

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

ERICK THIAGO COSTA DE ANDRADE

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS FIBROSOS LEVES

JOÃO PESSOA, PB

2019

Erick Thiago Costa de Andrade

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS FIBROSOS LEVES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Dr. Antonio Farias Leal

JOÃO PESSOA, PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A553c Andrade, Erick Thiago Costa de.
Caracterização de Materiais Cimentícios Fibrosos Leves
/ Erick Thiago Costa de Andrade. - João Pessoa, 2019.
46 f.

Orientação: Dr Antonio Farias Leal.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Concreto; EVA; Argila expandida; Isopor; Vericulit.
I. Leal, Dr Antonio Farias. II. Título.

UFPB/BC

Erick Thiago Costa de Andrade

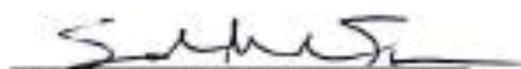
**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS
FIBROSOS LEVES**

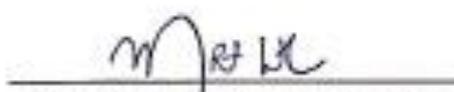
Data de defesa: 26 de maio de 2019.

Período: 2018.2

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora:


Prof. Dr. Antonio Farias Leal
DeMat/CT/UFPB


Prof. Dr. Sandro Marden Torres
DeMat/CT/UFPB


Prof. Dr. Marçal Rosas F. Lima Filho
DEER/CEAR/UFPB

“O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém” - Dalai Lama.

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais José Evandro de Andrade e Valéria Costa, aos meus irmãos Elvis Victor e Emily, a minha incentivadora maior Natasha Seleidy Ramos de Medeiros, pelo total apoio em todas as etapas da minha vida acadêmica, em especial nesses últimos anos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me ajudado, me dando saúde e força para superar todas as dificuldades que encontrei durante essa caminhada.

A Universidade Federal da Paraíba – UFPB e todo corpo docente, em especial, do DEMAT que oportunizaram a janela na qual hoje posso ver um horizonte superior e de uma perspectiva totalmente diferente, através da confiança no mérito e ética aqui presente.

Ao meu orientador Antonio Farias Leal, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pela paciência, correções e incentivos.

Aos meus pais e irmãos, pelo incentivo e apoio incondicional.

A minha maior incentivadora, Natasha Seleidy Ramos de Medeiros, por todo o apoio. Sem ela, não teria chegado até aqui, todas as vezes que pensei em desistir ela sempre esteve lá para me ajudar a dar continuidade a esse grande sonho.

A todos os técnicos do LSR e LABEME, que me ajudaram e me ensinaram não só com esse trabalho, mas durante todo o curso.

E a todos que de forma direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Devido à busca crescente por melhores materiais, bem como o aperfeiçoamento dos já existentes, uma área de estudo importante é o desenvolvimento científico e tecnológico dos materiais para construção civil visando atender as necessidades exigidas e custo da produção na área. Um campo muito promissor, porém, não tão explorada é o chamado concreto leve, que possui propriedades que pode se aproximar às do material tradicional, porém, com peso muito menor. Esse tipo de material, atribuído a incorporação de fibras sintética na argamassa leve acarretará a melhora nas propriedades do concreto, entre elas a principal é a resistência após a formação e deslocamento da trinca. Dessa maneira pode-se desenvolver materiais para inúmeras situações que exija resistência e leveza. Vários tipos de agregados podem ser utilizados, dependendo da aplicação, entre outros o isopor, a argila expandida, o EVA triturado e a vermiculita são usados. Este trabalho visa a obtenção de concreto leves com acréscimo de fibra curta sintética de polipropileno para caracterização e análise das propriedades do material. Após a fabricação dos corpos de prova prismáticos, foi feito ensaio de flexão, compressão e microscopia eletrônica de varredura (MEV), seguindo essa ordem, a partir disso determinamos um fator de eficiência para cada composição e fazendo também comparações entre os agregados fibrosos e não fibrosos. Os resultados foram eficientes de acordo com a composição do agregado usado. Ficando evidenciado os benefícios desse tipo de concreto na construção civil.

Palavras chaves: concreto leve, EVA, Argila expandida, Isopor, eficiência

ABSTRACT

Due to the increasing search for better materials, as well as the improvement of existing ones, an important area of study is the scientific and technological development of materials for civil construction aiming to meet the required requirements and cost of production in the area. A very promising field, however, not so explored is the so-called lightweight concrete, which has properties that can approximate those of traditional material, but with much less weight. This type of material, attributed to the incorporation of synthetic fibers in the light mortar will lead to an improvement in the properties of the concrete, among them the main one is the resistance after the formation and displacement of the crack. In this way you can develop materials for numerous situations that require strength and lightness. Various types of aggregates can be used, depending on the application, among others Styrofoam, expanded clay, crushed EVA and vermiculite are used. This work aims to obtain lightweight concrete with addition of synthetic short polypropylene fiber for characterization and analysis of material properties. After the prismatic test specimens were manufactured, a bending, compression and scanning electron microscopy (SEM) test was carried out, following this order, we determined an efficiency factor for each composition and also made comparisons between fibrous and non-fibrous aggregates fibrous. The results were efficient according to the composition of the used aggregate. The benefits of this type of concrete in civil construction are evidenced.

Keywords: lightweight concrete, EVA, expanded clay, Styrofoam, efficiency

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1 CIMENTO PORTLAND	11
3.2 CONCRETO	12
3.3 CONCRETO LEVE	12
3.4 AGREGADOS LEVES	14
3.5 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS	20
3.5.1 Fibra de polipropileno	23
4. CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS	24
4.1 MATERIAIS	24
4.2 MÉTODOS	27
4.3 ANÁLISE DOS DADOS	30
5. RESULTADOS E DICUSSÃO	31
6. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O concreto possui uma série de características que lhe garante o posto de material estrutural mais utilizado do mundo. Entre as principais vantagens podemos citar o baixo custo, facilidade de se adequar a vários processos e a possibilidade de ser moldado de inúmeras formas (COUTO; CARMINATTI; NUNES; MOURA, 2013). Apesar disso, o concreto possui limitações como baixa resistência mecânica, elevado peso, capacidade de medir suas propriedades apenas depois do processo de cura e secagem, após esse tempo possui pouca deformação antes da ruptura, tendo em vista que, uma vez fissurado, o concreto perde completamente a capacidade de resistir a esforços de tração e flexão. Por esse motivo surgiram alternativas que pudessem melhorá-lo nesse aspecto como, por exemplo, o concreto armado - onde esses esforços são compensados por barras de aço. Mas, recentemente surgiu o concreto reforçado com fibras, onde os esforços são melhor suportados pela presença de fibras de vários tipos e modelos dentro da estrutura.

O concreto reforçado com fibra, bem como o concreto armado são exemplos de materiais conhecidos como compósitos, o concreto em si já é um exemplo de material compósito, pois possui a pasta de cimento, agregado e poros em sua estrutura. No entanto, o termo é mais utilizado quando o concreto possui reforço diferente dos materiais já existente na composição tradicional (FILHO et al., 2012).

Alguns materiais desse tipo já eram utilizados há muito tempo, tendo referência inclusive no antigo testamento das escrituras sagradas: não continueis a fornecer palha ao povo, como antes, para fabricação de tijolos (Êxodo 5, 6-7). Isso se dá à capacidade de os materiais compostos apresentar comportamento mais adequado em dadas situações onde são submetidos, tendo em vista que existe uma combinação de propriedades entre os materiais envolvidos (CALLISTER, 2012).

Os materiais chamados compósitos possuem dois ou mais materiais em sua estrutura, basicamente são constituídos de um material chamado matriz, este geralmente está em maior quantidade e é responsável por dar estrutura e forma ao compósito. O outro material, chamado reforço, será responsável por proporcionar as características do material formado. Geralmente os dois materiais não interagem quimicamente, o reforço irá transferir suas propriedades para a matriz quando o todo está sendo submetido a esforços, realçando as propriedades de todo material (CALLISTER, 2012).

Uma combinação de materiais à base de cimento Portland e de polímeros nas mais diversas formas dão origem a um compósito que apresenta propriedades características como

resistência mecânica, módulo de elasticidade, ductilidade, tenacidade e comportamento pós-fissuração mais apropriadas do que quando comparadas às propriedades dos materiais isoladamente (MOGRE; PARBAT, 2012).

Existem inúmeros tipos de concretos, entre eles estão o concreto leve e o reforçado com fibras. A principal característica do concreto leve está na sua leveza, seu peso específico fica abaixo do concreto convencional. Isto é possível pela substituição dos agregados convencionais mais pesados por agregados leves como argila expandida, isopor ou EVA, ou ainda, pela incorporação de bolhas de ar no concreto. Já no concreto reforçado com fibras, segundo Budinski (1996) apud Araújo (2005), os materiais compósitos provenientes de reforço poliméricos e matriz cerâmica são os mais importantes. Os materiais baseados em cimento Portland são considerados como materiais cerâmicos, pois apresentam características desse grupo de materiais como, por exemplo, baixa resistência à tração, alta rigidez e tendência de fissuração durante o processo de secagem. Os polímeros por sua vez são conhecidos por possuírem baixo módulo de elasticidade, moderável resistência à tração e ductibilidade variável.

