, ficou inexecutável a continuação do estudo através do protótipo, sendo possível apenas a determinação do conforto através de fórmulas.

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

Para a caracterização dos blocos quanto à resistência, a capacidade e a transmitância térmica segundo ABNT NBR 15220 (2005) os blocos precisam ser analisados em duas seções para o cálculo das áreas, que posteriormente é utilizado no cálculo de resistência de ambiente a ambiente e da transmitância térmica. A modulação do bloco necessária para efetivação dos cálculos pode ser verificada conforme esboço a seguir (figura 39).

Figura 39: Bloco em perspectiva



Fonte: Autora, 2017.

##### 4.4.1. Resistência térmica

A resistência térmica como definida no capítulo anterior é a capacidade de redução na transmissão de calor. Para iniciar os cálculos dessa resistência foi necessário inicialmente verificar a área da seção A e em seguida foi determinada a resistência dessa seção ( $R_a$ ), conforme exposto a seguir.

✚ Seção A (concreto + pó de serragem):

$$A_a = B_a \times H_a$$

$$A_a = 0,025 \times 0,19$$

$$A_a = 0,00475 \text{ m}^2$$

$$Ra = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + \frac{e_{\text{pó de serragem}}}{\lambda_{\text{pó de serragem}}}$$

$$Ra = \frac{0,14}{1,75} + \frac{0,14}{0,058}$$

$$\mathbf{Ra = 2,493 (m^2 \cdot K)/W}$$

O mesmo procedimento foi realizado na seção B do bloco, cujo intuito também é obter a área dessa fração e conseqüentemente a sua resistência.

✚ Seção B (concreto + pó de serragem + câmara de ar + pó de serragem + concreto):

$$Ab = Bb \times Hb$$

$$Ab = 0,155 \times 0,19$$

$$\mathbf{Ab = 0,02945 m^2}$$

$$Rb = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + \frac{e_{\text{pó de serragem}}}{\lambda_{\text{pó de serragem}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{pó de serragem}}}{\lambda_{\text{pó de serragem}}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}}$$

$$Rb = \frac{0,025}{1,75} + \frac{0,025}{0,058} + 0,17 + \frac{0,025}{0,058} + \frac{0,025}{1,75}$$

$$\mathbf{Rb = 1,061 (m^2 \cdot K)/W}$$

Vale ressaltar que o valor para a espessura da câmara de ar ( $R_{ar}$ ), assim como os valores de condutividade térmica dos materiais (concreto e pó de serragem) foram retirados das tabelas B.1 e B.3 respectivamente da ABNT NBR 15220 (2005), a tabela B.1 é citada anteriormente na metodologia (tabela 3), já a outra pode ser visualizada em ANEXO A.

Por conseguinte a resistência térmica da parede foi de:

$$Rt = \frac{3 \times Aa}{\frac{3 \times Aa}{Ra}} + \frac{2 \times Ab}{\frac{2 \times Ab}{Rb}}$$

$$Rt = \frac{3 \times 0,00475}{\frac{3 \times 0,00475}{2,493}} + \frac{2 \times 0,02945}{\frac{2 \times 0,02945}{1,061}}$$

$$R_t = \frac{0,07315}{0,06123}$$

$$R_t = 1,1947 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Na sequência, utilizando o valor obtido anteriormente ( $R_t$ ) é calculada a resistência térmica total (resistência de ambiente a ambiente), na formulação é necessário buscar dois valores sendo eles a resistência interna e a resistência externa ( $R_{si}$  e  $R_{se}$ ) que também são tabelados pela norma em questão e que pode ser encontrados na tabela 4 do capítulo anterior.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,13 + 1,1947 + 0,04$$

$$R_T = 1,3647 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Para fins de comparação, foi calculada também a resistência térmica dos blocos de concreto do traço padrão. Os resultados são apresentados a seguir de forma sintetizada (tabela 14), já que apresentam o mesmo memorial de cálculo dos blocos de concreto compostos por pó de serragem, sendo necessário apenas fazer a retirada dos dados que incluem o resíduo madeireiro.

