



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
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

Diego Araujo Santos

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE VERMICULITA EXPANDIDA
COMO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.

Palmas – TO

2019

Diego Araujo Santos

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE VERMICULITA EXPANDIDA
COMO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.

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/ULBRA).
Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro.

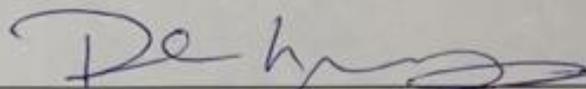
Palmas – TO
2019

DIEGO ARAUJO SANTOS

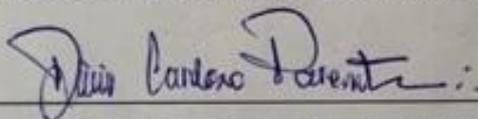
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE VERMICULITA EXPANDIDA
COMO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.

Aprovado em 11 de Nov.

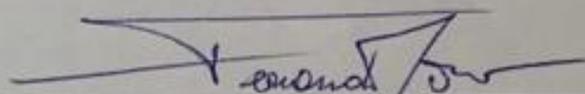
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro
CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS



Prof. Esp. Denis Cardoso Parente
CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS



Prof. M.Sc. Fernando Moreno Suarte Júnior
CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Palmas - TO

2019

EPÍGRAFE

"Você quer ser excelente? Verdadeiramente excelente no que faz? Então seja excelente todos os dias, em todas as partes da sua vida. É isso que as melhores pessoas fazem." (Capitã Marvel).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu força e saúde para concluir não só essa pesquisa como também essa etapa de minha vida.

Agradeço a minha família por me apoiar e incentivar durante todo o período de faculdade me dando forças para continuar.

Aos meus pais pelos ensinamentos, pelo exemplo de vida a ser seguido e por todo apoio e conselhos dado não só durante a faculdade, mas por toda a minha vida.

Agradeço aos meus amigos, em especial ao Salomão Arrais, José Luiz, José Manuel, Beatriz Resplande e Lohane Albuquerque, que em momentos me ajudaram e apoiaram na execução desta pesquisa e no decorrer da graduação.

Ao professor Fábio Ribeiro por todo suporte, dedicação, incentivo e conhecimento compartilhado na realização desse trabalho.

A coordenadora de curso Kenia Lopes e a todos os professores do CEULP/ULBRA, pelos ensinamentos que me fizeram chegar até aqui.

E a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram, diretamente ou indiretamente, o meu muito obrigado!

RESUMO

SANTOS, Diego Araujo. **Avaliação da influência da utilização de vermiculita expandida como agregado miúdo nas propriedades do concreto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

Esta pesquisa teve como objetivo verificar a viabilidade da utilização de vermiculita expandida como substituição parcial do agregado miúdo para a produção de concretos leves estruturais. Para fazer essa verificação, foi calculado e rodado traços de concreto com teores de substituição desse agregado, esses teores foram 20%, 40% e 60%. Todos os concretos passaram por ensaios no estado fresco e no estado endurecido, sendo eles, ensaio de abatimento por meio do tronco de cone, a fim de verificar a consistência do concreto. Resistência a compressão, resistência a tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, absorção de água, índice de vazios e massa específica. Todos os resultados obtidos por meio desses ensaios no decorrer dessa pesquisa foram comparados com um concreto feito totalmente com areia natural, o concreto de referência. De modo geral a resistência tanto à compressão quanto à tração, o módulo de elasticidade e massa específica foram diminuindo com o aumento do teor de vermiculita expandida. Já o abatimento, a absorção de água e o índice de vazios aumentaram. De acordo com as normas brasileiras de regulamentação, os concretos não foram considerados como leve, porém se forem comparados com uma norma norueguesa, a NS 3473.E (1998), todos os concretos podem ser considerados como leve, e os com teores de 20 e 40% como estrutural.

Palavras-chave: Concreto leve, Estrutural, Vermiculita expandida, Agregado leve.

ABSTRACT

SANTOS, Diego Araujo. **Evaluation of the influence of the use of expanded vermiculite as fine aggregate on concrete properties.** 2019. Course Conclusion Paper (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2019.

This research aimed to verify the feasibility of using expanded vermiculite as a partial replacement of aggregate for the production of lightweight concrete. To make this verification, it was calculated and rotated concrete with substitution contents of this aggregate, these contents were 20%, 40% and 60%. All concretes Experimented for fresh and steady state tests, namely, cone stem reduction test, a purpose of checking concrete consistency. Compressive strength, diametral compressive strength, modulus of elasticity, water absorption, leak rate and specific mass. All results obtained through these tests during this research were compared with a concrete made entirely of natural sand, or reference concrete. In general, the compressive and shear strength, the modulus of elasticity and the specific mass decreased as the expanded vermiculite content increased. The abatement, water absorption and voids index increased. According to Brazilian standards of use, concretes were not considered to be lightweight, for example, the main ones compared to a Norwegian standard, an NS 3473.E (1998), all concretes can be considered as lightweight, and those with 20 and 40% as structural.

Keywords: Lightweight concrete, Structural, Expanded vermiculite, Lightweight aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Macroestrutura do concreto.....	18
Figura 2 - Micrografia eletrônica da varredura ilustrando as fases resultantes de mistura de solução de aluminato de cálcio com uma solução de sulfato de cálcio ...	20
Figura 3 - Representação esquemática da exsudação no concreto recém lançado.....	21
Figura 4 - Concreto leve	22
Figura 5 - Diferentes distribuições granulométricas dos agregados	26
Figura 6 - Espectro dos agregados leves	29
Figura 7 - Fotografia de amostras de vermiculita: (a) vermiculita natural; (b) vermiculita expandida.....	30
Figura 8 - Abatimento do primeiro teste da absorção da vermiculita expandida	43
Figura 9 - Abatimento do segundo teste da absorção da vermiculita expandida	44
Figura 10 - Abatimento do concreto com 20% de teor de substituição	47
Figura 11 – Ensaio de compressão	48
Figura 12 - Ensaio a tração por compressão diametral	49
Figura 13 - Ensaio de módulo de elasticidade	50
Figura 14 - Corpo de prova imerso em água após fervura	51
Figura 15 - Massa seca após 72 horas na estufa	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de referência da massa específica dos concretos leves estruturais.....	23
Tabela 2 - Valores correspondentes a resistência à compressão e massa específica para concreto leve estrutural.....	24
Tabela 3 - Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	26
Tabela 4 - Limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo	27
Tabela 5 – Composição granulométrica dos agregados.....	35
Tabela 6 – Massa específica dos agregados.....	38
Tabela 7 – Massa unitária dos agregados	39
Tabela 8 – Materiais pulverulentos da areia natural	40
Tabela 9 – Impurezas orgânicas da areia natural.....	41
Tabela 10 - Consumo de materiais por metro cúbico de concreto.....	45
Tabela 11 - Quantidade de corpos de prova e idades para rompimento	46
Tabela 12 - Consistência dos concretos por meio do slump test.....	54
Tabela 13 - Média da resistência à compressão dos corpos de prova	55
Tabela 14 - Média da resistência à tração dos corpos de prova.....	57
Tabela 15 – Módulo de elasticidade por meio do fck obtidos dos corpos de prova	59
Tabela 16 – Absorção de água dos corpos de prova	60
Tabela 17 – Classificação dos traços quanto a massa específica.....	63

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo	35
Gráfico 2 - Curva granulométrica da vermiculita	36
Gráfico 3 - Curva granulométrica do brita	36
Gráfico 4 - Comparativos dos resultados dos slumps obtidos na pesquisa	55
Gráfico 5 - Comparativo da resistência a compressão obtidos na pesquisa...	56
Gráfico 6 - Comparativo da resistência a tração obtidos na pesquisa	58
Gráfico 7 - Comparativo do módulo de elasticidade obtidos na pesquisa	59
Gráfico 8 - Comparativo da absorção de água obtidos na pesquisa	60
Gráfico 9 - Comparativo das porcentagens do índice de vazios dos concretos obtidos na pesquisa	61
Gráfico 10 - Comparativo das resistências à compressão obtidos na pesquisa	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – Alumínio

ACI – American Concrete Institute

CLE – Concreto Leve Estrutural

CP – Corpo de Prova

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral

Fe – Ferro

FIHP – Federación Ibero Americana de Hormigón Premesclado

GPa – Gigapascal

H₂O – Água

Mg – Magnésio

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

SiO - Silicato

T20 – Traço com 20% de teor de substituição

T40 – Traço com 40% de teor de substituição

T60 – Traço com 60% de teor de substituição

TR – Traço de referência

UNESP – Universidade Estadual Paulista

µm – Micrômetro

°C – Grau Celsius

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	OBJETIVOS	15
1.1.1.	Objetivo Geral	15
1.1.2.	Objetivo Específicos	15
1.2.	JUSTIFICATIVA	15
2.	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	17
2.1.	CONCRETO.....	17
2.1.1.	Microestrutura	18
2.1.2.	Microestrutura da pasta de cimento hidratada	19
2.1.3.	Microestrutura da fase agregado.....	20
2.1.4.	Zona de transição.....	21
2.2.	CONCRETO LEVE.....	22
2.3.	AGREGADOS	24
2.3.1.	Agregado miúdo	26
2.3.2.	Agregado graúdo.....	27
2.3.3.	Agregados leves.....	28
2.4.	CIMENTO.....	30
2.5.	ÁGUA.....	31
3.	METODOLOGIA	32
3.1.	TIPO DE ESTUDO	32
3.2.	LOCAL DE PESQUISA	32
3.3.	OBJETO DE ESTUDO	32
3.4.	MATERIAIS.....	33
3.4.1.	Cimento Portland.....	33
3.4.2.	Agregado miúdo	33

3.4.3. Agregado graúdo.....	33
3.4.4. Água.....	34
3.5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	34
3.5.1. Agregados.....	34
3.6. DOSAGEM DO CONCRETO	41
3.7. ENSAIOS DO CONCRETO	45
3.7.1. Estado plástico	46
3.7.2. Estado endurecido.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1. CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS	54
4.1.1. Estado plástico	54
4.1.2. Estado endurecido.....	55
5. CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

O material de construção mais usado no mundo é o concreto. Devido ao fato de seus compostos serem obtidos de modo relativamente fácil, e por ele ser um material que possui aplicação versátil, adaptando-se com facilidade às condições existentes do local onde aplicado.

Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que resulta em, aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante/ano, segundo a Federación Ibero Americana de Hormigón Premesclado (FIHP), esse valor é inferior apenas ao consumo de água (PEDROSO, 2009).

Esse grande consumo que só vai aumentando cada vez mais, resulta no interesse em estudar e buscar desenvolver técnicas, equipamentos e materiais que venham a melhorar as propriedades e características desse produto. A utilização de componentes como adições e aditivos, resultaram em criação de concretos com características especiais, um exemplo a ser citado é o concreto leve estrutural (CLE).

O concreto leve segundo a NBR 8953 (2005) é aquele que apresenta uma massa específica seca, de acordo com a NBR 9778 (2009), inferior a 2000 Kg/m³. Essa baixa massa específica pode facilitar a sua utilização em paredes de concreto, obras de pequeno porte, além de reduzir as solicitações na fundação das estruturas, resultando em fundações menores e conseqüentemente com menor custo.

Uma das formas para se obter concreto com baixa massa específica é pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves. (ROSSIGNOLO, 2009).

O CLE tem um enorme potencial de utilização, em especial a estruturas que apresenta um peso próprio elevado, e com algumas exigências arquitetônicas, pois em muitos casos é necessário o uso de um concreto com resistência estrutural, e ao mesmo tempo leve, para vencer grandes vãos.

A vermiculita é um mineral industrial que quando aquecida se expande em até 30 vezes o seu volume original. Esse aquecimento resulta na vermiculita expandida, um minério granular poroso e leve. Conforme o Departamento Nacional da produção mineral (DNPM), em 2013 houve um aumento significativo no consumo aparente de vermiculita no Brasil, esse consumo correspondeu a quase 30 mil toneladas, designado principalmente para a construção civil e agricultura (PAULA, 2013).

Os agregados leves apresentam uma boa aplicabilidade para o meio da construção civil, sendo eles, possíveis alternativas para concretos e argamassas, além de ser possíveis substitutos para os agregados convencionais. A vermiculita expandida é um agregado mineral que é considerado leve, pois apresenta como principal característica uma baixa densidade, além de ter também uma alta capacidade de isolamento térmico e acústico.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Verificar a viabilidade da utilização de vermiculita expandida como agregado miúdo para a produção de concretos leves estruturais a partir de 20MPa.

1.1.2. Objetivo Específicos

- Analisar a influência da utilização de vermiculita expandida em substituição da área natural nos teores de 20, 40 e 60%, nas propriedades do concreto.
- Avaliar as propriedades do concreto obtido com o uso de vermiculita expandida no estado plástico: trabalhabilidade;
- Avaliar as propriedades do concreto obtido com o uso de vermiculita expandida no estado endurecido: resistência a compressão; resistência a tração; módulo de elasticidade; absorção de água; índice de vazios e massa específica.

1.2. JUSTIFICATIVA

A Produção de concreto vem crescendo cada vez mais pelo mundo, explorar recursos naturais acarreta em impactos ambientais e não é uma ideia tão atrativa. Decorrente desse problema, pesquisadores vem estudando e se esforçando cada vez mais para desenvolver alternativas a materiais e métodos construtivos convencionais. O concreto leve estrutural é uma opção de alternativa para substituir o concreto convencional.

Normalmente, a utilização do CLE em uma estrutura resulta em um custo total menor. Pois com a diminuição do peso próprio é possível reduzir os custos com as fundações. De acordo com Mehta e Monteiro (2014) em 1936, a construção do

tabuleiro de concreto leve para a ponte da Baía de São Francisco – Oakland resultou numa economia de 3 milhões de dólares em aço. A construção do edifício Australian Square em Sydney, uma torre circular de 50 andares com 184 metros de altura por 42,5 metro de diâmetro, houve uma economia de 13% no custo de construção com o uso de 31000 metros cúbicos de vigas, pilares e pisos de concreto leve acima do sétimo andar.