A presença de fibras na argamassa promove ao concreto um ganho de resistência à tração, aumento da tenacidade e maior capacidade de deformação após o surgimento de fissuras (BENTUR; MINDESS, 2007). Além disso, Choi e Yuan (2004), diz que as fibras proporcionam o aumento da resistência à flexão, resistência ao impacto e do módulo de ruptura.

Entre as fibras usadas para reforço de materiais cimentícios, o uso de fibras sintéticas (poliméricas), vem ganhando importância, com destaque especial para as de polipropileno, extensivamente utilizadas.

As fibras de polipropileno são produzidas a partir da resina de polipropileno do tipo homopolímero em vários tamanhos, formas e com diferentes propriedades. As principais vantagens dessas fibras são relativo alto ponto de fusão (165 °C), resistência aos álcalis e o baixo preço do material. Em contrapartida, suas desvantagens são sua baixa resistência ao fogo, sensibilidade à luz do sol e oxigênio, baixo módulo de elasticidade e fraca aderência com a matriz cimentícia (BENTUR; MINDESS, 2007). Como o peso específico das fibras de polipropileno é baixo, um alto teor de fibras também diminui o peso do concreto (LUCENA, 2017).

Ainda, segundo Lucena (2017), o maior problema no concreto reforçado com fibra está em formular o compósito nas quantidades ideais, levando em conta o custo, trabalhabilidade da massa e união entre matriz cimentícia e reforço polimérico, bem como obter sucesso na transferência das propriedades da fibra de polipropileno para o concreto.

No Brasil, a utilização do concreto reforçado com fibras ainda é baixa, tendo vista que ainda dar-se preferência a métodos mais tradicionais na construção civil. Porém, o mercado de fibras e agregados leves para essa aplicação na construção civil está em crescimento no país e empresas estão investindo cada vez mais em tecnologia na área para benefício dos processos e qualidade das obras.

Dentro desse contexto e levando em consideração um conhecimento prévio sobre o assunto, alguns questionamentos ainda existem para serem esclarecidos sobre o tema, entre essas questões estão: com aumento da fração volumétrica do polímero irá influenciar nas propriedades do concreto? É possível proporcionar uma estrutura capaz de suportar os esforços ao qual esse tipo de material será submetido? Em relação ao peso, como será afetado? Tendo em vista que a matriz se trata de concreto leve.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as características mecânicas e microestrutural de concreto com os agregados leves de isopor, EVA, argila expandida e vermiculita, todos com e sem fibra de polipropileno.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir os blocos prismáticos com cada agregado leve com e sem fibra de polipropileno nas devidas proporções;
- Analisar a resistência à flexão, por meio do ensaio de flexão de três pontos após 28 dias;
- Investigar a resistência à compressão, analisando o fator de eficiência para cada composição;
- Observar, através das imagens de MEV, o comportamento do agregado e da fibra dentro da estrutura.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CIMENTO PORTLAND

Segundo Falcão (2010), o cimento Portland é o produto adquirido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo uma eventual quantidade de materiais que modificam suas propriedades ou facilitam o seu emprego. Os constituintes do cimento Portland são o óxido de cálcio – cal (CaO), a sílica (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂). Os ácidos de potássio e sódio constituem os chamados álcalis do cimento.

A Cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland e constituem, geralmente, 95% a 96% do total na análise de óxidos. A magnésia que fica livre durante todo processo de calcinação, está presente na proporção de 2% a 3%, no Brasil é permitido até 5%, óxidos menores estão em proporção inferior a 1% e excepcionalmente 2%. (FALCÃO, 2010).

As reações químicas do cimento com a água - hidratação do cimento - geram produtos que possuem características de pega e endurecimento. A perda de consistência (enrijecimento) e solidificação do cimento (pega) são características da hidratação dos aluminatos, enquanto os silicatos são responsáveis pela taxa de desenvolvimento da resistência (endurecimento) do cimento (JÚNIOR, 2015).

As propriedades físicas do cimento Portland são consideradas sobre três aspectos distintos: propriedades do produto em sua condição natural, em pó, da mistura de cimento e água e proporções convenientes de pasta e, finalmente da mistura da pasta com agregado padronizado. (FALCÃO, 2010).

As propriedades da pasta e argamassa são relacionadas com o comportamento desse produto quando utilizado, ou seja, as propriedades potenciais para elaboração de concretos e argamassas. Tais propriedades se enquadram em processos artificialmente definidos nos métodos e especificações padronizados, quer para a aceitação do produto quer para a avaliação de suas qualidades para fins de utilização dos mesmos. (FALCÃO, 2010).

3.2 CONCRETO

Já o concreto, é um material composto, constituído por cimento, água, agregado e ar. Pode também conter adições como cinza volante, pozolanas, sílica ativa, entre outros, além de aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (FALCÃO, 2010).

Atualmente, apresenta-se como o material estrutural de maior uso, as razões para o uso tão difundido do concreto são a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados em uma variedade de formas e tamanhos, além de ser mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obra (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios executados respeitando as condições específicas. Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações, guiados por norma, como por exemplo, para ensaio de flexão e para ensaio de compressão (ABNT NBR 13279).

3.3 CONCRETO LEVE

As primeiras indicações da aplicação dos concretos leves são datados de aproximadamente 3.000 anos (1.100 a.C.), quando construtores pré-Colombianos, que viveram na atual cidade de El Tajin no México, utilizaram uma mistura de pedra pomes com um ligante à base de cinzas vulcânicas e cal para a construção de elementos estruturais. Um desses exemplos, pode ser observado na figura 1 quando os romanos utilizaram essa mistura para a reconstrução do Panteão de Roma, após ter sido destruído por uma incêndio (VIEIRA, 2000).

Segundo, Holm e Bremner (1994), o início do uso de concretos de cimento Portland com agregados leves, como conhecemos hoje, ocorreu durante a Primeira Guerra Mundial, quando a American Emergency Fleet Building Corporation construiu embarcações com concreto leve, utilizando xisto expandido, com resistência à compressão de 35 MPa e massa específica em torno de 1700 kg/m³, enquanto o valor usual de resistência à compressão dos concretos tradicionais da época era de 15 MPa.

Uma dessas embarcações pode ser observada na figura 1, o navio norte-americano USS Selma foi construído em 1919, utilizando concreto leve com resistência à compressão de 35 MPa e massa específica de 1600 Kg/m³.

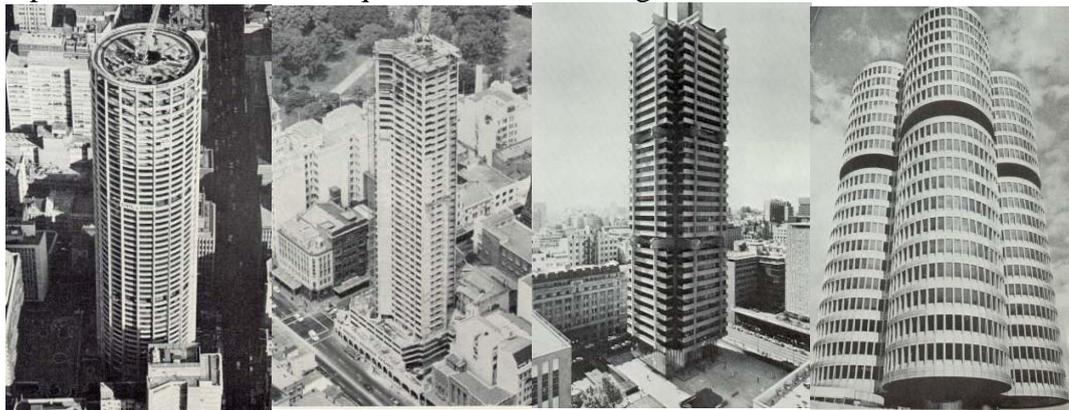
Figura 1 - Panteão de Roma e a embarcação USS Selma.



Fonte: ROSSINGNOLO, 2003.

A partir da década de 50, vários edifícios com múltiplos pavimentos foram executados com concreto leve, na Austrália foi construído em 1968 o Australia Square Tower, o Park Regis, na África do Sul em 1970, o Standart Bank e o BMW Building na Alemanha em 1972, ilustrados na Figura 2 (ROSSINGNOLO, 2003).

Figura – 2: Edifícios de múltiplos pavimentos executados com concreto leve, respectivamente Austrália Square Tower, Park Regis, Standart Bank, BMW Buildin.



Fonte: ROSSINGNOLO, 2003.