Tabela 14: Resistência térmica dos blocos de concreto do traço padrão

Itens	Resultados	
<b>Seção A</b>	Aa	0,00475 m <sup>2</sup>
	Ra	0,08 (m <sup>2</sup> .K)/W
<b>Seção B</b>	Ab	0,02945 m <sup>2</sup>
	Rb	0,198 (m <sup>2</sup> .K)/W
<b>Rt</b>	0,1538 (m <sup>2</sup> .K)/W	
<b>R<sub>T</sub></b>	0,3238 (m <sup>2</sup> .K)/W	

Fonte: Autor, 2017.

Em relação à resistência térmica de ambiente a ambiente dos blocos com pó de serragem o resultado foi de 1,3647 (m<sup>2</sup>.K)/W, quando comparados aos blocos de concreto do traço padrão que obteve valor igual a 0,3238 (m<sup>2</sup>.K)/W é possível concluir que a resistência térmica dos blocos com pó é mais elevada do que de um

bloco convencional, tornando os blocos fabricados mais resistentes e capazes de reduzir muito mais a transmissão de calor do meio externo para o meio interno.

#### 4.4.2. Transmitância térmica

No que tange a transmitância térmica, para o cálculo é necessário o valor da resistência térmica total, também denominada como resistência de ambiente a ambiente, já que a transmitância é considerada como sendo o inverso de tal valor. Em seguida a demonstração do cálculo e do resultado:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{1,3647}$$

$$U = 0,7328 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Assim como no bloco com pó de serra a transmitância térmica também foi calculada para o bloco de concreto convencional, apresentando resultado igual a 3,088 W/(m<sup>2</sup>.K). Como definido antes a transmitância é o fluxo de calor transmitido e quanto menor esse valor mais eficiente termicamente será o meu bloco. Diante disso ao analisar os resultados obtidos conclui-se que nesse quesito o bloco composto por pó de serra continua sendo melhor em quesitos térmicos do que o bloco convencional.

#### 4.4.3. Capacidade térmica

Para a capacidade térmica é necessário analisar os blocos também de acordo com as seções A e B. É através desse cálculo que se torna possível verificar a quantidade de calor que o bloco tem capacidade de absorver, para este é necessário ter conhecimento das características geométricas do bloco, da densidade aparente do material e do calor específico, esses últimos dois dados podem ser obtidos conforme tabela normatizada e que se encontra no ANEXO A.

✚ Seção A (concreto + pó de serragem):

$$C_{Ta} = (e \times c \times \rho)_{\text{concreto}} + (e \times c \times \rho)_{\text{pó de serragem}}$$

$$C_{Ta} = (0,14 \times 1,00 \times 2400) + (0,14 \times 2,30 \times 250)$$

$$C_{Ta} = 416,5 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

✚ Seção B (concreto + pó de serragem + câmara de ar + pó de serragem + concreto):

$$C_{Tb} = (e \times c \times \rho)_{\text{con}} + (e \times c \times \rho)_{\text{pó}} + (e \times c \times \rho)_{\text{ar}} + (e \times c \times \rho)_{\text{pó}} + (e \times c \times \rho)_{\text{con}}$$

$$C_{Tb} = (0,025 \times 1,00 \times 2400) + (0,025 \times 2,30 \times 250) + (0) + (0,025 \times 2,30 \times 250) + (0,025 \times 1,00 \times 2400)$$

$$C_{Tb} = 148,75 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Após a determinação das capacidades dos cortes, é possível obter a capacidade térmica total da parede (CT), que consiste na relação entre as áreas das seções e as capacidades das mesmas.

$$CT = \frac{3 \times A_a}{\frac{3 \times A_a}{C_{Ta}}} + \frac{2 \times A_b}{\frac{2 \times A_b}{C_{Tb}}}$$

$$CT = \frac{3 \times 0,00475}{\frac{3 \times 0,00475}{416,5}} + \frac{2 \times 0,02945}{\frac{2 \times 0,02945}{148,75}}$$

$$CT = \frac{0,07315}{0,00043}$$

$$CT = 170,05 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Sobre a capacidade térmica os blocos de concreto convencional apresentaram valores expressos na tabela 15, que assim como o da resistência são apresentados de forma resumida já que a metodologia de cálculo é a mesma do bloco com pó de serra com retirada apenas dos elementos que fazem referência a madeira.

Tabela 15: Capacidade térmica dos blocos de concreto do traço padrão

<b>Itens</b>	<b>Resultados</b>	
<b>Seção A</b>	Aa	0,00475 m <sup>2</sup>
	Cta	336 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
<b>Seção B</b>	Ab	0,02945 m <sup>2</sup>
	Ctb	120 kJ/(m <sup>2</sup> .k)
<b>C<sub>T</sub></b>	137,18 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	

Fonte: Autor, 2017.