Esse trabalho busca mostrar a importância em que o meio da construção civil tem em relação a preservação do ecossistema. Pretende-se, conscientizar melhor as pessoas que trabalham nesse meio, pois tal conscientização contribuirá bastante para que as pessoas busquem outros tipos de materiais que não venha a prejudicar o meio ambiente.

Nesse contexto, o presente trabalho visa a experimentação de concreto feito com substituição do agregado miúdo por vermiculita expandida, buscando a comprovação da benefícios e da funcionalidade da utilização da vermiculita expandida como um agregado leve.

Importante ressaltar que não existe norma específica para concreto leve estrutural, e decorrente dessa falta de normatização, é importante a realização de estudos em cima do mesmo, com a finalidade de buscar resultados para provar a sua viabilidade técnica e econômica.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1. CONCRETO

O concreto é um material composto essencialmente por um aglutinante, como o cimento Portland, agregados, sendo eles miúdos e graúdos, e água. Os agregados são materiais granulares como brita, seixos, ou resíduos de construções. Referente aos agregados, a NBR 7211 define agregado graúdo por partículas de diâmetro maior que 4,75 mm (peneira nº 4) e agregado miúdo por particular de diâmetro superior a 0,075 mm e inferior a 4,75mm (BARROS, 2016).

O concreto endurecido é um material com alta resistência à compressão e baixa resistência à tração. A dureza do mesmo está ligada diretamente ao fator água/cimento, tipos e quantidade de agregados, e da homogeneização no momento de sua aplicação. Uma homogeneização mal caracterizada pode interferir na sua resistência física, fazendo com que se torne uma pasta inviável para aplicação na construção civil (NOGUEIRA, 2010).

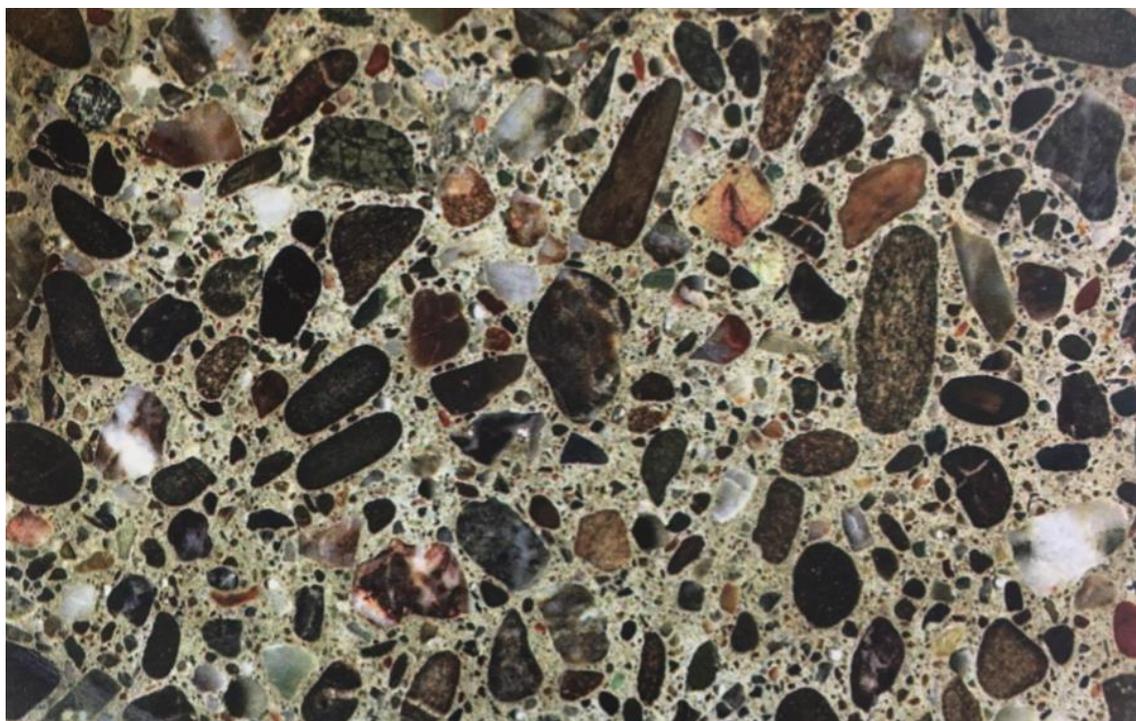
Um dos materiais mais utilizados no mercado da construção civil é o concreto. Mesmo com a entrada de novos materiais no setor da construção, ele ainda continua sendo empregado devido suas ótimas propriedades mecânicas, além de possuir baixo custo e alta flexibilidade construtiva. Boa parte dos impactos humano ao meio ambiente e de responsabilidade do concreto, mas apesar de tudo, ele é um dos materiais mais empregados e importantes da atualidade. Para reduzir esses impactos causados pela quantidade de resíduos gerados, é necessária realizar pesquisas para aplicação de novos materiais como substituição aos utilizados tradicionalmente. Isso gera benefícios ao meio ambiente, pois aproveita resíduos, e às reservas geológicas dos agregados utilizados, pois as mantêm conservadas (BARROS, 2016).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), existe três razões principais para o concreto ser largamente utilizado como material na engenharia. O primeiro é a sua elevada resistência a água, que diferentemente da madeira e do aço comum, em contato com o líquido não sofre graves deteriorações, sendo um excelente material para criação de estruturas para armazenamento, controle, e transporte de água. O segundo é pela sua consistência plástica em estado fresco, que possibilita ser moldado em diferentes formas e tamanhos. E o terceiro é por apresentar um baixo custo, e grande facilidade de encontrar os materiais para sua produção.

2.1.1. Microestrutura

O concreto de cimento Portland apresenta uma microestrutura altamente complexa e heterogênea. Seu tipo, quantidade, tamanho, forma e distribuição de fases presentes em um único sólido constituem sua microestrutura, termo no qual é utilizado para a porção com grandeza microscópica da macroestrutura. A microestrutura do concreto é dividida em três constituintes: pasta de cimento hidratada, agregado e zona de transição na interface entre o agregado e a pasta de cimento. A Figura 1 representa a microestrutura do concreto: (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Figura 1 - Macroestrutura do concreto



Fonte: adaptado do Mehta e Monteiro (2014)

Além disso, segundo Mehta e Monteiro (2014), cada fase é de natureza multifásica. Todas as partículas de agregados podem conter inúmeros minerais, além de vazios e microfissuras. Analogamente, tanto a zona de transição como a pasta geralmente contêm uma distribuição heterogênea, de diferentes tipos e quantidades de fases sólidas, microfissuras e poros, acrescentando-se ainda o fato de serem sujeitas a modificações, temperatura e umidade ambiente, o que torna o concreto um material com características parcialmente intrínsecas ao material.

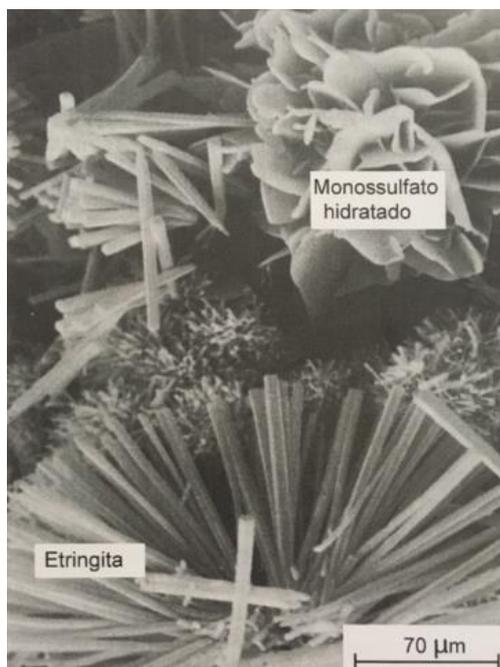
2.1.2. Microestrutura da pasta de cimento hidratada

O cimento é composto por particular angulares com dimensões variando normalmente entre 1 a 50 μm . É produzido pela moagem de um clínquer com pequena quantidade de sulfato e calcário, sendo o clínquer uma mistura heterogênea de diversos compostos produzidos por reações a alta temperatura, entre sílica e óxido de cálcio, óxido de ferro e alumina. A composição química dos principais componentes do clínquer são aproximadamente C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF^1 (METHA E MONTEIRO, 2014).

Mehta e Monteiro (2014) afirma também que, quando o cimento entra em contato com a água, o sulfato de cálcio e os compostos de cálcio de alta temperatura começam a entrar em solução, e a fase líquida se torna rapidamente saturada com várias espécies de íons. Como resultado da interação entre cálcio, sulfato, aluminato, e íons hidroxilas, e em poucos minutos da hidratação do cimento, começam a aparecer cristais de trissulfoaluminato de cálcio hidratado, mais conhecido como etringita. Poucas horas depois, grandes cristais prismáticos de hidróxido de cálcio e pequenos hidratos de silicato de cálcio fibrosos começam a preencher os espaços vazios antes ocupados por água e particular de cimento em dissolução. Alguns dias depois, dependendo da relação alumina-sulfato o monossulfoaluminato hidratado, que tem a forma de placa hexagonal. A morfologia de placa hexagonal também é uma característica dos aluminatos de cálcio hidratados que são formados em pastas de cimentos hidratadas contendo baixo teor de sulfato ou alto teor de C_3A . A Figura 2 representa uma micrografia eletrônica de varredura ilustrando as fases resultantes de mistura de solução de aluminato de cálcio com uma solução de sulfato de cálcio.

¹ Químicos de cimento utilizam normalmente as seguintes abreviações C = CaO; S = SiO₂
A = Al₂O₃; F = Fe₂O₃

Figura 2 - Micrografia eletrônica da varredura ilustrando as fases resultantes de mistura de solução de aluminato de cálcio com uma solução de sulfato de cálcio



Fonte: adaptada Mehta e Monteiro (2014)

2.1.3. Microestrutura da fase agregado

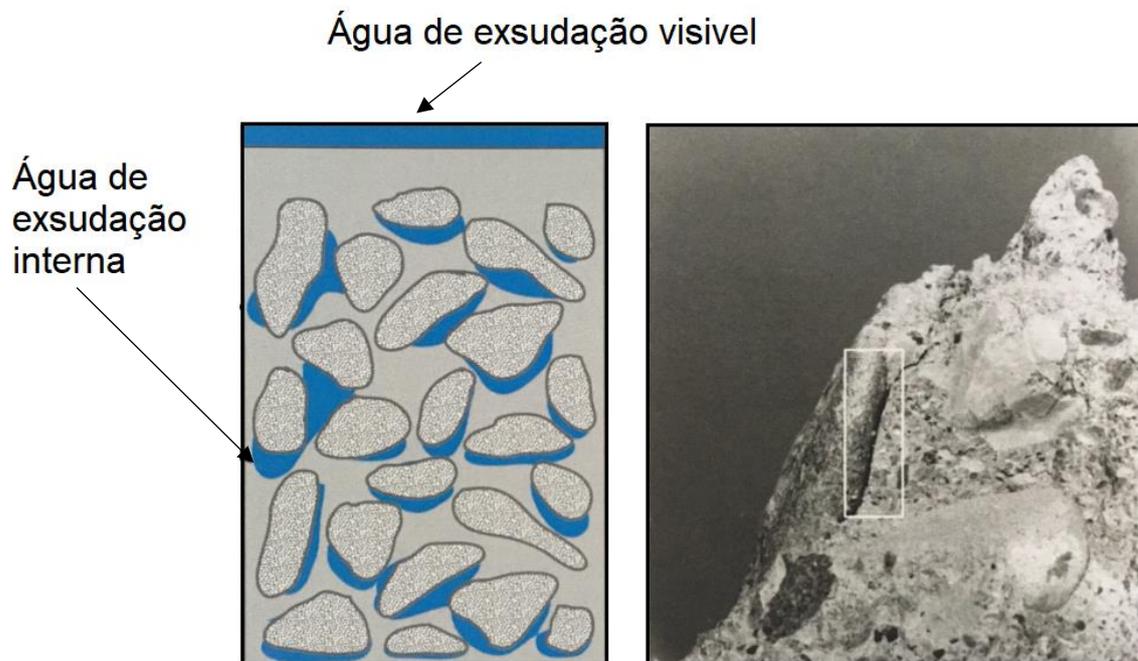
Essa fase é a principal responsável por algumas propriedades importantes do concreto, como a massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Propriedades que dependem, principalmente, da resistência e densidade do agregado, que são determinadas mais por suas características físicas do que químicas. Isso significa que a composição química ou mineralógica das fases sólidas no agregado tem menos importância do que as características físicas, tais como tamanho, distribuição dos poros e volume (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A forma e textura do agregado miúdo também afetam as propriedades do concreto. A depender do tipo de rocha e da escolha do britador, os agregados britados como conter partículas achatadas ou alongadas que resulta negativamente em muitas propriedades do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

A dimensão e forma do agregado graúdo podem, de forma indireta, afetar a resistência do concreto. A Figura 3, mostra que quanto maior o tamanho do agregado e a proporção de partículas alongadas e achatadas, será maior também a tendência de acúmulo de filme de água junto à superfície do agregado, fragilizando assim a zona

de transição na interface pasta-agregado. Fenômeno conhecido como exsudação (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

Figura 3 - Representação esquemática da exsudação no concreto recém lançado



Fonte: adaptada Mehta e Monteiro (2014)

2.1.4. Zona de transição

Segundo Paulon (2005), existe uma relação forte entre a qualidade da zona de transição a espessura e as propriedades mecânicas e durabilidade dos concretos. A zona de transição tem influência direta com as propriedades relacionadas à resistência mecânica, módulo de deformação, mecanismo de propagação de fissuras e a permeabilidade de agentes agressivos nos concretos, mostrando, assim, a importância do estudo da zona de transição pasta-agregado.