Com relação as propriedades do concreto leve, tradicionalmente eles são diferenciados dos concretos convencionais pela redução da massa sua específica e alterações das propriedades térmicas. Entretanto, essas não são as únicas características importantes que justificam atenção especial aos concretos leves. Além das características supracitadas, a utilização de agregados leves ocasionam mudanças significativas em outras propriedades dos concretos, como a trabalhabilidade, a resistência mecânica, o módulo de deformação, a retração e fluência, além da redução da espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento (ROSSINGNOLO, 2003).

3.4 AGREGADOS LEVES

Como mencionado anteriormente, os concretos são materiais heterogêneos e suas propriedades dependem essencialmente das propriedades individuais de cada componente e da compatibilidade entre eles. As principais propriedades influenciadas pela substituição de agregados tradicionais por agregados leves são a massa específica, a trabalhabilidade, a resistência mecânica, o módulo de elasticidade, suas propriedades térmicas, a retração, a fluência e a espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento (ROSSINGNOLO, 2003; AZEVEDO, 2018).

Para a dosagem e produção adequada dos concretos leves estruturais, é necessário o conhecimento das propriedades dos agregados leves utilizados que podem variar significativamente devido a matéria prima utilizada e característica do material utilizado (AZEVEDO, 2018).

Os agregados leves são classificados em naturais e artificiais. Sendo os agregados naturais obtidos através da extração direta em jazidas da natureza, seguido de uma classificação granulométrica. E os agregados leves artificiais são obtidos em processos industriais e são classificados pela matéria prima utilizada no seu processo de fabricação (ROSSINGNOLO, 2003).

Se referindo a resistência dos agregados leves, Holm e Bremner (1994), trazem que os agregados leves com baixa resistência mecânica têm pouca participação na transmissão das tensões internas do concreto. Assim, quanto maior for a diferença entre os valores do módulo de deformação do agregado e da matriz de cimento maior será a diferença entre a resistência à compressão da matriz de cimento e do concreto. O aumento do módulo de deformação do agregado leve aumenta também os valores da resistência à compressão e o do módulo do concreto.

Dentro desse contexto, nesse trabalho serão abordado a utilização de alguns agregados leves que serão descritos a seguir.

O *Poliestireno expandido (EPS)*, muito conhecido no Brasil como ISOPOR®, marca registrada da Knauf Isopor Ltda, foi descoberto no ano de 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha. Inicialmente seu desenvolvimento foi bastante lento devido ao fato do alto custo da sua matéria. Apesar disso, notou-se um aumento expressivo a partir de 1968, com a previsão de que o concreto leve poderia ocupar, em longo prazo, um lugar importante no setor da construção civil (ABRAPEX, 2019).

Esse material ganhou nos últimos 35 anos uma posição estável na construção de edifícios, não apenas por suas características isolantes, mas também por sua leveza, resistência, facilidade de trabalhar e baixo custo (OLIVEIRA 2013; OZÓRIO, 2016).

É um material que se apresenta como plástico celular rígido, proveniente da polimerização do estireno - um derivado do petróleo - em água. Como agente expensor para a transformação do isopor emprega-se o pentano, um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares sem degradar o meio ambiente (OZÓRIO, 2016).

De acordo com Oliveira (2013), o ESP obtém as seguintes vantagens: baixa condutividade térmica - a estrutura de células fechadas e cheias de ar dificulta a passagem do calor o que lhe confere um grande poder isolante; baixo peso - as suas densidades variam entre os 10-30 kg/m³, permitindo uma redução substancial do peso das construções; resistência mecânica - apesar de muito leve, apresenta uma resistência elevada, que permite o seu emprego onde esta característica é necessária; baixa absorção de água - o isopor não é higroscópico, mesmo quando imerso absorve apenas pequenas quantidades de água, essa propriedade garante que o isopor mantenha as suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da umidade; facilidade de manuseio – pode ser trabalhado com as ferramentas habitualmente disponíveis, garantindo a sua adaptação à obra; baixo peso que facilita o manuseamento do mesmo em obra, onde todas as operações de movimentação e colocação resultam significativamente encurtadas; versatilidade - pode apresentar-se em diversos tamanhos e formas, que se ajustam sempre as necessidades específicas da construção; resistência ao envelhecimento - todas as suas propriedades mantêm-se inalteradas ao longo da vida do material, há estimativas que em meio à natureza demore cerca de 150 anos para se degradar; absorção de impactos; resistência à compressão de até 2 kg/cm²; além da resistência química, onde o isopor é compatível com a maioria dos materiais comumente usados na construção civil tais como cimento, gesso, cal, água, entre outros; por fim os produtos finais deste material são inodoros, não contaminam o solo, água e o ar, ainda são reaproveitados, reciclados, podendo até voltar às condições de matéria- prima.

São inúmeras as utilizações do isopor, no entanto existem duas propriedades em específico que fortalece sua presença no mercado consumidor, a sua extrema leveza e isolamento termo-acústico, pois são propriedades diretamente ligadas ao baixo custo (ABRAPEX, 2006).

A *vermiculita* (Mg, Fe)₃ [(Si, Al)₄O₁₀] [OH]₂ 4H₂O, é um silicato hidratado de magnésio, alumínio e ferro, com uma estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal. Esse termo é utilizado também para denotar comercialmente um grupo de minerais micáceos composto por cerca de dezenove variedades de silicatos hidratados de magnésio e alumínio, com ferro e alguns outros elementos. O nome *vermiculita* é originário do latim *vermiculus*, que significa

pequeno verme e se deve ao fato de que esse material se alastra sob aquecimento, durante o qual suas partículas movimentam-se de forma semelhante aos vermes (UGARTE; 2005).

Suas propriedades de superfície, somadas aos altos valores de área superficial específica, porosidade e carga superficial (negativa), fazem da vermiculita um material adequado para o uso como agente adsorvente ou como carreador. Como adsorvente/absorvente, ela age devido às propriedades de troca iônica que possui, semelhante a algumas argilas e zeólitas, podendo ser utilizada em processos de remoção de contaminantes orgânicos e na purificação de águas residuais contendo sais dissolvidos (FRANÇA et al., 2005; NETO; UGARTE, 2007).

O valor comercial da vermiculita está diretamente relacionado a camada de moléculas de água que intercala as camadas de alumínio e silício na estrutura do mineral, onde a mesma responde pelo seu elevado índice de expansão. Essas moléculas de água, quando aquecidas de forma rápida em altas temperaturas, transformam-se em correntes de ar quente e causam aumento no volume do mineral. Esse processo é chamado de expansão térmica e confere ao produto final múltiplas aplicações industriais. Na forma expandida, a vermiculita é quimicamente ativa, biologicamente inerte, além de possuir baixa densidade (FRANÇA, 2002).

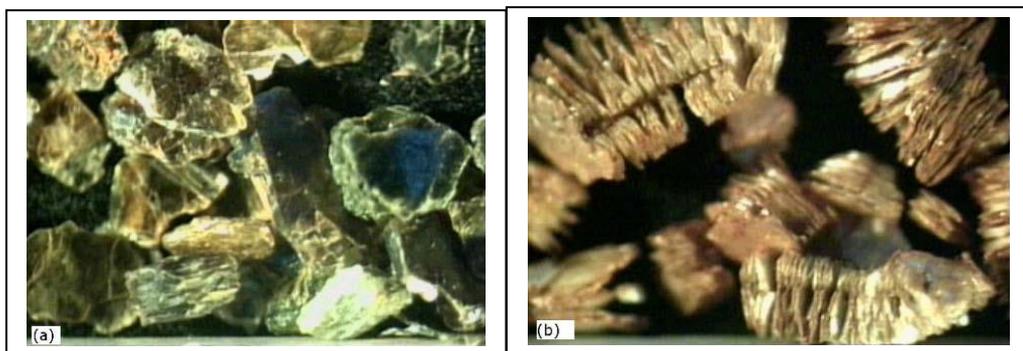
No Brasil, existem depósitos e jazidas de vermiculita nos estados da Paraíba, Goiás e Piauí. Os minérios brasileiros não contêm asbestos, o que confere aos concentrados de vermiculita maior valor agregado, além de favorecer o melhor aproveitamento econômico do bem mineral e não ser cancerígeno. A lavra é a céu aberto, semi ou totalmente mecanizada. O Brasil possui 11% das reservas mundiais de vermiculita e produção nacional é de 35%, destacando o estado de Goiás como o maior produtor do minério. Durante o ano de 2006, no Brasil, a produção de vermiculita foi de 30 mil toneladas e o consumo interno chegou a 23 mil toneladas (CAVALCANTI, 2007).