Para a capacidade térmica tem-se que é a quantidade de calor necessário que um corpo necessita para sofrer variação na temperatura, visto isso, o bloco com pó de serragem apresentou valor igual a 170,05 kJ/(m<sup>2</sup>.K) enquanto o bloco de concreto convencional resultou em 137,18 kJ/(m<sup>2</sup>.K), ou seja, o bloco com pó resulta em um maior amortecimento das temperaturas internas quando comparado ao ambiente externo.

## 5. CONCLUSÃO

Em concordância com o que o que foi exposto e através da caracterização dos materiais, dos procedimentos de confecção dos blocos, das resistências a compressão, assim como do desempenho térmico torna-se possível concluir que os resultados encontrados nas caracterizações tanto do agregado quanto do pó de serragem foram satisfatórios, atendendo as exigências e critérios de normas específicas para os ensaios.

Quanto à resistência a compressão os blocos de concreto compostos por pó de serragem tiveram a sua resistência comprometida, embora os valores tenham se aproximado do mínimo necessário estabelecido pela ABNT 6136 (2016) nas três substituições. Não servindo nesse caso como alvenaria de vedação, já que os traços adotados e executados não possibilitaram a continuação do trabalho.

Devido aos resultados insatisfatórios apresentados na resistência, ficou impossibilitada a execução do protótipo, que era um dos meios de se calcular o desempenho térmico. Todavia, para efeito de conhecimento e como o intuito do trabalho era além de encontrar um traço ideal melhorar também o desempenho térmico da edificação, foi calculado através de fórmulas propostas na ABNT NBR 15220 (2005) o conforto térmico que os blocos com pó de serragem forneceriam. Sendo assim, quando comparada a resistência, a capacidade e a transmitância térmica dos blocos propostos no trabalho com os blocos convencionais nota-se que os primeiros apresentaram valores mais vantajosos, ou seja, estes termicamente falando são mais eficientes e preferíveis do que os outros (bloco de concreto convencional).

Logo, conclui-se que seria possível a reutilização dos resíduos madeireiros na confecção de blocos de concreto com vista no desempenho térmico, se o objetivo fosse somente esse, mas como a norma exige uma resistência mínima a compressão para blocos de concreto de vedação essa reutilização se torna inviável para o traço estabelecido.

## 5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como solicitado nos últimos anos as construções precisam contar com técnicas sustentáveis, sejam das mais simples ou das mais caras e sofisticadas. Em virtude disso, a reutilização de resíduos sólidos produzidos em grande escala possibilitaria além de um destino final adequado a sustentabilidade a essas edificações. Sendo assim, seria de suma importância realizar mais estudos a cerca do tema proposto neste trabalho. A seguir algumas sugestões:

- ✚ Adotar porcentagens menores para substituição do agregado pelo pó de serragem, caso o traço utilizado seja o mesmo empregado;
- ✚ Buscar um traço alternativo e realizar as substituições na mesma proporção utilizada neste, para fins comparativos;
- ✚ Comparar o desempenho térmico desse material com outro material que também teria como função o isolamento;
- ✚ E verificar além do desempenho térmico o desempenho acústico do material.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTO, M. M. et. al. **Compatibility of some tropical hard woods species with Portland cement using isothermal calorimetry.** Forest products journal – vol. 50, num. 9 pg. 83-88. USA: 2000.

ARRUDA, Pedro Paulo; SILVA, Aluzimar Oliveira; MARTINEZ, Rubens Gargiulo. **Utilização de resíduos de madeira como elemento construtivo.** Artigo para XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente – Juiz de Fora. Mato Grosso: 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776:** Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:** Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508:** Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

BARBOSA, Paula Glória. **Uma contribuição para o design do conforto: avaliação da difusividade térmica de blocos cerâmicos e de concreto utilizando termografia infravermelha.** Mestrado em Design – Universidade do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2014, 146p.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção 1**. 5ª Edição Revisada [Reimpr] - Rio de Janeiro: Ltc, 2015. 488 p.