A zona de transição é a região entre a pasta de cimento e as partículas de agregado graúdo, na qual a cristalização dos hidratados é diferente da que ocorre no restante da pasta de cimento. Essa região apresenta-se na forma de uma camada delgada variando entre 10 e 50 μm de espessura em volta do agregado graúdo, tornando essa região menos resistente do que a pasta de cimento e o agregado graúdo (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A zona de transição é a região mais vulnerável à microfissuração do concreto, pois ela apresenta resistência mecânica inferior à pasta de cimento, isso influencia

negativamente algumas singularidades desse material, como a resistência mecânica e permeabilidade (ROSSIGNOLO, 2009).

Essa vulnerabilidade da zona de transição à microfissuração existe nos períodos iniciais da hidratação quanto no estado endurecido do concreto, devido a deformações diferenciais entre o agregado e a pasta de cimento, que excedem facilmente a resistência limite da zona de transição, acarretando nas microfissuras. (Monteiro, 1993; Maso, 1996; Metha; Monteiro, 2008 *apud* ROSSIGNOLO, 2009).

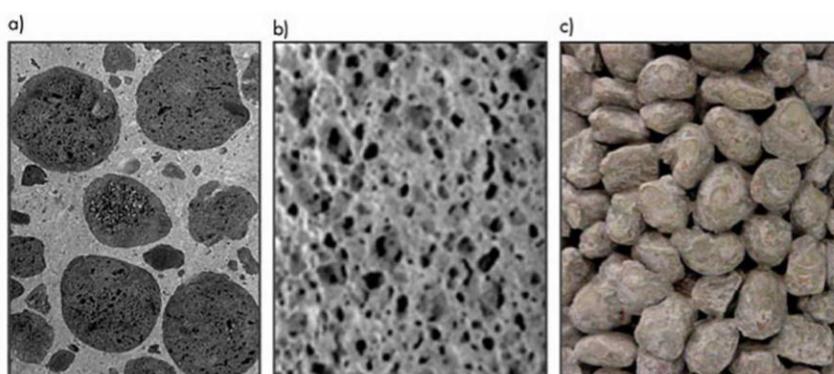
2.2. CONCRETO LEVE

O surgimento do concreto leve foi decorrente a suprir algumas necessidades impostas pelas obras de engenharia, uma vez que suas especificidades trazem grandes benefícios à construção civil (PEREIRA, 2008).

Segundo Angelin (2014), os concretos leves são diferentes dos convencionais devido à redução significativa da massa específica, porém essa não é a característica que justifica a atenção especial a esse tipo de concreto. Algumas alterações nas propriedades do concreto, por utilização dos agregados leves, são significativas, como a resistência mecânica, trabalhabilidade e módulo de deformação, além de reduzir a espessura da zona de transição entre a matriz de cimento e o agregado.

Concretos leves caracterizam-se pela baixa massa específica em relação a concretos convencionais, Conseqüentes da substituição da parte sólida dos materiais por ar. Eles podem ser classificados como concreto com agregados leves, concreto celular e concreto sem finos. Como mostra na Figura 4 (ROSSIGNOLO 2009).

Figura 4 - Concreto leve



a) com agregados leves; b) celular; e c) sem finos.

Fonte: adaptada Rossignolo (2009)

Os concretos leves estruturais são obtidos pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves. De modo geral, são caracterizados por apresentar massa específica aparente abaixo de 2000 kg/m³, conforme a Tabela 1. (ROSSIGNOLO, 2009).

Tabela 1 - Valores de referência da massa específica dos concretos leves estruturais

Referência	Massa específica aparente (kg/m ³)
NM 35 (1995)	1680 < γ < 1840
ACI 213R-03 (2003)	1120 < γ < 1920
EUROCODE 2 (2007)	900 ≤ γ ≤ 2000
NS 3473 E (1998)	1200 < γ < 2200
CEB-FIP (1977)	γ < 2000
RILEM (1975)	γ < 2000

Fonte: adaptada Rossignolo (2009)

O ACI 213R-03 (2003) define concretos estruturais de agregados leves como aqueles que apresenta resistência à compressão aos 28 dias maior que 17 MPa e massa específica seca ao ar também aos 28 dias variando entre 1120 e 1920 kg/m³. Já a norma brasileira, NBR 6118 (2014), prescreve que a mínima resistência para um concreto ser classificado como estrutural é 20 MPa.

A NM 35 (1995) apresenta os valores mínimos de resistência a compressão em função dos valores de massa específica aparente, conforme representado na Tabela 2. Valores intermediários de resistência à compressão e massa específica aparente correspondentes podem ser obtidos por meio de interpolação.

Tabela 2 - Valores correspondentes a resistência à compressão e massa específica para concreto leve estrutural

Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) (Valores mínimos)	Massa específica aparente (kg/m³) (Valores máximos)
28	1840
21	1760
17	1680

Fonte: adaptada NBR NM 35, 1995 *apud* Rossignolo (2009)

Essa norma específica também que os agregados leves utilizados para obtenção dos concretos estruturais devem apresentar valores de massa unitária no estado seco e solto abaixo de 1120 kg/m³, para agregados miúdos, e de 880 kg/m³, para agregados graúdos.

Além dos valores de massa específica aparente, pode-se usar o fator de eficiência (FE), para classificar o concreto como leve estrutural. O fator de eficiência relaciona à compressão e a massa específica aparente do concreto.

$$FE = f_c / \gamma$$

Onde:

FE = fator de eficiência, expresso em (MPa x dm³/kg);

f_c = resistência à compressão, expressa em (MPa);

γ = massa específica aparente, expressa em kg/dm³).

É considerado concreto leve de alto desempenho um concreto com fator de eficiência acima de 25 MPa x dm³/kg. (Armelin et al., 1994; Rossignolo, 2009; Hubertová et al., 2013).

2.3. AGREGADOS

Segundo Barros (2016), "Agregado é um material granular, sem forma e volume definidos, derivado de rochas, fragmentos rochosos do leito de cursos d'água e materiais encontrados em jazidas, geralmente inerte, de propriedades e dimensões adequadas para uso em obras de engenharia. Eles desempenham um importante

papel no ponto de vista técnico e econômico, pois exercem influência benéfica sobre algumas características do concreto, como a retração e aumento da resistência ao desgaste sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos.” (apud PETRUCCI, 2005).

Os agregados podem ser classificados de acordo com sua origem, dimensões das partículas e o peso específico aparente. Quanto a origem é denominada naturais aqueles que se encontra na natureza e industrializados aqueles que são obtidos por processos industriais, quanto as dimensões são divididas entre agregado miúdos e graúdos, quanto ao peso específico eles são classificados como leves, médios e pesados (BAUER, 2008).

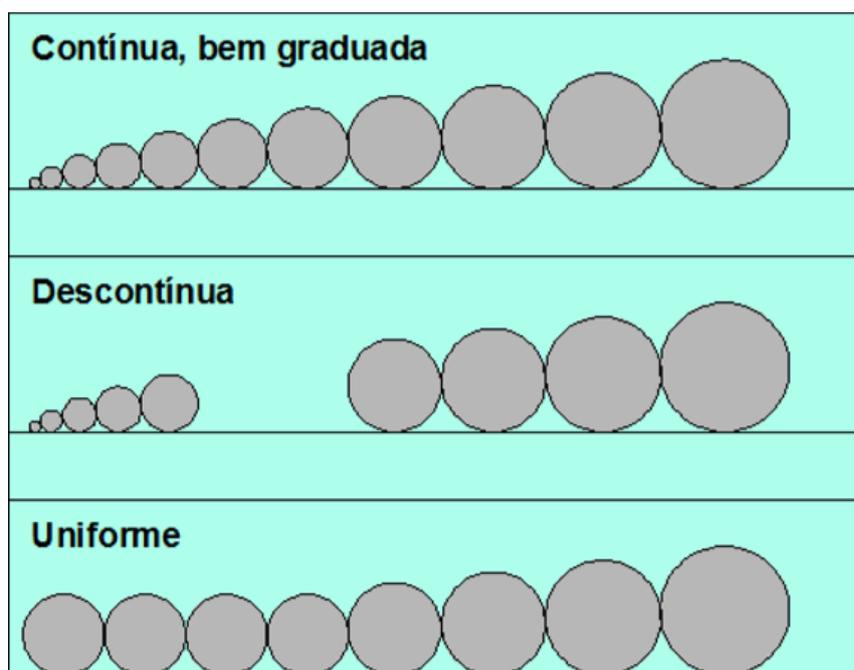
Os agregados são relativamente baratos e não passam por complexas reações químicas com presença da água. Por esse motivo, têm sido usualmente tratados como materiais de preenchimento inerte do concreto. (MEHTA E MONTEIRO, 2014)

Segundo Callister (2012), as partículas de agregados atuam como carga para redução do custo global do concreto, considerando que são mais baratos que o cimento. Um empacotamento denso e um bom contato superficial do agregado, são obtidos por meio da utilização de partículas com tamanhos diferentes, as finas partículas de areia devem preencher os espaços vazios de britas.

Os agregados do concreto são divididos em miúdos e graúdos, de acordo com sua composição granulométrica.

A distribuição granulométrica, é definida como a distribuição de tamanhos dos fragmentos de rocha, essa granulometria é avaliada por meio do ensaio de peneiramento. O resultado da análise é facilmente interpretado com o auxílio de curvas granulométricas. Quando essa curva granulométrica é contínua, apresenta particular de todos os diâmetros intermediários. A curva descontínua apresenta a falta de alguma fração de diâmetro intermediária. E a curva uniforme é quando a maior parte das partículas pertencer a apenas uma fração granulométrica (BARROS, 2016). A Figura 5 demonstra as diferentes distribuições granulométricas dos agregados.

Figura 5 - Diferentes distribuições granulométricas dos agregados



Fonte: adaptada Barros (2016)

2.3.1. Agregado miúdo

De acordo com a NBR 7211 (2009). Agregado cujos grãos passam pela peneira de malha 4,75 mm de abertura e ficam retidos na peneira de malha 0,075 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1. A Tabela 3 mostra o limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Tabela 3 - Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 μ m	15	35	55	70
300 μ m	50	65	85	95
150 μ m	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
 NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
 NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: adaptada NBR 7211 (2009)

O termo areia, quando utilizado para distinguir um tipo de recurso mineral, representa um material granular, e com tamanhos que variam em um intervalo definido entre 2 a 0,06mm, de composição silicática, com predominância do mineral quartzo, que serve essencialmente para a indústria da construção civil, como agregado miúdo. Compreende-se também, além da areia natural, a chamada areia artificial, que é um produto da britagem de rochas, geralmente um subproduto da produção de brita (RECUERO, 2016).

Com relação às reservas de areia, como ela advém de processos intempéricos, seguidos ou não de outros processos das rochas, como a erosão, o transporte e a deposição, que ocorre de maneira constante, é um recurso abundante em todo o planeta. A escassez desse mineral só ocorre local ou regionalmente, quando se tem uma demanda muito alta por esse material, o que acontece normalmente em grandes aglomerados urbanos, como regiões metropolitanas (RECUERO, 2016).

2.3.2. Agregado graúdo

De acordo com a NBR 7211 (2009) agregado cujos grãos passam pela peneira de malha 75 mm de abertura e ficam retidos na peneira de malha 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (2003), com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISSO 3310-1. A Tabela 4 mostra o limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Tabela 4 - Limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ^b	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ^b	65 ^b - 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ^b - 65 ^b	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 ^b – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ^b – 65 ^b	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

^a Zona granulométrica correspondente à menor (*d*) e à maior (*D*) dimensões do agregado graúdo.

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Brita e Cascalho são materiais granulares de origem natural que, produzidos pela indústria extrativa mineral, se caracterizam por apresentar dimensões e propriedades químicas, físicas e tecnológicas adequadas para ser utilizada como agregado graúdo na indústria da construção civil. Ambos os materiais são obtidos através da exploração de jazidas minerais, e têm função de conferir durabilidade, resistência e trabalhabilidade aos concretos, em suas várias especificações (RECUERO, 2016).

2.3.3. Agregados leves

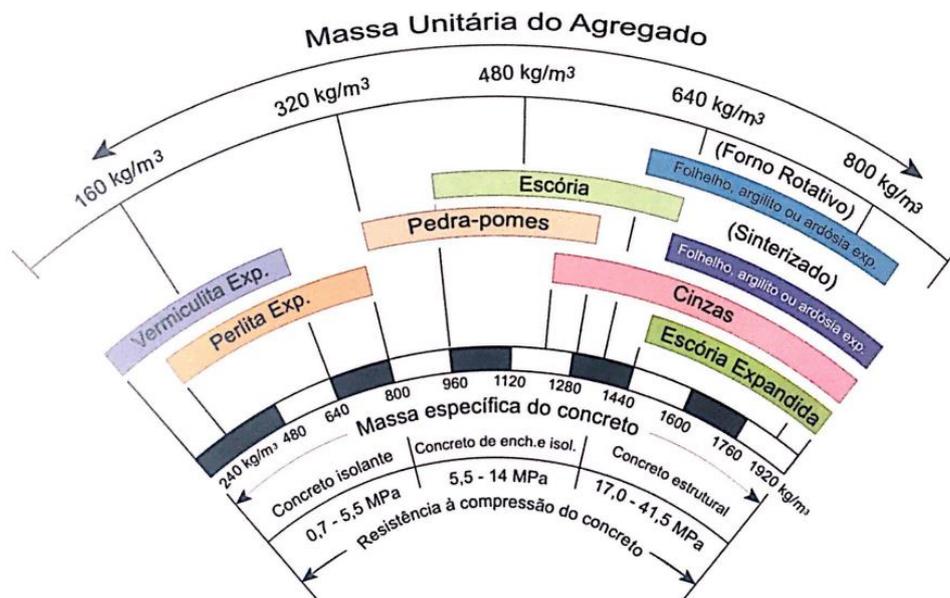
Os concretos são materiais heterogêneos e suas prioridades dependem, essencialmente, das propriedades individuais de cada componente e da compatibilidade entre eles. As principais propriedades dos concretos influenciadas pela substituição dos agregados comum por agregados leves são massa específica, resistência mecânica, trabalhabilidade, módulo de elasticidade, retração, fluência, propriedades térmicas e espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento (ROSSIGNOLO, 2003).