Os minérios e concentrados são normalmente analisados pelo teor de vermiculita e tamanho das partículas. A amostra seca é peneirada em várias frações, segundo a classificação granulométrica citada por Brasil Minérios (2019), que exemplifica a diferença entre a granulometria dos padrões de concentrados de vermiculita natural, internacional, americano e brasileiro. Cada fração é pesada, e então, submetida ao processo de expansão térmica em fornos com temperatura na faixa de 800 a 1.100°C. Após o resfriamento, a vermiculita expandida é novamente pesada, e a ganga residual é removida por meio de separação a seco ou a úmido, geralmente utiliza-se separação a seco. As técnicas de beneficiamento de vermiculita fazem uso das vantagens de uma ou mais propriedades do mineral. Tais propriedades incluem a forma, a densidade, a resistência à cominuição, entre outras.

Embora a vermiculita seja comercializada na sua forma natural, a sua utilização se faz, na maioria das vezes, na forma expandida. Na forma natural, a vermiculita é utilizada na fabricação de placas de isolantes em recobrimento de paredes e outros usos limitados (ELLICOT, 2000).

Antes de citar os usos da vermiculita na forma expandida, é interessante conhecer alguns detalhes sobre o processo de esfoliação ou expansão térmica. O processo consiste no aquecimento do concentrado de vermiculita por meio de fornos especiais, a gás ou a óleo, a uma temperatura na faixa de 800 a 1.100°C. O objetivo desse processo consiste em remover a água estrutural associada ao mineral, em menos tempo, com o melhor rendimento do processo. O aquecimento converte, subitamente, a água interlamelar em vapor, expandindo a vermiculita natural. Esse processo confere aos produtos resistência ao fogo, propriedades isolantes térmicas e acústicas, adesão, resistência à formação de rachaduras e enrugamentos, esterilidade e também uma elevada absorção de líquidos, devido à sua porosidade que apresenta-se elevada (FRANÇA; LUZ, 2002).

Figura 3 – Fotografias de amostras de vermiculita (Santa Luzia, PB) (a) vermiculita natural; (b) vermiculita expandida.



Fonte: UGARTE et al., 2004.

A vermiculita pura expande até 30 ou 40 vezes o seu volume original, no entanto a vermiculita comercializada na forma natural expande, em média, de 8 a 12 vezes. É possível que fatores ligados a esta ocorrência sejam impurezas, assim como as características físico-químicas, principalmente a quantidade de moléculas de água livre ligadas à estrutura cristalina (UGARTE et al., 2004; MARTINS et al., 2001). A densidade aparente da vermiculita é reduzida de 640-960 kg/m³ para 56-192 kg/m³, quando se obtém um produto expandido com 90% em volume de ar aprisionado. No caso do produto expandido, a sua densidade e aparência dependem da temperatura e tempo de residência na zona de aquecimento e da natureza oxidante ou redutora do ambiente de aquecimento, que é proveniente do combustível utilizado.

Dentre os principais usos na construção civil, destaca-se a sua aplicação como isolante

térmico e acústico em paredes, na forma de massa para revestimento (reboco), graças à baixa condutividade térmica do material ($60 \text{ cal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$, a 25°C) e pequena propagação sonora (médias de coeficiente de redução de ruídos superior a 60%). Nesse contexto, a vermiculita é usada nas granulometrias média, fina e superfina. Outros produtos de vermiculitas para aplicação na construção civil estão disponíveis no mercado e recebem denominações comerciais fornecidas por cada empresa (UGARTE, 2005). Por exemplo, vermiplac, placas de aglomerado com dimensões métricas; vermibloc, blocos pré-moldados com argamassa gesso/vermiculita usados em divisórias internas; vermifloc que é um agregado para argamassa de reboco, onde o mais usado é o sem fibra, apresenta granulometria adequada dos grãos com 30% de redução do volume. Solto, pode ser aplicado no isolamento termo-acústico de forros, assoalhos e paredes, bem como na cobertura de abóbadas de fornos e estufas. A mistura de vermifloc com cimento portland e água proporciona a obtenção de um concreto leve, cuja resistência à compressão pode chegar a 0,7 MPa (BRASIL MINÉRIOS, 2019).

Para cada uso, deve ser adotada uma proporção conveniente entre as quantidades de vermifloc e cimento, atendendo sempre à relação densidade/resistência à compressão. Neste caso, as densidades referem-se ao material compacto e seco, e as misturas são fornecidas já prontas, secas, embaladas em sacos de 40 kg, sob o nome de vermimassa. Outras aplicações na construção civil: placas de aglomerado com miolo de chapas metálicas para uso como divisórias; impermeabilizante em lajes de cobertura e massas antifogo para paredes, teto e portas (BRASIL MINÉRIOS, 2019).

Outro agregado leve é o *Ethylene Vinyl Acetate (EVA)* que de acordo com a cartilha do editada pelo Centro tecnológico do Couro, Calçados e Afins – CTCCA (1993) de Novo Hamburgo, o EVA é um composto microporoso constituído pelos seguintes elementos: resina de EVA, agente reticulante, cargas, ativadores, auxiliares do processo e outros polímeros como a borracha.

O copolímero EVA é obtido por polimerização de radicais livres do etileno com o acetato de vinila em reatores de alta pressão. A homogeneidade na concentração de acetato de vinila garante estabilidade no processamento e qualidade do produto final (CTCCA, 1993).

A resina de EVA é o componente mais importante na sua formulação, contém acetato de vinila, e a sua qualidade define as propriedades do EVA. A medida que o teor de acetato de vinila aumenta, suas propriedades tornam-se mais próximas da borracha. Quando esse teor é menor o EVA apresenta propriedades similares ao polietileno de baixa densidade. No Brasil, a composição apresenta teor de acetato de vinila entre 19% e 28% (CTCCA, 1993; PREZOTO, 1990).

Segundo, Ribeiro (1995) e Triunfo (1994), as principais características dos copolímeros de Etileno acetato de vinila são: excelente flexibilidade e tenacidade, mesmo à baixas temperaturas; elasticidade similar à da borracha; resistência as quebras sob tensão ambientais “stress cracking”; é atóxico; apresenta baixo preço; e trata-se de um material termofixo, ou seja, ao serem submetidos ao aquecimento em determinada temperatura modificam permanentemente sua estrutura molecular, sofrendo reação química irreversível no processo.

Outro ponto a ser destacado na construção civil é a reciclagem do EVA, transformando o mesmo em agregado leve poderá vir a ser empregado na confecção de concreto e artefatos de cimento. Ainda como principais propriedades do EVA que indicam seu potencial na construção civil, destaca-se a baixa massa molar e característica de resiliência (TRIUNFO, 1994).

Para verificar a viabilidade técnica da utilização desse material como agregado, Garlet (1998) descreveu em seu trabalho alguns pontos: a forma de obtenção e preparo do agregado de EVA, a partir dos retalhos de placas; escolha de uma granulometria adequada; ensaio de durabilidade e resistência ao ataque de fungos na atmosfera; análise de propriedades físicas e mecânicas do concreto feito com diferentes tores do agregado de EVA; análise do custo e benefício para diferentes usos do concreto de EVA.

A obtenção do EVA reciclado, se restringe a moagem do mesmo. O material é depositado em moinhos de facas rotativos sem nenhum tratamento especial no material antes ou durante a moagem. O custo para obtenção está restrito apenas aos gastos com a moagem dos retalhos, portanto trata-se de um processo barato e que pode ser otimizado para produção em larga escala. (GARLET, 1998).

Já o agregado de *argila expandida* é o produto obtido por aquecimento de alguns tipos de argila, pode ser produzido pelo tratamento térmico da matéria-prima, triturada e classificada granulometricamente, ou ainda moída e pelotizada, geralmente é feito em forno rotativo a gás ou óleo diesel similar aos usados na fabricação de cimento Portland (NEVILLE, 1997).

Pode também, ser obtido por sinterização contínua. Nesse caso, o material bem umedecido é transportado numa esteira, sob queimadores, de modo que o calor atinge gradualmente toda a espessura da camada. Os agregados de argila expandida, produzidos por meio do processo de sinterização contínua possuem massa específica aparente na faixa compreendida entre 650 kg/m³ e 900 kg/m³ e os produzidos em forno rotativo, entre 300 kg/m³ e 650 kg/m³ (METHA; MONTEIRO, 1994).

Próximo da temperatura de 1200°C, uma parte dos constituintes do material se funde gerando uma massa viscosa, enquanto a outra parte são separadas quimicamente liberando

gases que são incorporados por esta massa sintetizada, expandindo-a em até sete vezes em comparação ao seu volume inicial. Esses gases, retidos no interior da argila, não podem escapar para o seu exterior devido à fase líquida que envolve as partículas da argila. Essa estrutura porosa se mantém após o resfriamento, de modo que a massa unitária do material resultante torna-se menor do que antes do aquecimento, podendo ser utilizada como agregado graúdo na fabricação de concretos leves, com o objetivo de reduzir o peso próprio das estruturas. (SHORT; KINNIBURK, 1963; SANTOS, 1992).