BEZERRA, Luciano André Cruz. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com eps como agregado graúdo**. Mestrado em Engenharia Mecânica – Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN: 2003.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: tentativa de definição**. Artigo publicado no Jornal do Brasil, 2012. Disponível em: <http://www.jb.com.br/sociedade-aberta/noticias/2012/01/18/sustentabilidade-tentativa-de-definicao/>. Acesso em: 18 de setembro de 2016.

CONAMA BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº.348 de 16 de agosto de 2004**.

BUEHLMANN, U. **Recyclingwoods: a supplementto recycling works**. Value-added opportunities for recycled wood. Summer: 2002, p. 01-04.

CADERNO TÉCNICO ALVENARIA ESTRUTURAL –CT10. **Prisma**. São Paulo: 2010. Suplemento.

CARVALHO, Jose Vitorio de. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de Eucalipto Grandis na fabricação de compósitos a base de cimento PORTLAND**. 2000. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

CLARO, Priscila Borin de Oliveira; AMANCIO, Robson; CLARO, Danny Pimentel. **Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações**. São Paulo: Revista Adm: 2008.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil**. 70 f. Monografia – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte - MG, 2009.

CORDOVIL, Luiz Augusto Berger Lopes. **Estudo da ABNT NBR 15575 – “Edificações habitacionais – Desempenho” e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 2013.

CRISTINA, Eliane; SIMÕES, Alinne; GARCEZ, Naná. **Construção verde**. Revista Edificar, 2011. Disponível em: [www.revistaedificar.com.br](http://www.revistaedificar.com.br). Acesso em: 18 de setembro de 2016.

DANTAS FILHO, Flavio Pedrosa. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2004.

DUARTE, Vanessa C.P. **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 2016. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161\\_v2016.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf).

Acesso em: 12 de outubro de 2016.

FERREIRA, D. D.M.; NOSCHANG, C. R. T.; FERREIRA, L. F. **Gestão de Resíduos da Construção Civil e de Demolição: Contribuições para a Sustentabilidade Ambiental**. V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, RJ, 2009.

GARCEZ, Mônica Regina; SANTOS, Thiara; GATTO, Darci Alberto. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados com adição de serragem**. Ciência e Engenharia, v. 22. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, 2013.

GONÇALVES, J. E., SARTORI M.M.P, LEÃO, A.L. **Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de Eucalyptus grandis**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.13, n.5, p.657–661, 2009.

GOMES, J. A. Veloso. **Avaliação do desempenho de edifícios segundo a Norma NBR 15575: adaptação ao caso de edifício reabilitado**. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015.

KALIL, Sílvia. **Alvenaria Estrutural**. Apostila de estruturas mistas. PUCRS – Porto Alegre: 2007. 86p.

LIMA, Rosimeire Suzuki; LIMA, Ruy Reginaldo Rosa. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. Publicações temáticas CREA-PR, 2009.

MACEDO, Denízia Gonçalves. **Compósitos de Serragem de Madeira e Resíduos de Recauchutagem de Pneu**. 144f. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD – 012/2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2008.

MATOSKI, Adalberto. Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2005.

MICHEVIZ, Juliana; SANTOS, Juliane da Costa; TEIXEIRA, Roger Alexandre Nonato da Luz. **Análise experimental de blocos de concreto com função estrutural produzidos com agregados leves**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba: 2011.

ORDENES, M.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. **Transferência de calor na envolvente da edificação**. Apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Campus Universitário Trindade da UFSC. Florianópolis: 2008.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

REVISTA MADEIRA. **A condutividade térmica da madeira**. Edição nº 112 – Abril de 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira>. Acesso em 29 de agosto de 2016.

REVISTA CREA-TO. **Como alavancar a tecnologia e ao mesmo tempo preservar o meio ambiente? Engenheiros precisam enfrentar este desafio**. Records Propaganda, v. 002, 2016. Disponível em: [http://www.crea-to.org.br/documentos/revistacrea/Revista\\_CREA\\_TO\\_022016.pdf](http://www.crea-to.org.br/documentos/revistacrea/Revista_CREA_TO_022016.pdf). Acesso em: 19 de agosto de 2016.

ROCHA, J. C. **Relatório final: aproveitamento dos resíduos de madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2004.

ROTH, Caroline das Graças; GARCIAS, Carlos Mello. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. Desenvolvimento em Questão, Curitiba, v. 7, n. 13, p.111-128, 2009. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/desenvolvimentoemquestao/article/view/169/125> Acesso em: 18 de setembro de 2016.