Segundo Rossignolo (2009), os agregados leves podem ser classificados quanto a sua origem, em naturais, que são obtidos pela extração direta em jazidas, seguida de classificação granulométrica. Ou artificiais, que são obtidos em processos industriais e são classificados normalmente, com base na matéria-prima utilizada e no processo de fabricação.

Agregados que possuem massa unitária inferior a 1120 kg/m^3 , geralmente, são considerados leves e encontram aplicações na produção de vários tipos de concretos leves. O leve peso desses agregados, se deve à sua microestrutura celular ou altamente porosa. (METHA E MONTEIRO, 2014).

Ainda de acordo com o autor supracitado, agregados leves naturais são produzidos pela britagem de rochas ígneas vulcânicas. E agregados leves sintéticos são produzidos por meio do tratamento térmico de vários materiais, como, por exemplo, argilas, ardósia, perlita, vermiculita, escória de alto forno e cinza-volante. A Figura 6, mostra um espectro de agregados leves, que possuem massa unitária entre 80 a 900 kg/m^3 .

Figura 6 - Espectro dos agregados leves



Fonte: adaptada Mehta e Monteiro (2014)

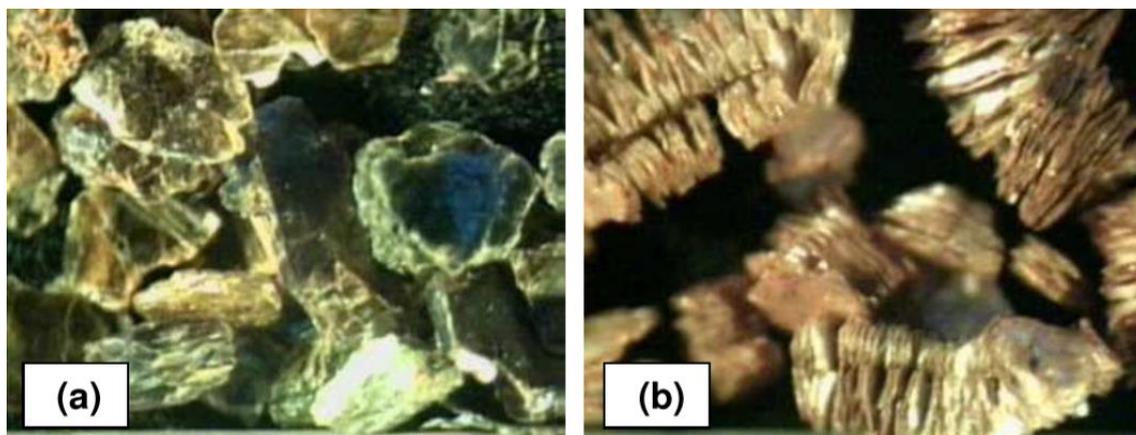
2.3.3.1. Vermiculita expandida

A vermiculita é o nome geológico dado a um grupo de minerais laminares hidratados que são silicatos de alumínio-ferro-magnésio, assemelhando-se com a aparência da mica. Ela pertence mineralogicamente, ao grupo dos filossilicatos, podendo ser oriunda de processos magmáticos, metamórficos, diagenéticos, hidrotermais e intempéricos. Possui hábito achatado ou escamado e clivagem basal perfeita e a proeminente; suas lamelas de clivagem são flexíveis elásticas ou plásticas, raramente são quebradiças. De modo geral, ela apresenta baixa dureza (entre 1,5 a 2 na escala de Mohs) e densidade relativamente baixa. (UNESP (2016) apud Silvia, et al 2016).

Segundo Paula (2016), a vermiculita é um mineral que pertence ao grupo das micas e apresenta a seguinte fórmula química: $[(Mg, Fe+2,Al)_3 (Al, Si)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O]$, ou seja, sua composição apresenta silicato de alumínio, magnésio e ferro. É um mineral hidratado gerado a partir da alteração das micas, mais comumente a biotita. Os minerais são: biotita, hidrobiotita, apatita, anfibólio, flogopita, diopsídio clorita, amianto, talco e minerais argilosos. Tem sua gênese por intemperismo, em zonas falhas ou em baixa temperatura de piroxenitos, peridotitos, dunitos, carbonatitos e anfibolitos.

Segunda Silva (2015), determina que a formação da vermiculita expandida acontece em temperaturas entre 650 e 1000°C, na qual sofre um aumento de 8 a 30 vezes do seu tamanho original, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Fotografia de amostras de vermiculita: (a) vermiculita natural; (b) vermiculita expandida



Fonte: apdatada Silva (2015)

2.4. CIMENTO

A Associação Brasileira do Cimento Portland (2019) determina que o cimento é um pó fino que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que enrijece quando submetido a ação da água.

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), O cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido através da trituração de clínqueres constituídos principalmente por silicatos de cálcio hidráulicos cristalinos e pequenas quantidades de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e até 5% de calcário como adição. Clínqueres são materiais granulares rígidos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sinterizado que é produzido pela mistura de matérias-primas com proporcionamento adequado é submetido a elevadas temperaturas.

Os diversos tipos de cimentos existentes no mercado ou são fabricados destinado a atender necessidades usuais ou específicas de aplicação, ou são consequentes do aproveitamento de subprodutos de outras indústrias, como por exemplo as escórias de alto-forno (FUSCO, 2008).

As adições ao cimento resultas em grandes vantagens, pois elas são responsáveis por melhorar certas características do concreto além de preservar o

meio ambiente com o aproveitamento de resíduos, diminuição das emissões de gases e da extração de matéria-prima (ABCP, 2019).

2.5. ÁGUA

Segundo Gosmes e Barros (2009), a água é um constituinte fundamental ao concreto por ter função de conferir propriedades reológicas adequadas para a mistura e lançamento, e de produzir reações de hidratação necessárias. Assim, a água presente no concreto deve ser suficiente para conceber máxima resistência e boa trabalhabilidade.

O uso de água com impurezas durante o amassamento pode acarretar em alterações indesejadas. A água utilizada na produção de concretos deve ser potável e livre de impurezas e contaminações.

A água que é utilizada normalmente para o preparo do concreto é a de abastecimento público, pois ela é adequada para esse fim, não necessitando de ensaios. A água potável que atende a Portaria n 518 do Ministério da Saúde é considerada dentro dos padrões exigidos pela norma do ABNT/CB-18 e pode ser destinada para a preparação de concretos sem nenhuma restrição. Já a água de esgoto, mesmo passando por tratamento para retirar as impurezas presentes, não é adequada para a confecções de concretos (BORDIN, 2010).

3. METODOLOGIA

3.1. TIPO DE ESTUDO

Neste tópico, são apresentados os materiais e a metodologia utilizados para a realização da pesquisa, que é classificada como quantitativa, vez que as avaliações serão feitas por meio de uma pesquisa básica, exploratória, experimental e laboratorial.

Os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados, por meio de coleta de dados. A pesquisa quantitativa considera que a realidade deve ser compreendida por análise dos resultados coletados/obtidos.

De acordo com Gil (2002), pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições.

Rey (1998), estabelece que pesquisa experimental é entendida como uma experimentação que concede comparar o efeito de duas ou mais condições ou tratamentos, bem definidos, sobre um atributo do organismo ou do material que for objeto da pesquisa.

O método utilizado para a confecção dos traços, foi o método de dosagem de concreto convencional estabelecido pelos parâmetros do ACI 211.1 (1991). Em seguida obtidos os resultados da pesquisa, foi possível fazer a classificação do concreto para determinar se ele está dentro dos padrões para ser classificado como concreto leve estrutural.

3.2. LOCAL DE PESQUISA

Todos os ensaios necessários para a realização da pesquisa foram realizados nos laboratórios do departamento de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA.

3.3. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo em questão se trata da verificação da viabilidade técnica da utilização de vermiculita expandida como substituição do agregado miúdo em 20, 40 e 60% para a produção de concretos leves estruturais. Os resultados obtidos foram comparados nos estados frescos e endurecidos com um traço feito com 100% de areia natural como agregado miúdo. E através dessa comparação, foi analisado se tais

substituições obtiveram propriedades para que o concreto seja considerado como leve estrutural.

3.4. MATERIAIS

3.4.1. Cimento Portland

O cimento que foi utilizado para realizar a confecção tanto do traço de referência quanto dos traços com as substituições do agregado miúdo foi o cimento CP II F - 40 da marca GOIÁS. A justificativa para se utilizar esse tipo de cimento é que, pelo fato dele não apresentar adições minerais como escória e pozolana.

3.4.2. Agregado miúdo

Os agregados miúdos que foram utilizados na pesquisa são divididos entre dois tipos: a areia natural e a vermiculita expandida.

3.4.2.1. Areia natural

A areia que foi empregada para a realização da pesquisa é uma areia natural média proveniente de rios da região de Palmas – TO.

3.4.2.2. Vermiculita expandida

A vermiculita expandida que foi utilizada para a produção dos traços com adição foi da marca BRASIL MINÉRIOS. As características do produto que são importantes para esse trabalho é a baixa densidade do material, e a grande capacidade de retenção de água.

3.4.3. Agregado graúdo

Foi utilizado apenas um tipo de agregado graúdo para o desenvolvimento dessa pesquisa, sendo esse agregado, a brita granítica.

3.4.3.1. Brita granítica

O brita que foi utilizado para o desenvolvimento dessa pesquisa é a brita 1 de origem granítica, material esse proveniente da região de Palmas – TO.

3.4.4. Água

A água utilizada para a confecção desses concretos, foi proveniente do Laboratório de materiais e estruturas do CEULP/ULBRA, fornecida pela empresa de abastecimento da cidade.

3.5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.5.1. Agregados

Todos os agregados que foram utilizados no decorrer dessa pesquisa atenderam aos requisitos da NBR 7211 (2009), norma que especifica os requisitos exigíveis para a recepção e produção de agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos.

Para se fazer a caracterização dos agregados foi avaliado a composição granulométrica, massa específica, massa unitária, material fino passante pela peneira de 75 µm por lavagem e determinação de impurezas orgânicas.

3.5.1.1. Composição granulométrica

A NBR NM 248 (2003) prescreve o método que foi utilizado para realizar o ensaio de determinação da composição granulométrica dos agregados para concreto, sendo eles miúdos e graúdos.

Os agregados foram colocados em estufa para secagem, após 24 horas foram retirados e secos em temperatura ambiente. Então foram separadas amostras de cada um dos agregados, sendo utilizadas 500g para a areia natural, 100g para a vermiculita expandida e 5Kg para a brita granítica. Foi montado a sequência de peneiras utilizadas para a realização do ensaio de cada um dos agregados, e então colocou-se as amostras sobre os conjuntos de peneiras e deu-se início a vibração. Ao fim do processo de vibração, o material retido em cada malha de peneira foi pesado e anotado para então a realização dos cálculos.

Após realização dos cálculos, foram obtidos os seguintes resultados para os agregados miúdos e graúdos, que estão expressos na Tabela 5, Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3.

Tabela 5 – Composição granulométrica dos agregados

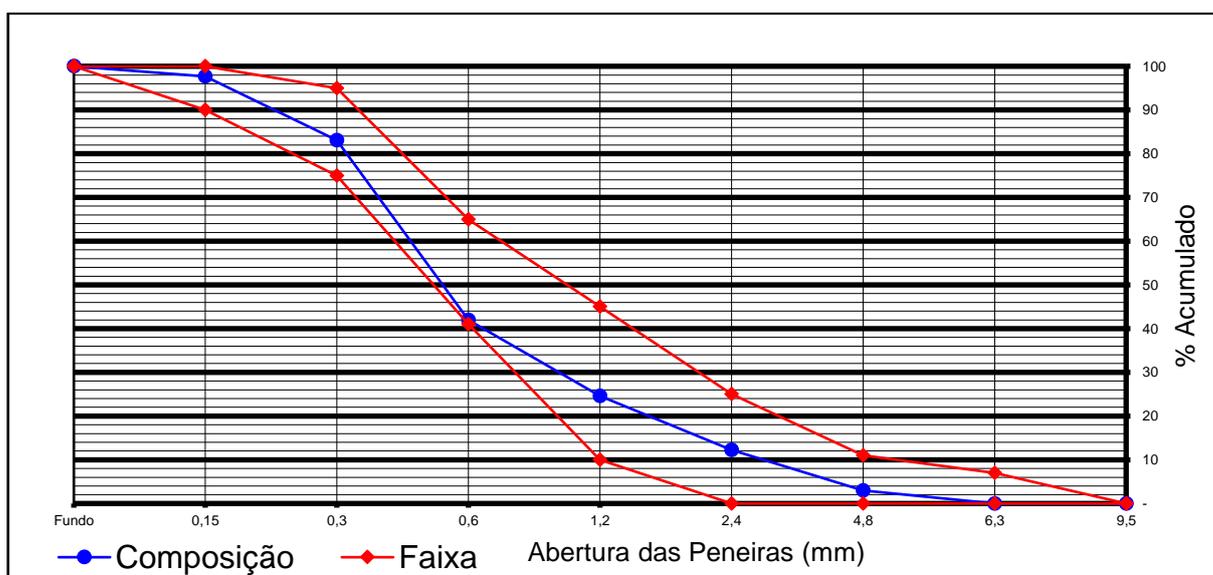
Areia natural	
módulo de finura	2,63
diâmetro máximo característico (mm)	4,80

Vermiculita expandida	
módulo de finura	3,30
diâmetro máximo característico (mm)	2,40

Brita granítica	
diâmetro máximo característico (mm)	19,0

Fonte: própria (2019)

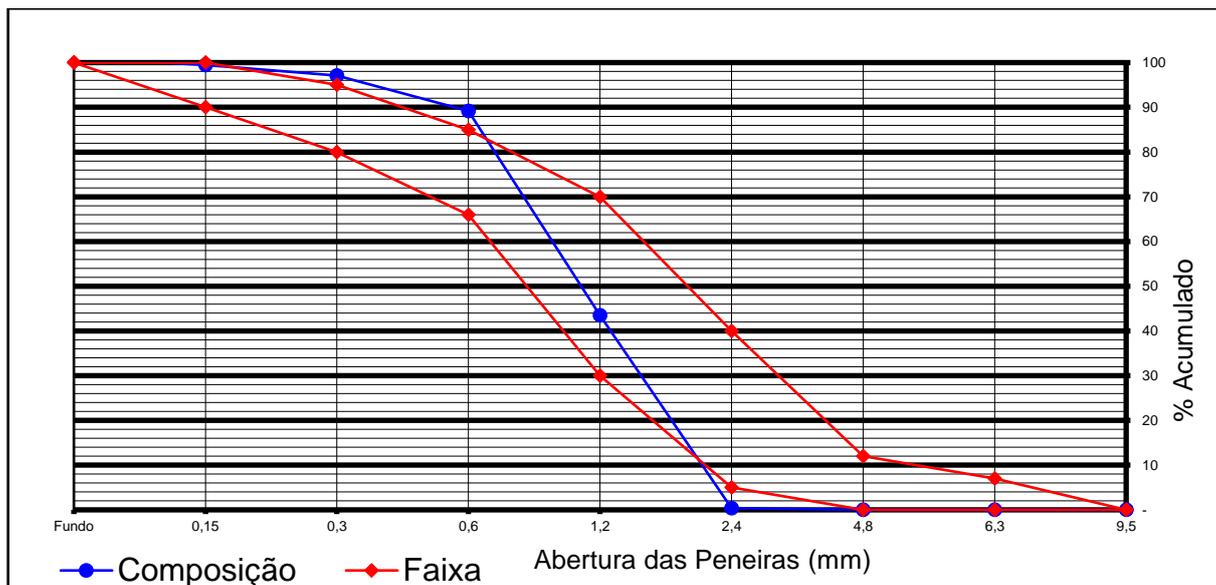
Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: própria (2019)

De acordo com os resultados obtidos por meio de sua caracterização, a areia natural consiste em uma areia média que está dentro da zona ótima, e apresenta uma ótima qualidade. Com isso, esse material é apropriado para a utilização em e concreto.