A argila expandida apresenta alta porosidade em relação aos agregados convencionais, devido à estrutura porosa dos seus grãos - já citada anteriormente, o que também aumenta sua absorção de água. Esta elevada absorção de água, quando não prevista, pode ser prejudicial ao concreto, reduzindo sua trabalhabilidade. Além disso, parte da água necessária para a hidratação dos compostos do cimento será absorvida por este agregado, reduzindo, possivelmente, a resistência mecânica do concreto. Como solução, recomenda-se a saturação do agregado, uma pré-umidificação ou a correção do teor de água (MORAVIA; OLIVEIRA; GUMIERI; VASCONCELOS, 2012).

A argila expandida por ser microporosa fechada, possui características que é de grande valor como agregado leve na construção civil, melhorando consideravelmente o conforto e bem estar do seu uso, entre elas estão o isolamento térmico, o isolamento acústico, a leveza, a resistência mecânica, a inércia química, a estabilidade dimensional e a incombustibilidade.

3.5 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

A combinação de material baseado em cimento Portland e de polímeros forma um compósito que apresenta características como resistência mecânica, módulo de elasticidade, ductilidade, tenacidade e comportamento pós-fissuração mais apropriadas, quando comparadas às propriedades dos materiais isoladamente.

Os materiais que podem compor um compósito podem ser classificados em dois tipos: a matriz e o elemento de reforço. A matriz é o que confere estrutura ao material compósito, preenchendo os espaços vazios que ficam entre os materiais reforços e mantendo-os em suas posições relativas. Os elementos de reforço são os que realçam as propriedades mecânicas do material compósito como um todo (LUCENA, 2017).

Segundo, Budinski (1996) *apud* Araújo (2005), os materiais compósitos provenientes de combinações de polímeros e materiais cerâmicos são os mais importantes. Os materiais baseados em cimento Portland são considerados como materiais cerâmicos por apresentarem

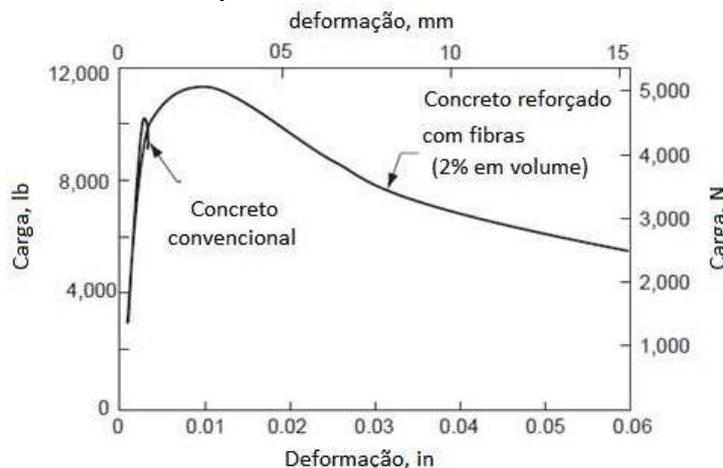
propriedades típicas a este grupo de materiais, como, por exemplo, a alta rigidez, a fragilidade, a baixa resistência à tração e a tendência de fissuração por secagem.

Quanto às propriedades mecânicas, os polímeros são caracterizados por possuírem ductilidade variável, moderada resistência à tração e baixo módulo de elasticidade (CALLISTER, 2011).

Com relação as propriedades dos concretos reforçados com fibras Bentur e Mindess (2007), afirmam que a presença de fibras na argamassa promove ao concreto um ganho de resistência à tração, maior capacidade de deformação e aumento da tenacidade. Além dessas propriedades, Choi e Yuan (2004) adicionam o aumento da resistência ao impacto, resistência à flexão e do módulo de ruptura. Ainda, segundo Bentur e Mindess (2007), a adição de fibras ao concreto tem pouco ou nenhum efeito sobre a resistência a compressão e no módulo de elasticidade.

A Figura 4 mostra curvas carga-deformação para o concreto convencional e o concreto reforçado com fibras e a Figura 5 evidencia o mecanismo de aumento de tenacidade à flexão do concreto com fibras.

Figura 4 - Comportamento carga-deformação de concreto convencional e Força de Resistência à Compressão.



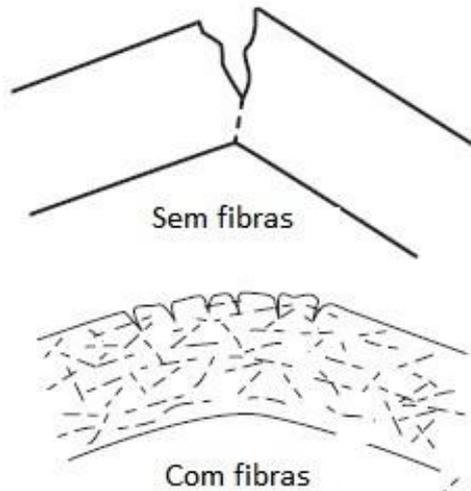
Fonte: Hanna, A.C., 1977 apud Mehta e Monteiro, 2008.

No ensaio que determina a Resistência à Tração na Flexão, a ruptura do concreto comum ocorre de forma repentina, assim que a deformação correspondente supera a resistência última à flexão. Já na Força de Resistência à Compressão (FRC) é capaz de suportar cargas importantes, mesmo com deformações superiores à deformação na fratura do concreto convencional. Portanto, um corpo de prova de FRC após o início da primeira fissuração não se rompe, se diferenciando do concreto convencional (LUCENA, 2017).

As propriedades mecânicas do concreto podem ser melhoradas por fibras curtas, discretas, aleatoriamente orientadas, que previnem ou controlam a formação e a propagação de

fissuras. A fibra induz uma distribuição mais homogênea das tensões no concreto, o que provoca uma melhor exploração da matriz de elevada resistência (GENCEL et al., 2011).

Figura 5 - Mecanismo de aumento de tenacidade à flexão do concreto com fibra.



Fonte: Johnson, 1980 apud Mehta e Monteiro, 2008.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) a fração volumétrica, assim como, o tipo de fibra apresenta efeitos consideráveis nas propriedades do concreto reforçado com fibras. Quanto à fração volumétrica, pode-se classificar o FRC em: a) baixa fração volumétrica (<1%) - utilizada quando se deseja diminuir a fissuração decorrida da retração, geralmente aplicada em estruturas onde existe grande superfície exposta, como por exemplo, lajes de pavimentos; b) moderada fração volumétrica (entre 1 e 2%) - propriedades como módulo de ruptura, tenacidade e resistência ao impacto apresentam importantes aumentos nessa fração volumétrica; c) alta fração volumétrica (>2%) - a presença de fibras nessa fração volumétrica leva ao endurecimento por deformação dos compósitos, devido ao seu melhor desempenho, esses compósitos são considerados de alto desempenho.

Os resultados de ensaios realizados por diversos pesquisadores mostram que a resistência à compressão, tração e flexão apresentam aumento com grande volume de fibras. Uma das mais importantes razões para o reforço do concreto com fibras é elevar a estabilização da tensão e da elasticidade (LUCENA, 2017).

3.5.1 Fibra de polipropileno

Entre as fibras usadas para reforçar os materiais cimentícios, o uso de fibras sintéticas (poliméricas), vem ganhando notoriedade, com destaque especial as de polipropileno

(BENTUR; MINDESS, 2007). As propriedades de algumas fibras sintéticas comuns são apresentadas na Tabela 1.

As fibras de polipropileno são produzidas a partir da resina de polipropileno do tipo homopolímero em vários tamanhos e formas, e com diferentes propriedades. As principais vantagens dessas fibras são relativo alto ponto de fusão (165 °C), resistência a álcalis e o baixo preço do material. Em contrapartida suas desvantagens são sua baixa resistência ao fogo, sensibilidade à luz do sol e oxigênio, baixo módulo de elasticidade e fraca aderência com a matriz cimentícia (BENTUR; MINDESS, 2007).

Tabela 1 - Propriedades típicas das fibras sintéticas

Tipo de fibra	Diâmetro (mm)	Densidade (g/cm³)	Resistência à Tração (Gpa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Alongamento último (%)
Acrílica	20 - 350	1,16 - 1,18	0,2 - 1,0	14 - 19	10 - 50
Aramida (Kevlar)	10 - 12	1,44	2,3 - 3,5	63 - 120	2 - 4,5
Carbon (PAN)	8 - 9	1,6 - 1,7	2,5 - 4,0	230 - 380	0,5 - 1,5
Carbon (Pich)	9 - 18	1,6 - 1,21	0,5 - 3,1	30 - 480	0,5 - 2,4
Nylon	23 - 400	1,14	0,75 - 1,0	4,1 - 5,2	16 - 20
Poliéster	10 - 200	1,34 - 1,39	0,23 - 1,2	10 - 18	10 - 50
Poliétileno	25 - 1000	0,92 - 0,96	0,08 - 0,6	5	3 - 100
Poliiolefina	150 - 635	0,91	275	2,7	15
Polipropileno	20 - 400	0,9 - 0,95	0,45 - 0,76	3,5 - 10	15 - 25
PVA	14 - 650	1,3	0,8 - 1,5	29 - 36	5,7
Aço	100 - 1000	7,84	0,5 - 2,6	210	0,5 - 3,5

Fonte: Bentur e Mindess, 2007.