SILVA, José Lázaro Pinheiro. **Aproveitamento de resíduos da indústria madeireira para geração de energia elétrica – O caso da empresa B. K. Energia Itacoatiara Ltda no estado do Amazonas**. Especialização em Gestão da Indústria Madeireira e Moveleira– Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2011.

SLOAN, Philip; LEGRAND, Willy; CHEN, Joseph S. **Sustainability in the hospitality industry**. 2<sup>o</sup> edition. New York: Routledge, 2013.

SORGATO, Marcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Santa Catarina: 2009.

SOUZA, B. A. et al. **Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da indústria da construção civil**. Salvador, 2015.

STANCATO, A.C.; BURKE, A.K.; PAULON, V.A. **Estudo das propriedades do concreto com agregado miúdo composto de areia e resíduos vegetais**. 43 Congresso Brasileiro do Concreto. Foz de Iguaçu, 2001.

TUOTO, Marco. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado**. Sumário Executivo – Revisão 01. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Paraná: 2008.

VEZARO, Simone. **Sistema construtivo isopet: estudo das propriedades mecânicas e térmicas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas-TO: 2016.

VITORIANO, Jussier O.; FELIPE, Renata C. **Avaliação das propriedades mecânicas da matriz polimérica com adição de pó de madeira.** Artigo para Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu. Paraná: 2009.

XAVIER, Mariana dos Anjos. **Avaliação dos materiais alternativos para construção verde de baixa renda: um estudo de embalagens tetra pak e garrafas pet.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas-TO: 2016.

ZOLDAN, Marcos Aurelio; LIMA, Cristiane Aparecida Pereira. **A classificação sustentável dos resíduos madeireiros otimizando os processos - estudo de caso.** XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio Grande do Sul: 2012.

## ANEXOS

### ANEXO A – Propriedades térmicas dos materiais

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Fibro-cimento</b>			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (<math>\rho</math> dos inertes <math>\sim</math>750 kg/m<sup>3</sup>)</b>			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
<b>Concreto com argila expandida</b>			
dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes > 350 kg/m <sup>3</sup>	1800-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,48	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes < 350 kg/m <sup>3</sup>	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	800-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
<b>Gesso</b>			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlite expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
<b>Granulados</b>			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Impermeabilizantes</b>			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
<b>Madeiras e derivados</b>			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
<b>Metais</b>			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
<b>Pedras (incluindo junta de assentamento)</b>			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	900-1700	0,40	
	1200-1400	0,20	
<b>Vidro</b>			
vidro comum	2500	1,00	0,84

## APÊNDICE

**APÊNDICE A - Resultados de resistência a compressão do traço referência na idade de 7 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	24150	4,4
2	140	390	190	26360	4,8
3	140	390	190	31170	5,7
4	140	390	190	30080	5,5
5	140	390	190	25020	4,6
6	140	390	190	29090	5,3
<b>Média</b>					<b>5,1</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,53</b>

**APÊNDICE B - Resultados de resistência a compressão do traço referência na idade de 14 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	51770	9,5
2	140	390	190	44820	8,2
3	140	390	190	46770	8,6
4	140	390	190	45330	8,3
5	140	390	190	48340	8,9
6	140	390	190	50080	9,2
<b>Média</b>					<b>8,8</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,51</b>

**APÊNDICE C - Resultados de resistência a compressão do traço referência na idade de 28 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	41210	7,5
2	140	390	190	40120	7,3
3	140	390	190	45010	8,2
4	140	390	190	39880	7,3
5	140	390	190	46510	8,5
6	140	390	190	43180	7,9
<b>Média</b>					<b>7,8</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,50</b>

**APÊNDICE D - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 30% na idade de 7 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	14000	2,6
2	140	390	190	12450	2,3
3	140	390	190	10650	2,0
4	140	390	190	9350	1,7
5	140	390	190	13470	2,5
6	140	390	190	11970	2,2
<b>Média</b>					<b>2,2</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,33</b>

**APÊNDICE E - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 30% na idade de 14 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	12077	2,2
2	140	390	190	15557	2,8
3	140	390	190	14766	2,7
4	140	390	190	11698	2,1
5	140	390	190	11849	2,1
6	140	390	190	17530	3,1
<b>Média</b>					<b>2,5</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,42</b>