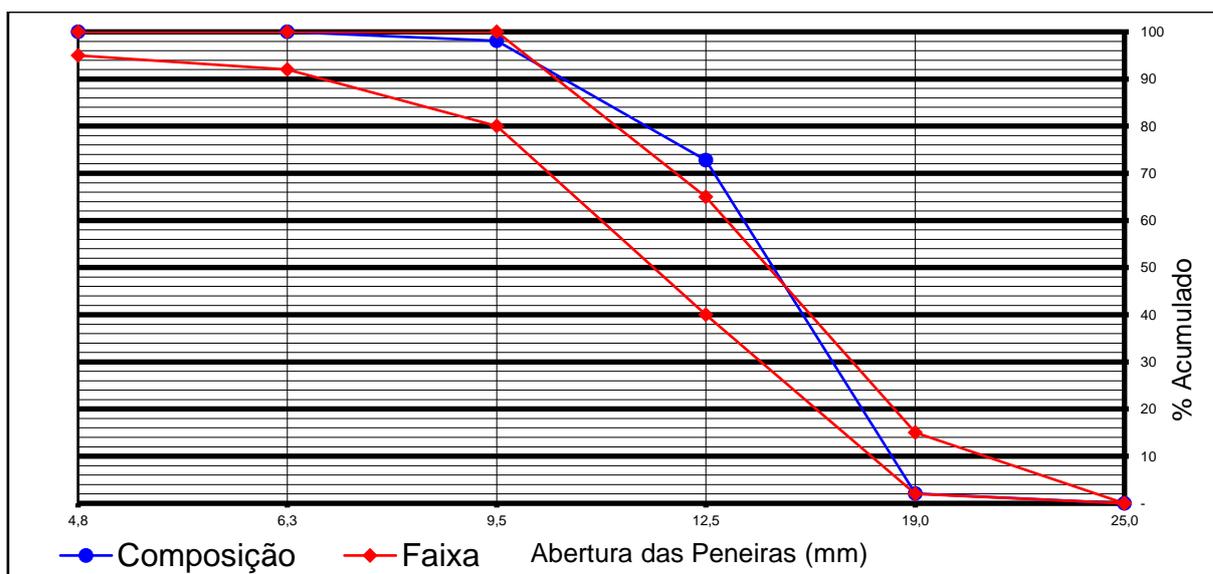
Gráfico 2 - Curva granulométrica da vermiculita



Fonte: própria (2019)

De acordo com os resultados obtidos por meio de sua caracterização, a vermiculita expandida consiste em uma granulometria grossa, pois se aproxima mais da zona 4. Sendo assim, esse material é apropriado para a utilização em e concreto.

Gráfico 3 - Curva granulométrica do brita



Fonte: própria (2019)

Em conformidade com os dados apresentados por meio de sua caracterização, pode-se concluir que a brita utilizada nessa pesquisa se enquadra como uma brita 1,

pois a curva granulométrica do material se aproxima mais dessa grade. O agregado apresenta padrão de boa qualidade e é adequado para utilização em concretos

3.5.1.2. Massa específica

A NBR 9776 (1988) estabelece os parâmetros que foram utilizados para realizar a determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman, destinados para o uso em concreto.

Foram separadas duas amostras de 500g cada, ambas foram anteriormente secas em estufas. O frasco foi preenchido com água até a marca de 200 cm³, depois foi inserido cuidadosamente a amostra seca do agregado, o frasco então foi agitado para eliminar as bolhas de ar. A leitura do novo nível de água atingido no gargalo do frasco indicar o novo volume em cm³, composto pelo conjunto água-agregado. Esse processo foi realizado para as duas amostras. A norma aponta a realização dos cálculos mediante a seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}$$

Onde:

γ = massa específica do agregado miúdo, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

L = leitura volume ocupado pelo conjunto água-agregado no frasco.

E os parâmetros utilizados para determinar a massa específica do agregado graúdo, destinados para o uso de concreto, foram pelo método de ensaio do picnômetro.

Foram separadas duas amostras de 500g de agregado, material esse que antes foi seco em estufa por um período de 24 horas. O picnômetro de 1000ml foi preenchido totalmente com água e tampado, esse recipiente foi pesado e teve seu valor anotado. Após isso, foi retirado aproximadamente metade da água do picnômetro e foi cuidadosamente colocado a amostra do agregado, o conjunto foi agitado para retirar as bolhas de ar, e então foi preenchido totalmente com água novamente. Foi feita outra pesagem, agora com o conjunto água-agregado. E com os dados obtidos com as pesagens, foi utilizado a seguinte equação para obtenção dos resultados:

$$\mu = \frac{500}{A + 500 - B}$$

Onde:

μ = massa específica do agregado graúdo, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

A = massa do picnômetro com água, expressa em gramas (g);

B = massa do picnômetro com água e agregado, expressa em gramas (g).

Os resultados desse ensaio para os agregados miúdos e graúdos estão expressos na Tabela 6.

Tabela 6 – Massa específica dos agregados

Areia natural	
massa específica (kg/dm ³)	2,60
Vermiculita expandida	
massa específica (kg/dm ³)	1,85
Brita granítica	
massa específica (kg/dm ³)	2,64

Fonte: própria (2019)

3.5.1.3. Massa unitária

A NBR NM 45 (2006) determina os critérios que foram empregados para realizar a determinação da densidade a granel (massa unitária) dos agregados, sendo eles miúdos e graúdos, método que se aplica a agregados com dimensão máxima característica menor ou igual a 75 mm.

Os agregados precedentemente foram secos em estufa. Foi utilizada uma padiola metálica que possui um volume de 15 dm³ para a realização do ensaio. Primeiro, o recipiente metálico foi pesado e teve seu peso registrado, em seguida a padiola foi totalmente preenchida com o agregado, para fazer esse preenchimento, foi utilizado uma concha e o material foi despejado a uma altura de aproximadamente 5 cm acima da borda do recipiente. Após preenchido, foi feito um nivelamento do agregado com uma haste metálica, e então o recipiente com o agregado foi pesado

novamente e teve o peso anotado. Esse processo foi realizado 3 vezes para cada agregado. A massa unitária deve ser calculada pela seguinte fórmula:

$$P_{ap} = \frac{M_{ar} \times M_r}{V}$$

Onde:

P_{ap} = massa unitária do agregado, expressa em quilogramas por metro cúbico (Kg/dm^3);

M_{ar} = massa do recipiente mais o agregado, expressa em quilogramas (Kg);

M_r = massa do recipiente vazio, expressa em quilogramas (Kg);

V = volume do recipiente, expresso em metros cúbicos (dm^3).

Os resultados desse ensaio para os agregados miúdos e graúdos estão expressos na Tabela 7.

Tabela 7 – Massa unitária dos agregados

Areia natural	
massa unitária (kg/m^3)	1470
Vermiculita expandida	
massa unitária (kg/m^3)	170
Brita granítica	
massa unitária (kg/m^3)	1340

Fonte: própria (2019)

Conforme valor mostrado na Tabela 7, a vermiculita expandida é caracterizada como agregado leve pois apresenta, conforme Metra e Monteiro (2014) massa unitária inferior a $1120 \text{ kg}/\text{m}^3$.

3.5.1.4. Material fino passante pela peneira de $75 \mu\text{m}$

A NBR NM 46 (2003) indica os padrões que foram utilizados para a determinação por lavagem em agregados miúdos, da quantidade de material passante pela de $75 \mu\text{m}$ ($n^\circ 200$). As partículas de argila e de outros materiais que se dispersam

com a lavagem, assim como os materiais que são solúveis em água, serão removidos do agregado durante o ensaio.

O procedimento realizado para executar esse ensaio foi o de lavagem com água. O material foi seco em estufa e resfriado em temperatura ambiente, após isso, foi pesado uma amostra e colocada em um Becker que foi então coberto com água. A amostra foi agitada vigorosamente até que o material pulverulento ficou em suspensão. Imediatamente a água foi escoada sobre a peneira de 75 µm. Esse processo foi repedido inúmeras vezes até que a água de lavagem ficasse clara. Ao final do processo, o material retido na peneira foi colocado novamente no Becker junto com a amostra lavada que foi colocada novamente em estufa. Depois de seco, o material foi pesado novamente. O cálculo para determinar a quantidade de material passante pela peneira de nº 200 por lavagem de acordo com a equação:

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Onde:

m = material mais fino que a peneira de 75 µm por lavagem, expresso em porcentagem (%);

m_i = massa original da amostra seca, expressa em gramas (g);

m_f = massa da amostra seca após a lavagem, expressa em gramas (g).

Os resultados desse ensaio para os agregados miúdos e graúdos estão expressos na Tabela 8.

Tabela 8 – Materiais pulverulentos da areia natural

Areia natural	
materiais pulverulentos (%)	0,90

Fonte: própria (2019)

3.5.1.5. Impurezas orgânicas

A NBR NM 49 (2001) determina como foi realizada a determinação colorimétrica de impurezas orgânicas presentes em agregado miúdo destinado ao preparo de concreto. Ela frisa que este método não determina algumas substâncias orgânicas, como óleos, graxas e parafinas.

Foi separada uma amostra de 200g do agregado para a realização do ensaio, essa amostra foi colocada em um frasco Erlenmeyer juntamente com 100 cm³ de uma solução de hidróxido de sódio, essa mistura foi vigorosamente agitada e colocada em repouso em um ambiente escuro por um período de 24 horas. Após esse repouso, a solução que estava em contato com o agregado foi filtrada e recolhida em um tubo de ensaio. Essa amostra então foi comparada com uma solução de 97 cm³ de hidróxido de sódio e 3 cm³ de ácido tânico a 2%. A quantidade de matéria orgânica foi avaliada com a comparação da cor da amostra, com a cor da solução.

Os resultados desse ensaio para os agregados miúdos e graúdos estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9 – Impurezas orgânicas da areia natural

Areia natural	
impurezas orgânicas (ppm)	< 300

Fonte: própria (2019)

3.6. DOSAGEM DO CONCRETO

Após a caracterização de todos os materiais que foram utilizados para confecção dos traços, foi calculado o traço referência (TR) de acordo com a norma do ACI 211.1 (1991). Ela especifica o cálculo em sete passos que são conhecidos como Seven Steps Method.

Esse Traço é necessário para que suas características sejam comparadas com os demais concretos que foram feitos com substituição de parte do agregado miúdo por vermiculita expandida, passa assim analisar as influências dessa substituição no concreto. Algumas das características que o TR deverá apresentar aos 28 dias são, fck de 25 MPa, desvio padrão (S_d) de 4,0 MPa, fcj de 31,6 MPa e Slump de 100mm mais ou menos 20mm de abatimento.

Para a dosagem do TR, que foi feita sem nenhuma adição de vermiculita expandida, foi possível observar que o concreto se encontrava homogêneo, sem presença de exsudação e com aspectos visuais ideal para utilização em determinados fins.

O traço desenvolvido foi de 1; 1,98; 2,36; 0,52. (traço em massa). Sendo consecutivamente cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. A partir desses dados foi calculado os traços com substituição de 20% (T20), 40% (T40) e 60% (T60).

Devido ao fato da vermiculita expandida ser um material muito leve, os cálculos para definir a quantidade para a substituição pelo agregado miúdo foram realizados em volume. O valor em massa obtido no traço foi transformado em volume, e as substituições foram feitas de acordo com esse resultado.

Além da leveza, a vermiculita expandida é um componente que tem um alto teor de absorção de água, e por esse motivo, ela foi saturada antes de sua utilização. Pois se fosse utilizada seca, ela absorveria muita água e prejudicaria a hidratação do cimento, além de prejudicar também a fluidez do concreto.

Para determinar a quantidade de água que deveria ser utilizada para saturar a vermiculita expandida, foi feita a rodagem do T60 como experimentação. No primeiro teste, foi utilizado a vermiculita expandida totalmente seca, ela absorveu praticamente toda a água do traço, fazendo com que o concreto ficasse sem nenhuma fluidez e conseqüentemente não obtivesse abatimento. Então foi-se adicionando água e fazendo o ensaio do abatimento até que esse valor ficasse de acordo com o valor de abatimento considerado para o TR como pode ser observado na Figura 8. Foi constatado então que para cada litro de vermiculita expandida deveria ser utilizado 328 ml de água para saturá-la.