As fibras de polipropileno usadas em reforço da matriz cimentícia, apresentam-se em três diferentes formas geométricas: monofilamentadas, multifilamentadas (filme fibrilado) e fita extrusada. Essas três formas são usadas para reforço de argamassa e concreto. Segundo Bentur e Mindess (2007), as fibras monofilamentadas e fibriladas possuem essencialmente a mesma resistência e módulo de elasticidade. Entretanto, para o combate de fissuras são sugeridas as fibras monofilamentadas, que são mais efetivas do que as fibras fibriladas.

Nesse sentido, a capacidade do reforço após a fissuração da matriz tem relação direta com o teor de fibras. Logo, aumentando a quantidade de fibras por unidade de volume do compósito, pode ocorrer o aumento da sua capacidade de resistência e de sua tenacidade. Isso porque o aumento da quantidade de fibras faz com que ocorra um aumento da quantidade de pontes de transferência de tensões nas fissuras (ARAÚJO, 2005).

Com relação à degradação, as fibras poliméricas quando comparadas a outros tipos de fibras apresentam mais vantagens, pois não sofrem ataques de micro-organismos, como é o caso

da fibra vegetal; nem corrosão, no caso de fibras de aço; nem degradação em meio alcalino do cimento, como no caso de fibras vegetal e de vidro (LUCENA, 2017).

As vantagens do uso da fibra de polipropileno no concreto são inúmeras. Mogre e Parbat (2012), afirmam que o uso de alta fração volumétrica de fibras de polipropileno para o concreto é esperançoso, pois: inibe fissuras por retração plástica; aumenta a resistência à tração; aumenta a resistência à flexão; aumenta a resistência à fadiga; aumenta, em geral, a durabilidade e a resistência à fissuração; impede o lascamento; fornece resistência ao impacto; fornece resistência à abrasão; aumenta a tenacidade.

4. CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

4.1 MATERIAIS

Nesse trabalho foram utilizados quatro tipos de reforço para a matriz cimentícia todos estão presentes na proporção 1:1 com a quantidade de cimento Portland, enquanto a quantidade de fibras presente na composição é de 1:50 em relação a quantidade de cimento.

Essas proporções foram predefinidas, tendo em vista que não foi adicionado agregados de concreto convencional em nenhuma das composições. Já em relação as fibras foram determinada com estudo da literatura.

Para tal, serem detalhados a seguir cada etapa e descrição dos materiais:

O *Cimento portland* utilizado para esta pesquisa é da marca Elizabeth, do tipo Cp2, adquirido comercialmente, em embalagem de 50 kg, foram separadas as porções a serem utilizadas em sacos plásticos antes da misturas com os agregados.

Os *Agregados leves* foram utilizados na forma de agregado miúdo, para a determinação se fez uso de um conjunto de peneiras com abertura variando de 4,75 à 0,15 mm, foram utilizados as partículas que passaram pela peneira de abertura de 4,75mm até as que ficaram na peneira com abertura de 0,15mm, dessa maneira o material é dito agregado miúdo de acordo com a norma ABNT NBR 7211 que especifica o tipo de agregado para concreto.

O *Poliestireno expandido (isopor)*, foram doados pelo Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas – LABEME da UFPB, o material possui densidade entre 12 e 14g/L, observado abaixo na figura 6.

Figura 6 – Poliestireno expandido (isopor).



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Com relação a *Vermiculita expandida* foi adquirida através do orientador dessa pesquisa, Prof. Dr. Antonio Farias Leal, a mesma seguiu os padrões para utilização e possuía densidade entre 125 e 160g/L. Como observado na figura 7.

Figura 7 – Vermiculita expandida.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

O EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*), também foi doado pelo Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas – LABEME da UFPB, que por sua vez recebeu da Amazonas Produtos para Calçados Ltda o material já triturado. O mesmo possuía coloração preta e a granulometria

foi determinada de acordo com o que foi descrito no item 4.1, como podemos observar na figura 8.

Figura 8 – EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*).

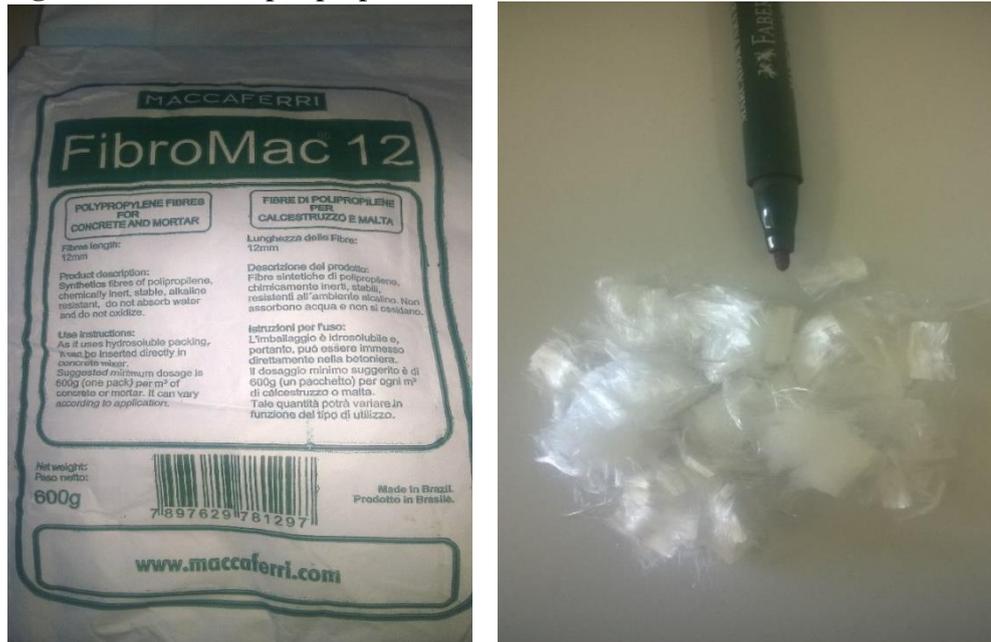


Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Já a *Argila expandida*, foi adquirida comercialmente. Inicialmente possuía granulometria de 15 a 22mm, equivalente a brita 1, assim, se fez necessário a moagem para diminuição do tamanho das partículas para dimensões equivalentes ao tamanho de partícula do agregado miúdo. Em seguida, o material foi imerso em água por 4 horas, para compensar a absorção durante a mistura. A argila expandida possuía densidade entre 480 e 500g/L.

Para finalizar a temos a *Fibra de polipropileno* que foi adquirida comercialmente, da marca Maccaferri, tipo FibroMac® 12, de comprimento 12mm. A mesma não sofreu nenhum tratamento especial antes de ser incorporada ao concreto.

Figura 9 – Fibra de polipropileno.

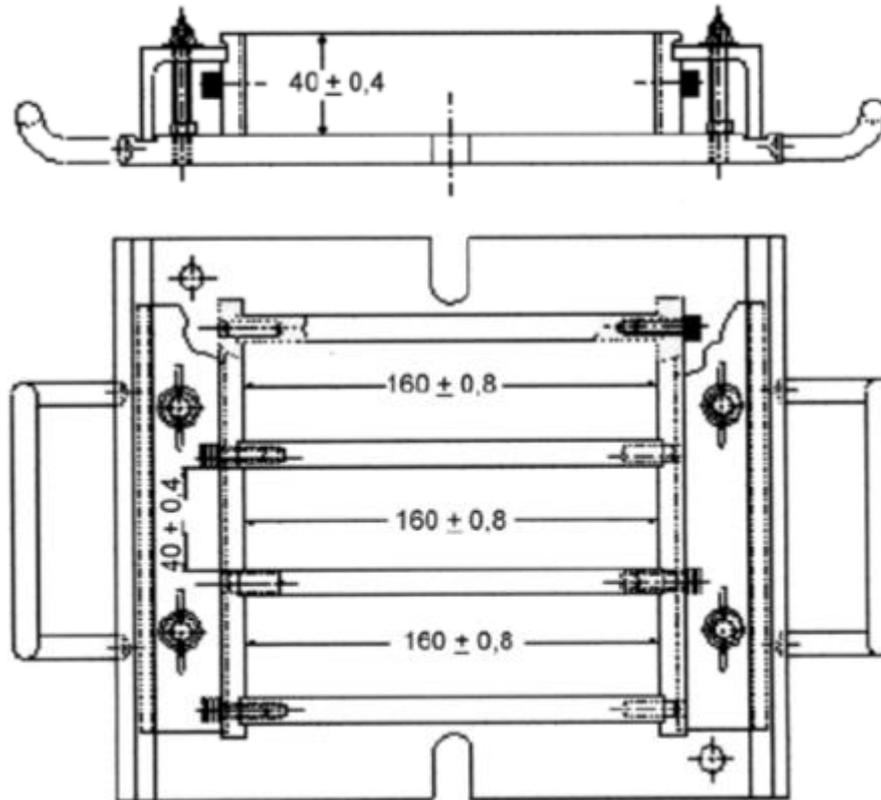


Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

4.2 MÉTODOS

A fabricação dos corpos de prova deu-se da seguinte maneira, inicialmente foram fabricados 8 grupos com 5 blocos prismáticos nas dimensões 40mm x 40mm x 160mm, figura 10, de acordo com a norma ABNT NBR 13279, utilizando os agregados supra citados com e sem a fibra sintética de polipropileno, o fator água/cimento foi de 0,4 para todos grupos e a fração cimento e agregado foi de 1:1, enquanto a fibra foi usada na proporção 1:50. Os corpos de prova passaram por um tempo de cura de 28 dias até o início dos ensaios.