**APÊNDICE F - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 30% na idade de 28 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	14148	2,5
2	140	390	190	14267	2,6
3	140	390	190	14386	2,6
4	140	390	190	12890	2,3
5	140	390	190	12175	2,2
6	140	390	190	12229	2,2
<b>Média</b>					<b>2,4</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,19</b>

**APÊNDICE G - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 40% na idade de 7 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	10550	1,9
2	140	390	190	12090	2,2
3	140	390	190	11500	2,1
4	140	390	190	9710	1,8
5	140	390	190	8910	1,6
6	140	390	190	14260	2,6
<b>Média</b>					<b>2,0</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,35</b>

**APÊNDICE H - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 40% na idade de 14 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	11578	2,1
2	140	390	190	16533	3,0
3	140	390	190	16424	2,9
4	140	390	190	14061	2,5
5	140	390	190	15297	2,7
6	140	390	190	12023	2,2
<b>Média</b>					<b>2,6</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,37</b>

**APÊNDICE I - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 40% na idade de 28 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	19395	3,5
2	140	390	190	11286	2,0
3	140	390	190	11513	2,1
4	140	390	190	12109	2,2
5	140	390	190	13508	2,4
6	140	390	190	13736	2,5
<b>Média</b>					<b>2,5</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,55</b>

**APÊNDICE J - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 50% na idade de 7 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	10250	1,9
2	140	390	190	12000	2,2
3	140	390	190	13180	2,4
4	140	390	190	10290	1,9
5	140	390	190	13540	2,5
6	140	390	190	15610	2,8
<b>Média</b>					<b>2,3</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,35</b>

**APÊNDICE K - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 50% na idade de 14 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	12749	2,3
2	140	390	190	15763	2,8
3	140	390	190	15080	2,7
4	140	390	190	17389	3,1
5	140	390	190	11817	2,1
6	140	390	190	11524	2,1
<b>Média</b>					<b>2,5</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,41</b>

**APÊNDICE L - Resultados de resistência a compressão do traço com substituição de 50% na idade de 28 dias.**

CP	DIMENSÕES (mm)			FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
	(L)	(C)	(H)		
1	140	390	190	12055	2,2
2	140	390	190	19395	3,5
3	140	390	190	12847	2,3
4	140	390	190	14364	2,6
5	140	390	190	10949	2,0
6	140	390	190	11936	2,1
<b>Média</b>					<b>2,5</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>0,56</b>

**APÊNDICE M – Memorial de cálculo dos limites das amostras.**

<b>Traço 30%</b>			
	<b>7 dias</b>	<b>14 dias</b>	<b>28 dias</b>
<b>s(x)</b>	0,33	0,42	0,19
<b><math>\dot{x}</math></b>	2,2	2,5	2,4
<b>e</b>	0,346	0,441	0,199
<b><math>\mu_s</math></b>	2,5	2,9	2,6
<b><math>\mu_i</math></b>	1,9	2,1	2,2
<b>Traço 40%</b>			
	<b>7 dias</b>	<b>14 dias</b>	<b>28 dias</b>
<b>s(x)</b>	0,35	0,37	0,55
<b><math>\dot{x}</math></b>	2	2,6	2,5
<b>e</b>	0,367	0,388	0,577
<b><math>\mu_s</math></b>	2,4	3,0	3,1
<b><math>\mu_i</math></b>	1,6	2,2	1,9
<b>Traço 50%</b>			
	<b>7 dias</b>	<b>14 dias</b>	<b>28 dias</b>
<b>s(x)</b>	0,35	0,41	0,56
<b><math>\dot{x}</math></b>	2,3	2,5	2,5
<b>e</b>	0,367	0,430	0,588
<b><math>\mu_s</math></b>	2,7	2,9	3,1
<b><math>\mu_i</math></b>	1,9	2,1	1,9
<b>Traço Padrão</b>			
	<b>7 dias</b>	<b>14 dias</b>	<b>28 dias</b>
<b>s(x)</b>	0,53	0,51	0,5
<b><math>\dot{x}</math></b>	5,1	8,8	7,8
<b>e</b>	0,556	0,535	0,525
<b><math>\mu_s</math></b>	5,7	9,3	8,3
<b><math>\mu_i</math></b>	4,5	8,3	7,3