Figura 8 - Abatimento do primeiro teste da absorção da vermiculita expandida



Fonte: própria (2019)

No segundo teste que foi realizado, o T60 foi rodado novamente, só que dessa vez, a vermiculita expandida foi saturada antes, essa saturação foi na proporção de 328 ml de água para cada litro de vermiculita expandida, como constatado no primeiro teste. O concreto obteve uma ótima fluidez e o slump apresentou um abatimento dentro do considerado no TR como pode ser analisado na Figura 9

Figura 9 - Abatimento do segundo teste da absorção da vermiculita expandida



Fonte: própria (2019)

Com a adição de água que foi constatada que deveria ser feita, o abatimento do primeiro teste foi de 94mm, e o do segundo foi de 99mm. Os resultados de abatimentos resultaram em média de 96,5mm.

A Tabela 10 informa a quantidade de cada material, tanto para o concreto de referência quanto para os concretos com substituições.

Tabela 10 - Consumo de materiais por metro cúbico de concreto

Traços	Cimento m ³	Vermiculita Expandida m ³	Areia m ³	Brita m ³	Água L	Fator água/cimento
Traço de referência	0,125	-	0,353	0,297	205	0,52
Traço c/20% de substituição	0,125	0,071	0,282	0,297	205	0,52
Traço c/40% de substituição	0,125	0,141	0,212	0,297	205	0,52
Traço c/60% de substituição	0,125	0,212	0,141	0,297	205	0,52

Fonte: própria (2019)

3.7. ENSAIOS DO CONCRETO

Para obter os resultados da pesquisa, foi feita a rodagem de 4 traços distintos, um deles o traço de referência com 100% de agregado miúdo natural, e outros 3 com a substituição do agregado miúdo natural por vermiculita expandida nas proporções de 20, 40 e 60%. Foi confeccionado, para cada um dos traços, 15 corpos cilíndricos com dimensões de 100 x 200 mm e 3 com dimensões de 150 x 300 mm para a realização de todos os ensaios necessários. A Tabela 11 mostra as quantidades de corpos de prova e as idades na qual serão rompidos para cada ensaio.

O procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova será realizado como prescrito na NBR 5738 (2016).

Tabela 11 - Quantidade de corpos de prova e idades para rompimento

Ensaio	Substituição do agregado miúdo (%)	Resist. à compressão			Resist. à tração	Mód. de Elasticidade	Abs. de água, Massa Esp.	Nº de CPs por traço
		Idades						
Traços		3 dias	7 dias	28 dias	28 dias	28 dias	30 dias	
Traço de referência	0	3	3	3	3	3	3	18
Traço c/20% de substituição	20	3	3	3	3	3	3	18
Traço c/40% de substituição	40	3	3	3	3	3	3	18
Traço c/60% de substituição	60	3	3	3	3	3	3	18
Total	-----	12	12	12	12	12	12	72

Fonte: própria (2019)

3.7.1. Estado plástico

3.7.1.1. Consistência

O ensaio para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone foi executado como determinado pela NBR NM 67 (1998). Esse ensaio especifica um método para apontar a consistência do concreto fresco através da média de seu assentamento.

Para a realização do ensaio foi usado um molde em forma de tronco de cone, uma placa metálica plana para apoiar o molde em cima e uma haste reguladora. O primeiro passo foi umedecer o cone e a placa metálica. Depois de umedecido, o cone foi posto sobre a placa metálica para iniciar o ensaio. O concreto foi lançado em três camadas, cada camada com aproximadamente 1/3 da altura do cone. Cada camada foi igualmente compactada com a haste metálica, recebendo 25 golpes. Ao fim das 3 camadas foi feita a regularização com uma colher de pedreiro. O cone foi retirado na vertical e após a retirada foi medido qual o abatimento que o concreto sofreu, que é a altura do eixo do corpo de prova até o topo do cone de abatimento Figura 10.

Figura 10 - Abatimento do concreto com 20% de teor de substituição



Fonte: própria (2019)

3.7.2. Estado endurecido

3.7.2.1. Resistência à compressão

O ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos é realizado para determinar a resistência à compressão das amostras de concreto no estado endurecido. Esse ensaio é regido de acordo com a NBR 5739 (2018).

Para esse ensaio foram moldados 9 corpos de prova para cada traço rodado, totalizando assim 36 corpos de prova, que posteriormente foram ensaiados nas idades de 3, 7 e 28 dias, como mostra a Tabela 11

Os corpos de provas foram retirados da cura 24 horas antes do rompimento, tempo esse para que eles fossem secos em temperatura ambiente. Depois de secos foram levados para a prensa hidráulica para a realização do ensaio Figura 11.

Figura 11 – Ensaio de compressão



Fonte: própria (2019)

3.7.2.2. Resistência à tração por compressão diametral

Este ensaio é realizado para fazer a determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Ele foi realizado como descrito na NBR 7222 (2011).

Para esse ensaio foram moldados 3 corpos de prova para cada traço rodado, totalizando assim 12 corpos de prova, que foram posteriormente ensaiados na idade de 28 dias, como mostra a Tabela 11.

Os corpos de provas foram retirados da cura 24 horas antes do rompimento, tempo esse para que eles fossem secos em temperatura ambiente. Passando essas 24 horas, eles foram levados para a prensa hidráulica para a realização do ensaio Figura 12

Figura 12 - Ensaio a tração por compressão diametral



Fonte: própria (2019)

3.7.2.3. Módulo de elasticidade

O ensaio do módulo de elasticidade de corpos de prova cilíndricos foi realizado com a finalidade de determinar o módulo de deformação elástica das amostras de concreto no estado endurecido. Esse ensaio é regido de acordo com a NBR 8522 (2017).

Para esse ensaio foram moldados 3 corpos de prova para cada traço rodado, totalizando assim 12 corpos de prova, que posteriormente foram ensaiados na idade de 28 dias, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Ensaio de módulo de elasticidade



Fonte: própria (2019)

Também foi realizada a determinação de módulos estáticos de elasticidade e de deformação do concreto endurecido, esse módulo de elasticidade foi estimado de acordo com a NBR 6118 (2014). A norma aponta a realização dos cálculos mediante a seguinte expressão:

$$E_{ci} = \alpha E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}}$$

Onde:

E_{ci} = módulo de elasticidade, expresso em gigapascals (GPa);

αE = coeficiente do agregado, sendo 1,0 para o granito;

f_{ck} = resistência característica do concreto a compressão, expressa em megapascals (MPa).

3.7.2.4. Absorção de água, índice de vazios e massa específica

O ensaio para determinar a absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto é regido de acordo com a NBR 9778 (2009).

Para esse ensaio foram moldados 3 corpos de prova para cada traço rodado, totalizando assim 12 corpos de prova, que foram posteriormente ensaiados na idade de 30 dias, como mostra a Tabela 11.

Os corpos de prova foram retirados da cura, e posteriormente foram pesados submersos Figura 14 em água com o auxílio de uma balança hidrostática. Após isso eles foram retirados da água e secos com um pano úmido e pesados novamente, só que dessa sem serem submersos. Após a pesagem, eles foram colocados em estufa onde ficaram por um período de 72 horas para secagem. Passado esse tempo, os corpos de prova foram retirados da estufa, e novamente foram pesados e teve sua massa registrada Figura 15. Os cálculos para se obter esses resultados são expressos pelas seguintes equações:

Figura 14 - Corpo de prova imerso em água após fervura



Fonte: própria (2019)

Figura 15 - Massa seca após 72 horas na estufa



Fonte: própria (2019)

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100$$

Onde:

A = absorção, expressa em percentagem (%);

msat = massa da amostra saturada em água após imersão;

ms = massa da amostra seca em estufa.

$$Iv = \frac{msat - ms}{msat - mi} \times 100$$

Onde:

Iv = índice de vazios, expressa em percentagem (%);

msat = massa da amostra saturada em água após imersão;

ms = massa da amostra seca em estufa;

mi = massa da amostra saturada imersa em água.

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$$

Onde:

ρ_s = massa específica da amostra seca;

m_s = massa da amostra seca em estufa;

m_{sat} = massa da amostra saturada em água após imersão;

m_i = massa da amostra saturada imersa em água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS

4.1.1. Estado plástico

4.1.1.1. Consistência

Esse ensaio foi realizado para traços de concreto com e sem substituição do agregado miúdo, o mesmo foi feito em laboratório para definir as suas consistências. Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 12.

Tabela 12 - Consistência dos concretos por meio do slump test

Traços	Slump test (mm)
Traço de referência	105
Traço c/20% de substituição	141
Traço c/40% de substituição	145
Traço c/60% de substituição	175

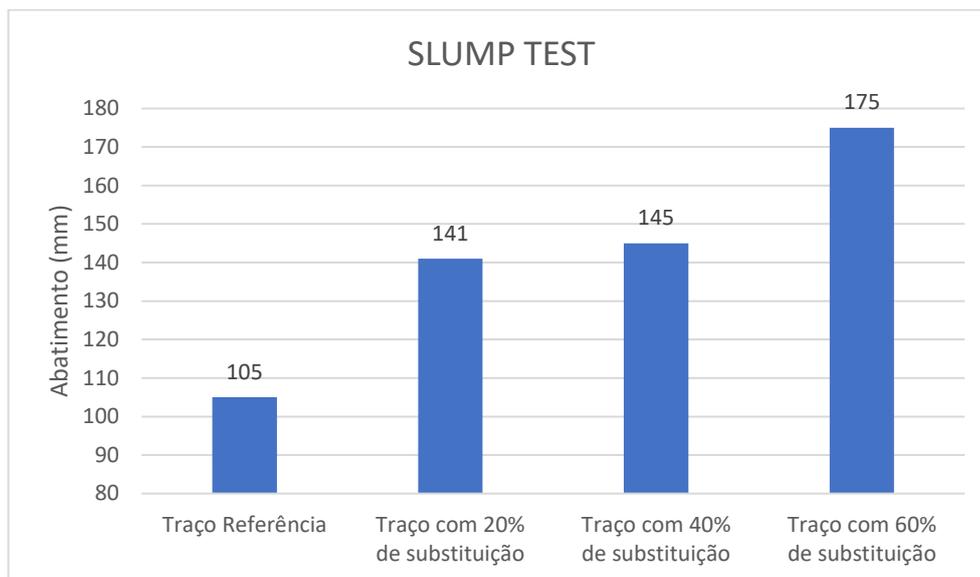
Fonte: autoria própria (2019)

Para o TR, o resultado do slump foi dentro do esperado, com 105mm de abatimento, sendo considerado 100 mm mais ou menos 20mm como referência. Já os traços com o uso da vermiculita expandida tiveram um abatimento fora do esperado. Pode-se perceber que à proporção em que a porcentagem de vermiculita expandida aumentava, a fluidez do concreto aumentava junto.

Com os dados obtidos, pode-se observar que mesmo obedecendo os testes que foram feitos para saber a quantidade de água necessária para saturação da vermiculita expandida, o abatimento ficou muito alto. Podendo ser explicado pelas características físicas do material usado, tais como o formato lamelar e superfície lisa.

O fato da vermiculita expandida apresentar essas características físicas, faz com que, se fixe mais água na sua superfície, que provoca uma menor aderência da argamassa com a superfície do agregado, assim os grãos têm maior facilidade de se misturarem, apresentando conseqüentemente um maior abatimento, trabalhabilidade e fluidez do concreto.

Gráfico 4 - Comparativos dos resultados dos slumps obtidos na pesquisa



Fonte: autoria própria (2019)

4.1.2. Estado endurecido

4.1.2.1. Resistência à compressão

Os resultados desse ensaio foram obtidos por meio do rompimento dos corpos de prova com e sem substituição do agregado miúdo. A avaliação desse parâmetro é de suma importância para a qualificação do concreto como estrutural ou não estrutural. A Tabela 13 mostra a média dos resultados dos ensaios de resistência à compressão para cada um dos traços nas idades de 3, 7 e 28 dias.

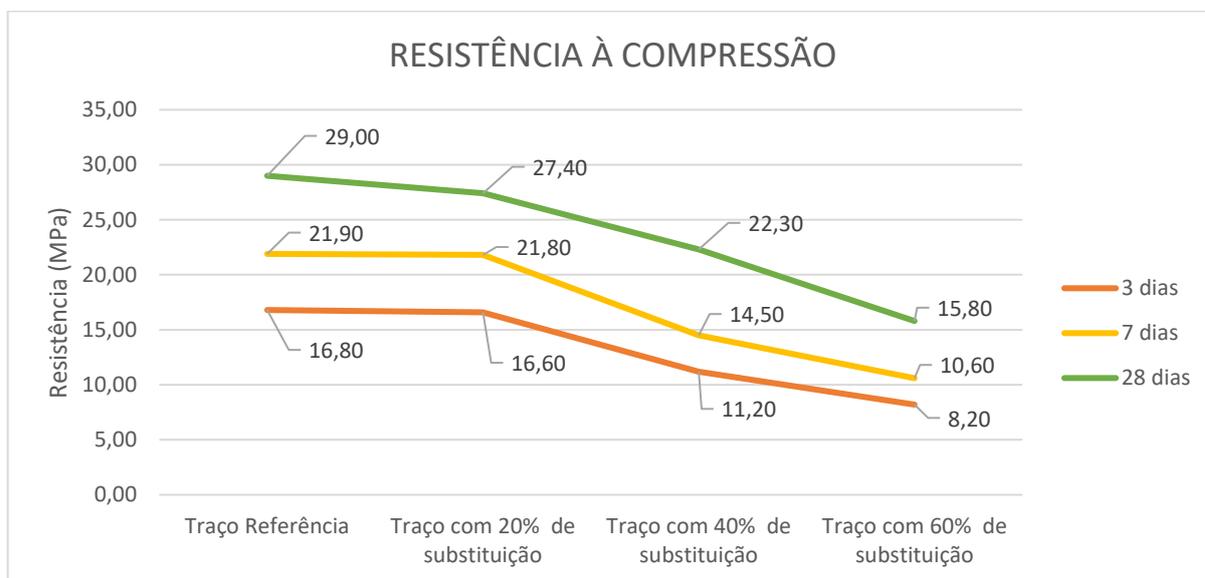
Tabela 13 - Média da resistência à compressão dos corpos de prova

Traço	Resistência média aos 3 dias (MPa)	Resistência média aos 7 dias (MPa)	Resistência média aos 28 dias (MPa)
Traço de referência	16,80	21,90	29,00
Traço c/20% de substituição	16,60	21,80	27,40
Traço c/40% de substituição	11,20	14,50	22,30
Traço c/60% de substituição	8,20	10,60	15,80

Fonte: autoria própria (2019)

Os resultados foram examinados por comparação com o concreto sem substituição, com o propósito de aferir a alteração da resistência à compressão entre os traços. O Gráfico 5 a seguir mostra a comparação das resistências dos concretos.