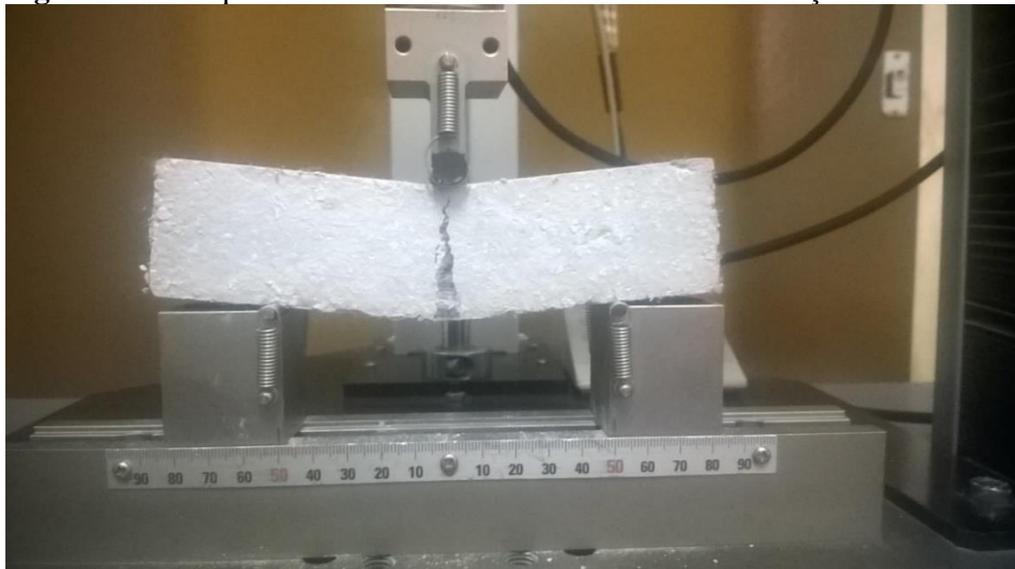
Figura 10 – Blocos prismáticos de acordo com a norma ABNT NBR 13279.



Fonte: ABNT, 2005.

Após o tempo determinado de 28 dias foram realizados o ensaio de determinação da Resistência à Tração na Flexão, a máquina de ensaio é do tipo SPL-10KN, modelo autograph AG-X, com capacidade máxima de 10KN. O tipo de ensaio realizado foi o de 3 pontos, com distância entre os pontos de apoio de 100 mm, com uma velocidade de 0,05mm/min. Podemos observar na figura 11 como ocorreu esse ensaio.

Figura 11 – Máquina utilizada no Ensaio de Resistência à Tração na Flexão.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Após serem obtidos os valores do gráfico força (N) x deslocamento (mm), utilizamos o valor máximo para calcular a Resistência à Tração na Flexão através da equação:

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3}$$

Onde:

R_f é a Resistência à Tração na Flexão;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em Newtons;

L é a distância entre os suportes, em milímetro.

Já para o ensaio de Resistência à Compressão axial utilizou-se duas partes remanescentes do ensaio de flexão de cada corpo de prova, assim foram realizados em 10 blocos prismáticos para cada material, posicionando-as no dispositivo de apoio do equipamento de modo que a face rasada não ficou em contato com o dispositivo de apoio, nem com o dispositivo de carga. Foram utilizadas barras de metal com as dimensões de 40mm x 40mm para que a aplicação da carga fosse distribuída nessa determinada área do corpo de prova. Observe na figura 12.

Figura 12 - Aparelho do ensaio de Resistência à Compressão.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

A Resistência à Compressão é calculada segundo a equação:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Onde:

R_c é a Resistência à Compressão em megapascal;

F_c é a carga máxima aplicada em Newtons;

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga, caso as barras com dimensões de 40mm x 40mm, em milímetro quadrado.

Para finalizar foram realizados ensaios no para obtenção de imagens através do Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde as amostras correspondentes a cada composição foram cortadas, lixadas, polidas e metalizadas - figura 13, o procedimento foi realizado em um MEV LEO, modelo 1430.

Figura 13 – Amostras preparadas para os ensaios MEV.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta, foi construído um banco de dados onde os mesmos foram digitalizados e organizados no *Microsoft Office Excel*, versão 2013. A partir dos grupos todas as informações relativas a cada caso foram descritas na forma de variáveis: Resistência à Compressão, Resistência à Tração na Flexão e Densidade. Com os dados já digitalizados, as planilhas foram salvas e transportadas para os programas de análises estatísticas.

Para análise estatística utilizou-se o *software Statistical Package for Social Sciences (SPSS)* na versão 22.0. Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória para reconhecimento

das variáveis e correção de possíveis erros ou inconsistências no preenchimento ou na digitação dos dados. Depois das correções necessárias procedeu-se a análise dos dados, aplicando a estatística descritiva, com a inclusão dos resultados em gráficos e tabelas.

Ainda, utilizou-se Teste Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos dados, admitindo distribuição normal um p-valor maior ou igual a 0,05, para posterior escolha e análise estatística das comparações entre grupos de amostras independentes por meio de teste paramétrico ou não paramétrico.

Já para analisar a influência dos teores de adição dos Agregados Leves com e sem fibra nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos, utilizou-se do programa *ORIGIN* na versão 7.0.

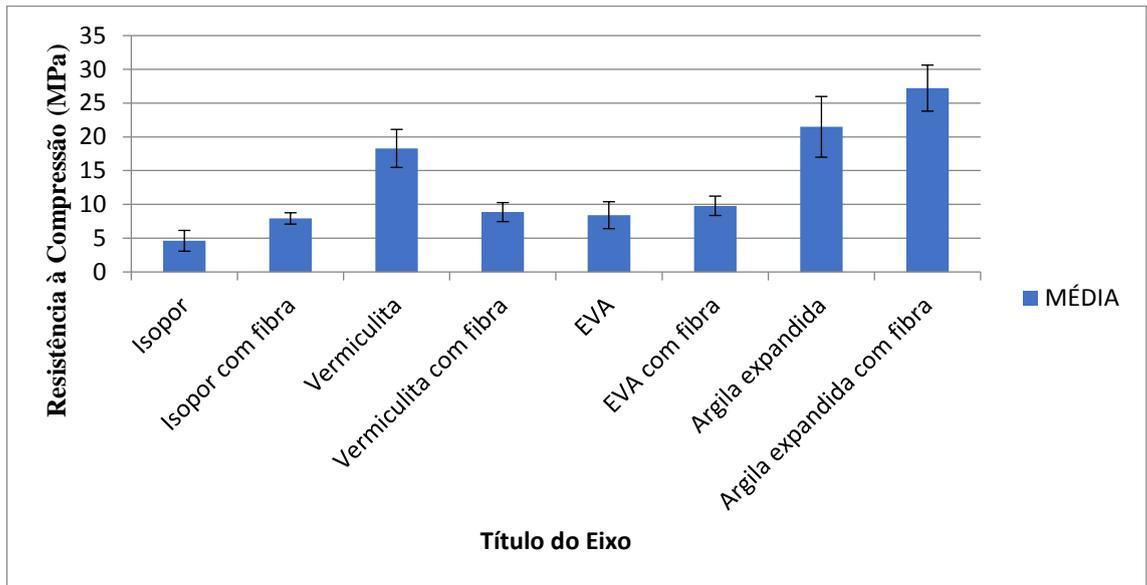
Por fim, foi realizado ensaio de MEV em um Microscópio eletrônico de varredura LEO, modelo 1430.

5. RESULTADOS E DICUSSÃO

Utilizou-se do teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados por compósitos, relacionada as variáveis Resistência à Compressão, Resistência à Tração na Flexão e Densidade e ao nível de 95% de confiança pode-se afirmar que os dados possuem distribuição normal na Resistência à Compressão e Resistência à Tração na Flexão e os dados relacionado a Densidade não possuem distribuição normal. Nesse sentido, serão utilizados média e desvio padrão para representar os dados que apresentam distribuição normal e a mediana para representar os dados que não possuem distribuição normal.