Gráfico 5 - Comparativo da resistência a compressão obtidos na pesquisa



Fonte: autoria própria (2019)

O concreto de referência obteve uma resistência de 16,80MPa com idade de 3 dias. Pode-se observar que nesse mesmo período, o concreto com 20% de substituição apresentou uma queda de resistência de 1,19%, e os concretos de 40% e 60% obtiveram uma queda maior na resistência, sendo de 33,33% e 51,19% respectivamente.

Para a idade de 7 dias, a resistência do concreto de referência foi de 21,90Mpa. Para essa idade podemos observar uma redução na resistência de 0,46%, 33,79% e 51,60%, para os concretos com 20%, 40% e 60% de substituição respectivamente.

Aos 28 dias, o concreto de referência atingiu resistência de 29,00MPa. Analisando os valores, foi constatado que para o concreto com 20% de vermiculita expandida, houve uma pequena redução de 5,52% de resistência. O concreto com 40% de substituição demonstrou uma redução um pouco maior, sendo ela de 23,10%. E para o traço com 60% de substituição, esse valor foi ainda mais elevado, chegando a 45,52 de queda de resistência.

Para a dosagem do traço de referência, foi considerado uma resistência a compressão de 25 MPa (fck). Analisando os resultados obtidos, os traços, T40 e T60

Ficaram com resistência inferior a resistência que foi considerada para os cálculos. Esses valores podem ser explicados pelo fato de se utilizar um agregado leve, no qual era esperado uma pequena redução da resistência, pois esse tipo de agregados apresenta resistência menor que as dos agregados convencionais.

Segundo Angelin (2014), a utilização de agregados leves na fabricação de concretos resulta em alterações significativas nas propriedades do mesmo, como a resistência mecânica, além de reduzir também a espessura da zona de transição entre a matriz de cimento e o agregado.

Analisando a Figura 6 (Pag. 29), pode-se perceber que já era esperado essa queda de resistência pois a vermiculita, segundo Metha e Monteiro (2014), é um material usado para concreto isolante, pois possui massa unitária muito baixa, em torno de 160 Kg/m³. Para concreto estrutural o material teria que ser pelo menos 4 vezes mais resistente, com uma massa unitária de 640 Kg/m³.

4.1.2.2. Resistência à tração por compressão diametral

Os valores para a resistência à tração por compressão diametral foram obtidos por meio do rompimento dos corpos de prova com e sem substituição do agregado miúdo. A Tabela 14 mostra a média dos resultados dos ensaios de resistência à tração aos 28 dias para cada um dos traços.

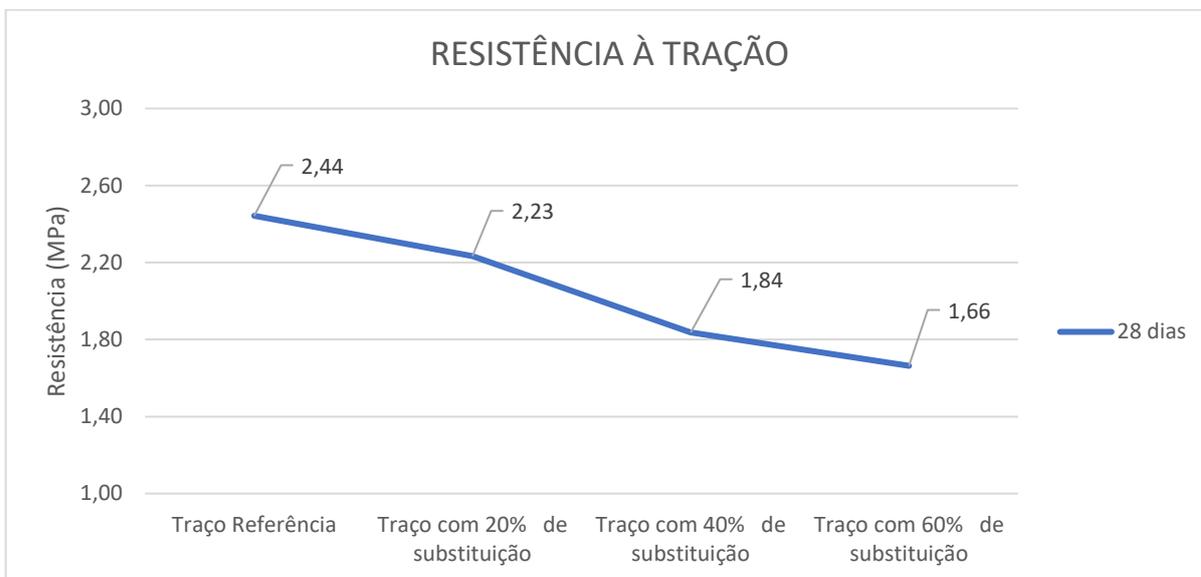
Tabela 14 - Média da resistência à tração dos corpos de prova

Traço	Resistência média aos 28 dias (MPa)
Traço de referência	2,44
Traço c/20% de substituição	2,23
Traço c/40% de substituição	1,84
Traço c/60% de substituição	1,66

Fonte: autoria própria (2019)

Os resultados obtidos foram examinados por comparação com o concreto sem substituição, com o propósito de aferir a alteração da resistência à tração entre os concretos. O Gráfico 6 mostra a comparação dessas resistências.

Gráfico 6 - Comparativo da resistência a tração obtidos na pesquisa



Fonte: autoria própria (2019)

Para a resistência à tração, pode-se observar, que houve uma perda de resistência para todos os traços, a medida em que a quantidade de vermiculita expandida era aumentada. Para o traço com 20% de substituição, essa redução foi de 8,58%, e para os concretos de 40% e 60% de substituição, a redução foi de 24,81% e 31,91% respectivamente.

Essa redução de resistência com o aumento da substituição em cada um dos traços pode ser explicada em consequência da porosidade do agregado, dessa forma, a vermiculita expandida apresenta uma menor resistência em comparação com a areia natural, sendo assim o elo frágil da mistura.

4.1.2.3. Módulo de elasticidade

Os resultados para a determinação do módulo de elasticidade do concreto foram obtidos por meio de uma estimativa feita de acordo com o resultado de resistência à compressão do concreto aos 28 dias. Essa estimativa foi feita de acordo com a NBR 6118 (2014).

Devido a capacidade de resistência dos agregados leves serem menores que a dos agregados convencionais, o módulo de elasticidade para concreto com adições de agregados leves tende a ser menor do que os feito com agregados convencionais. CEB-FIP (1997) afirma que o concreto leve estrutural tende a ter uma redução do modulo de elasticidade que varia de 30 a 70% comparado com o concreto

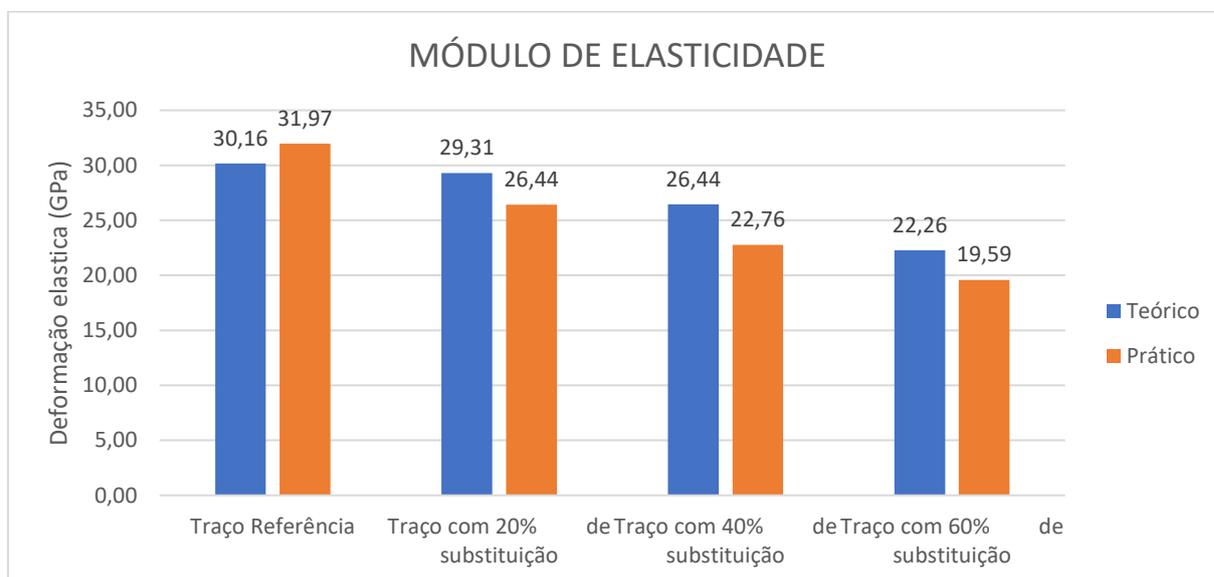
convencional. Nesse trabalho podemos confirmar essa informação por meio da comparação dos resultados do concreto feito com agregado leve (T20, T40 E T60) com o feito com agregado convencional (TR). A Tabela 15 e o Gráfico 7 mostra os resultados das estimativas do módulo de elasticidade.

Tabela 15 – Módulo de elasticidade por meio do fck obtidos dos corpos de prova

Traço	Módulo de elasticidade teórico (GPa)	Módulo de elasticidade prático (GPa)
Traço de referência	30,16	31,97
Traço c/20% de substituição	29,31	26,44
Traço c/40% de substituição	26,44	22,76
Traço c/60% de substituição	22,26	19,59

Fonte: autoria própria (2019)

Gráfico 7 - Comparativo do módulo de elasticidade obtidos na pesquisa



Fonte: autoria própria (2019)

Com base nos resultados apresentados, é possível perceber que, conforme foi aumentando a porcentagem de agregado leve em cada traço, o módulo de elasticidade foi diminuindo. Essa redução em relação ao ensaio prático, foi de, 17,30%

para o concreto de 20% de substituição, 28,81% para o concreto com 40% de vermiculita expandida, e 38,72 para o traço com 60%.

4.1.2.4. Absorção de água, índice de vazios e massa específica

A média dos resultados de absorção de água, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova com e sem substituição do agregado miúdo com uma idade de 30 dias está expresso na Tabela 16.

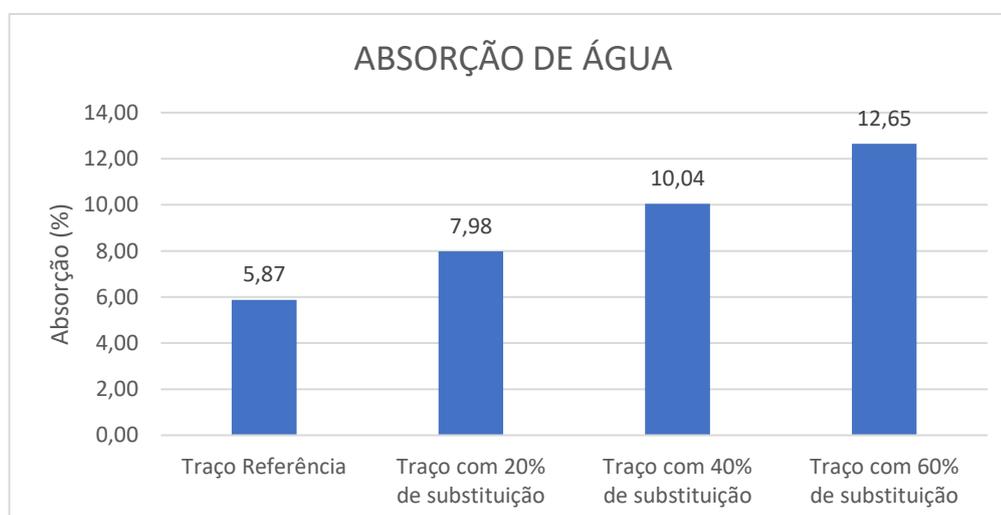
Tabela 16 – Absorção de água dos corpos de prova

Traço	Absorção de Água (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (Kg/m ³)
Traço de referência	5,87	13,06	2222,77
Traço c/20% de substituição	7,98	17,38	2178,11
Traço c/40% de substituição	10,04	20,82	2072,96
Traço c/60% de substituição	12,65	24,20	1920,43

Fonte: autoria própria (2019)

Os resultados para a absorção de água foram examinados por comparação do concreto sem substituição, com o objetivo de analisar a variação de absorção entre os traços. O Gráfico 8 mostra o comparativo de absorção entre cada concreto.

Gráfico 8 - Comparativo da absorção de água obtidos na pesquisa



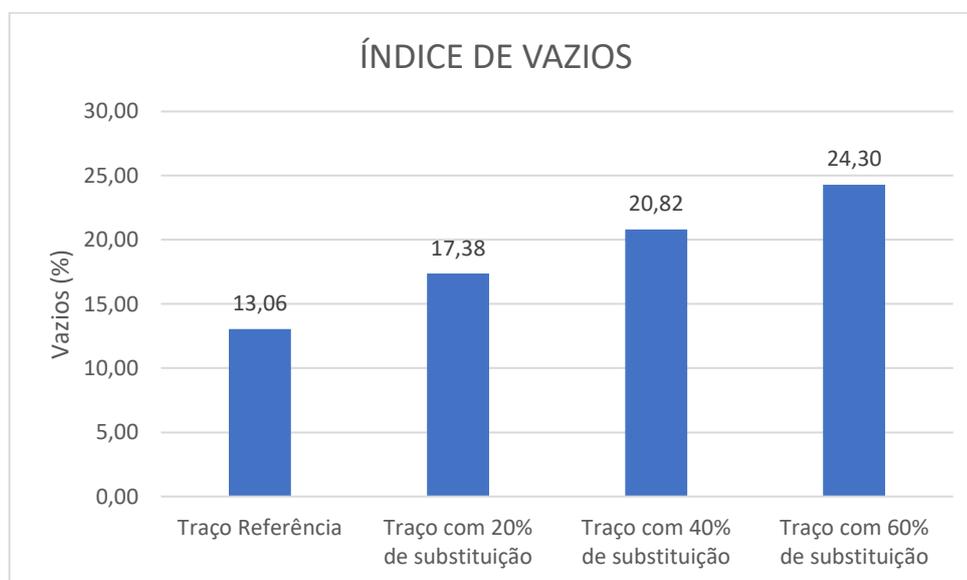
Fonte: autoria própria (2019)

Analisando os resultados obtidos, pode-se constatar que, conforme a quantidade de vermiculita expandida usada em cada traço foi aumentando, a absorção de água também aumentava. O traço com 20% de vermiculita expandida teve um ganho de absorção de 35,85% comparado com o traço de referência. O de 40% aumentou 70,94%, e o traço com 60% de substituição teve um aumento de absorção de 115,41%.

Esses valores do aumento de absorção e justificado pelo fato de se utilizar um agregado leve com muitos poros. O fato da vermiculita expandida ser um agregado poroso justifica o motivo de que quanto maior a porcentagem de substituição no traço, maior também a porcentagem de absorção de água.

Os resultados para o índice de vazios foram analisados por meio de comparação do concreto sem substituição. O Gráfico 9 mostra o comparativo desse índice de vazios para cada concreto.

Gráfico 9 - Comparativo das porcentagens do índice de vazios dos concretos obtidos na pesquisa



Fonte: autoria própria (2019)

Fazendo uma análise dos resultados apresentados no gráfico, é possível constatar que o índice de vazios aumentou em todos os traços. Esses aumentos foram de 33,12%, 59,41% e 86,11% para os traços com 20%, 40% e 60% de substituição respectivamente.

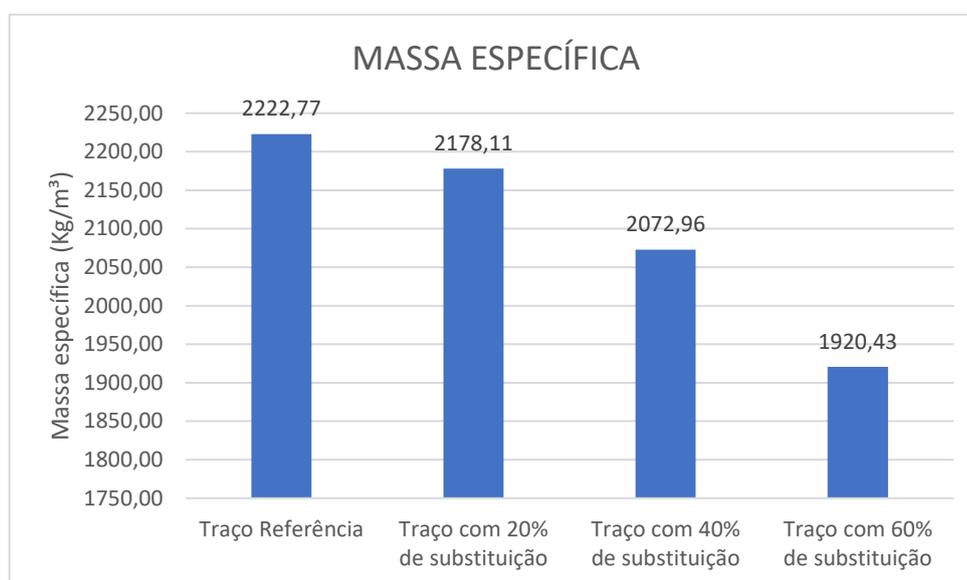
Esse resultado complementa o resultado de absorção de água. Pois ele demonstra que com o aumento da porcentagem de substituição de vermiculita

expandida, aumenta também o índice de vazios no concreto. Constatando assim, que a vermiculita expandida e um material poroso.

Em estudos que envolvem agregados leves para a confecção de concreto, é fundamental fazer a verificação quanto a classificação do concreto quanto a massa específica. Essa análise é essencial para saber se o concreto é ou não considerado um concreto leve. E o parâmetro usado para essa consideração é por meio das normativas, sendo elas nacionais e internacionais.

O Gráfico 10 mostra o comparativo da massa específica de cada um dos traços rodados.

Gráfico 10 - Comparativo das resistências à compressão obtidos na pesquisa



Fonte: autoria própria (2019)

Em conformidade com algumas das normas, o concreto deve apresentar uma massa específica que varia entre 900 kg/m³ e 2200 kg/m³ para ser considerado como leve. À vista disso, os traços que foram confeccionados com a substituição de vermiculita expandida, alguns podem ser considerados leves e outros não, isso vai depender de qual norma se analisará para fazer as considerações.

Para classificar os concretos como leve ou não, a Tabela 17 mostra qual os requisitos para a classificação dos traços quanto às normas e quanto a sua massa específica.

Tabela 17 – Classificação dos traços quanto a massa específica.

Referência	Limite de massa específica (Kg/m ³)	Traço	Massa específica (Kg/m ³)	Classificação
RILEM (1975) E CEB-FIP (1977)	$\gamma < 2000$	TR T20 T40 T60	2222,77 2178,11 2072,11 1920,43	Concreto convencional Concreto convencional Concreto convencional Concreto leve
NS 3473.E (1998)	$1200 < \gamma < 2200$	TR T20 T40 T60	2222,77 2178,11 2072,11 1920,43	Concreto convencional Concreto leve Concreto leve Concreto leve
EUROCODE 2 (2007)	$900 < \gamma < 2000$	TR T20 T40 T60	2222,77 2178,11 2072,11 1920,43	Concreto convencional Concreto convencional Concreto convencional Concreto leve
ACI 213R-03 (2003)	$1120 < \gamma < 1920$	TR T20 T40 T60	2222,77 2178,11 2072,11 1920,43	Concreto convencional Concreto convencional Concreto convencional Concreto convencional
NM 35 (1995)	$1680 < \gamma < 1840$	TR T20 T40 T60	2222,77 2178,11 2072,11 1920,43	Concreto convencional Concreto convencional Concreto convencional Concreto convencional

Fonte: autoria própria (2019)

Considerando as normas, RILEM (1975), CEB-FIP (1977) E EUROCODE 2 (2007), os resultados obtidos nos traços foram comparados com os limites das mesmas. E em relação a essas normas, somente o traço com 60% de substituição atendeu o limite necessário para ser considerado como concreto leve.

As normas especificam um limite de 2000 Kg/m³ de massa específica para ser considerado como concreto leve, e o concreto com 40% de substituição obteve uma massa específica de 2072,11 Kg/m³, ficando muito próximo do valor das normas. Como a diferença foi muito pequena e possível fazer ajustes para que esse concreto também possa atender o limite mínimo exigido pelas normas.

Comparando os resultados obtidos, e comparando os mesmo com a norma NS 3473.E (1998), todos os concretos com substituições apresenta massa específica necessária para serem considerados como leve.

5. CONCLUSÕES

Nessa pesquisa, foi estudado a substituição parcial de areia natural de rio por vermiculita expandida com a finalidade de se obter concreto leve estrutural. Por meio das experimentações, e dos resultados que foram obtidos no trabalho, pode-se concluir que:

Foi obtido uma redução da resistência à compressão simples, na resistência a tração, no módulo de elasticidade e na massa específica do concreto. Todos esses resultados podem ser explicados pelo fato da vermiculita expandida ser um agregado leve, e apresentar uma baixa resistência mecânica.

Já em relação aos ganhos, os concretos com teores de vermiculita obtiveram um aumento na absorção de água e índice de vazios. Resultados que já era esperado pelo fato da utilização de um material leve e poroso.

Os resultados de resistência à compressão e massa específica obtidos são primordiais para a classificação do concreto, pois com eles que é possível afirmar se o concreto é ou não leve estrutural. A norma americana ACI 213R-03 (2003) define que o concreto leve estrutural deve apresentar resistência à compressão superior a 17,2 MPa, esse mesmo valor também é citado na norma mercosur NM 35 (1995).

Em relação a NM 35 (1995), nenhum dos concretos podem ser considerados como leve estrutural, pois embora os traços com 40% e 60% de substituição apresentar a resistência necessária, a massa específica deveria ser inferior a 1840 Kg/m³.

Analisando os resultados com uma norma norueguesa, a NS 3473.E (1998), os concretos com teores de substituição de vermiculita expandida, sendo eles de 20% 40% e 60%, todos são considerados como concreto leve, pois a norma define um valor de pelo menos 2200 Kg/m³. Entre esses resultados, o concreto com 20% de vermiculita expandida não pode ser usado como estrutural pois não apresentou resistência à compressão inferior ao mínimo necessário.

REFERÊNCIAS

- ANGELIN, Andressa Fernanda. **Concreto Leve Estrutural – Desempenhos Físicos, Térmicos, Mecânicos e Microestruturais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Tecnologia, Limeira, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **A versatilidade do cimento brasileiro**. São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro/>. Acesso em: 28 mar. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739 – Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211 – Agregados para concreto: especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7222 – Agregados e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8522 – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8953 – Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9776 – Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9833 – Concreto fresco: determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 30 – Agregado miúdo: determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 35 – Agregados leves para concreto estrutural - Especificação.** Rio de Janeiro, 1995.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 46 – Agregados: determinação do material fino que passa através da peneira de 75 µm por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 49 – Agregados miúdo: determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67 – Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM ISO 3310-1 – Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação.** Rio de Janeiro, 2010.
BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** v1. 5ª ed. São Paulo, LTC, 2008.

BARROS, Laerte Melo. **Concreto de alta resistência a partir de matérias primas amazônicas e vidros reciclados. 2016.** 202 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2016.

BORDIN, Vanessa. **Nova norma da ABNT estabelece critérios para o uso de água em concreto.** 2010. Vogg Branded Content. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/nova-norma-da-abnt-estabelece-criterios-para-o-uso-de-agua-em-concreto/>>. Acesso em: 11 set. 2017.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução. Tradução Sergio Murilo Stamile Soares.** [S.1.]: Rio de Janeiro, LTC, 2012.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural.** 1 ed. São Paulo: PINI, 2008. 179p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

GOMES, P.C.C.; BARROS, A.R. **Métodos de dosagem de concreto auto adensável.** 1 ed. São Paulo: PINI, 2009, pg. 165.

MEHTA, P. K; Monteiro, P. J. M. **Concreto - microestrutura propriedades e materiais**. 2ª ed. São Paulo: IBRACOM, 2014.

MERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. ACI 213R-03**. ACI Manual of Concrete Practice, 2003.

NOGUEIRA, Kelso Antunes. **Reação Álcali-Agregado: diretrizes e requisitos da ABNT NBR 15577/2008.2010**. 93 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2010.of Radio Engineers vol. 37, p. 1378-1395 in CETEM 2 ed, 2008.

PAULA, R.F. **Vermiculita**. In: DNPM vol 33. Sumário Mineral. Brasília, 2013. 152 p., cap Vermiculita, p. 122-123.

PAULON, Vladimir Antonio. **A microestrutura do concreto convencional**. In: **Geraldo Cechella Isaia**. (Org.), 01/2005, "Concreto: Ensino, pesquisas e realizações.", Capítulo, ed. 1, São Paulo, pp. 22, pp.583-604, 2005 ----- pego no rossignolo.

PAULON, V. A. A microestrutura do concreto convencional. In: ISAIA; G. C. (Ed.) **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo, IBRACON, V.01, p. 583-604, 2005.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**. São Paulo, n. 53, p. 14-19, jan.-fev.-mar, 2009.

PEREIRA, M. R. **Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves**. 2008. 85f. dissertação (mestrado_ - pós-graduação em ciência e engenharia de materiais. UFRN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

RECUERO, J.C. **Areia**. In: DNPM vol 36. Sumário Mineral. Brasília, 2016.

REY, L. **Planejar e Redigir Trabalhos Científicos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. Editora Pini, 1ª Edição. São Paulo, 2009.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos – dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. Tese (Doutorado). São Carlos, 2003. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos e Instituto de Química de São Carlos.

SILVA, J. C. **A influência da adição de fibras de polipropileno e vermiculita expandida em argamassas com nanotitânia**. Joinville, 2015.

SILVA, C. A. França; PAULO, F. A. Braga; HUDSON, J. B. Couto; CAROLINE, C. Gonçalves. **Vermiculita, mais que um mineral termo acústico**. IV Simpósio de minerais industriais do Nordeste. João Pessoa, 2016.

CopySpider

Arquivo URL Instalar Usar Limpar Opções Sincronizar

E-mail: diegamauro@hcmall.com

Nome do arquivo de entrada: C:\Users\salom\Desktop\2019 TCC II - DIEGO ARAUJO SANTOS.docx

Modo de pesquisa: Buscar em arquivos da internet

Relatório	Tempo	Progresso	Chance	Status	Principal	Remover
Analisar	00:03:10	100%	2.07% OK			X

1903
Verido 14.3 RC2
07/11/2019

APPOIA.AE

Torne-se um Apoiador e tenha acesso a licenças exclusivas com todos os recursos do CopySpider.

1903
Verido 14.3 RC2
07/11/2019

1903
Verido 14.3 RC2
07/11/2019