Finalizada a coleta de dados, seguiu-se o processo de tratamento e análise estatística desses dados. Com relação à Resistência à Compressão (RC), a comparação entre grupos mostrou que o compósito Argila expandida com fibra ($\bar{X}=27,22\text{MPa}$; $S=3,41\text{MPa}$), seguido da Argila expandida ($\bar{X}=21,49\text{MPa}$; $S=4,5\text{MPa}$) mostraram maior resistência à compressão. Já o compósito Isopor ($\bar{X}=4,61\text{MPa}$; $S=1,54\text{MPa}$) apresentou menor resistência à compressão, como observado no gráfico 1 abaixo.

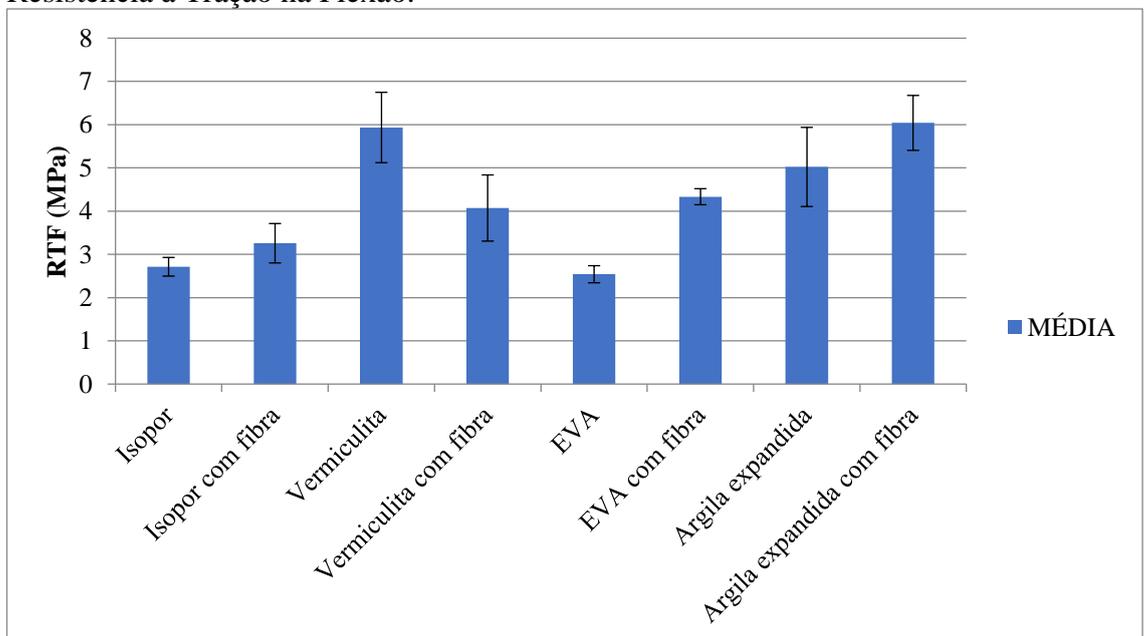
Gráfico 1 - Estatística descritiva dos dados referentes a média e desvio padrão da Resistência à Compressão.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Quando observamos o gráfico 2, com relação a Resistência à Tração na Flexão (RTF) temos a Vermiculita ($\bar{X}=5,93\text{MPa}$; $S=0,81\text{MPa}$) seguida da Argila expandida com fibra ($\bar{X}=5,91\text{MPa}$; $S=0,64\text{MPa}$) como os compósitos que apresentaram maior RTF. O compósito que apresentou menor Resistência à Tração na Flexão foi o EVA ($\bar{X}=2,54\text{MPa}$; $S=0,20\text{MPa}$).

Gráfico 2 - Estatística descritiva dos dados referentes a média e desvio padrão da Resistência à Tração na Flexão.

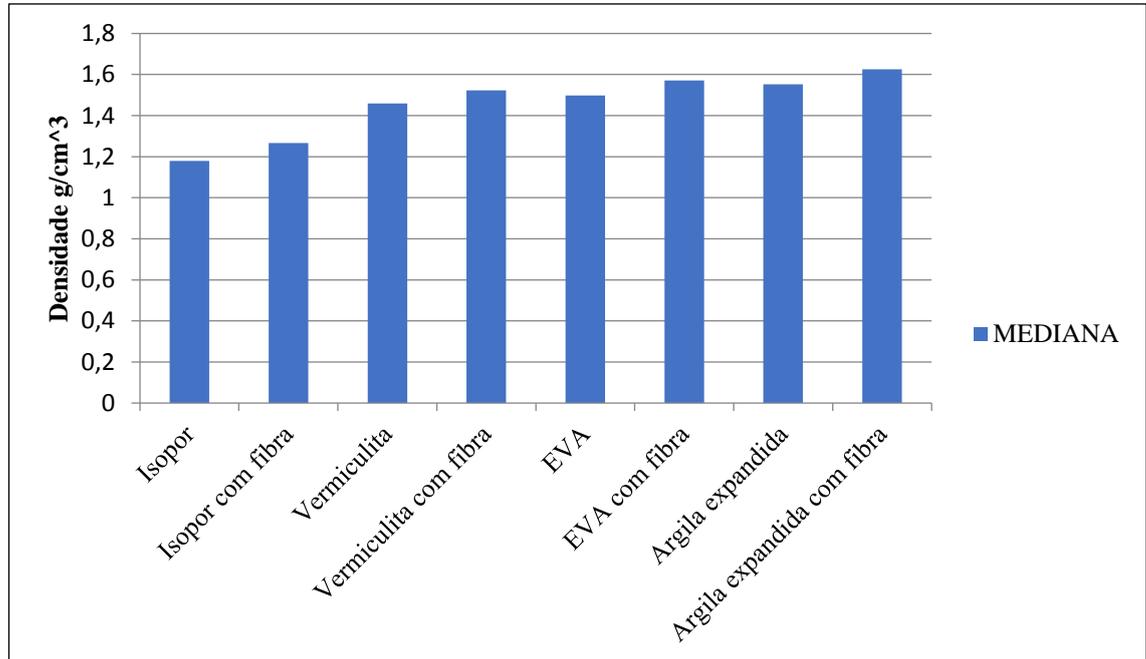


Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Com relação a Densidade, a comparação entre os materiais mostrou que o Isopor apresenta menor mediana ($\text{med}=1,18$), seguido do grupo do Isopor com fibra ($\text{med}=1,27$), o que os caracterizam como os materiais mais leves. Ainda podemos destacar que os compósitos

que apresentaram maior densidade foram Argila expandida com fibra (med=1,62) e o EVA com fibra (med=1,57). Acompanhe no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Estatística descritiva dos dados referentes a mediana da variável Densidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Utilizou-se do teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados por compósitos, relacionada a Resistência à Compressão e ao nível de 95% de confiança pode-se concluir que os dados possuem distribuição normal. Nesse caso serão usados Testes paramétricos para análise dos dados, média e desvio padrão para representar os dados. Foi utilizado o Teste de Levene para verificar a homogeneidade de variação para cada material, onde foi identificado heterogeneidade dos dados (p-valor=0,001), ao nível de confiança de 95%. Levando em consideração que os dados seguem distribuição normal, os grupos de materiais são independentes e existe heterogeneidade dos dados, optou-se por utilizar o teste de Welch para avaliar a igualdade das médias entre os grupos. Nesse contexto, ao nível de confiança de 95%, a estatística aponta que existe pelo menos uma diferença significativa entre as médias dos materiais (p-valor=0,0001).

Na tabela 2, pode ser observado a comparação de médias entre os grupos independentes por meio de comparação múltiplas dois a dois - Teste Post Hoc para Resistência à Compressão. Onde, os resultados foram analisados pelo teste T2 de Tamhane. Assim, é possível concluir que os grupos são estatisticamente diferentes entre si quando apresentarem p-valor menor ou igual ao nível de $\alpha=0,05$. Nesse sentido não apresentaram diferença significativa ao nível de $\alpha=0,05$ o Isopor com fibra e Vermiculita com fibra (p-valor=0,928), Isopor com fibra e EVA (p-

valor=1,000), isopor com fibra e EVA com fibra (p-valor=0,790), além da Vermiculita e Argila expandida (p-valor=0,892), Vermiculita com fibra e EVA (p-valor=1,000), a Vermiculita com fibra e EVA com fibra (p-valor=0,992), o EVA e EVA com fibra (p-valor=0,931), ainda, a Argila expandida e Argila expandida com fibra (p-valor=0,136).

Tabela 2 – Análise comparativa entre grupos independentes para Resistência à Compressão.

Isopor (\bar{X} =4,61; S= 1,54)	Materiais	Média (\bar{X})	DP (S)	p-valor
	Isopor com fibra	7,92	0,83	0,001
	Vermiculita	18,30	2,82	0,000
	Vermiculita com fibra	8,86	1,41	0,000
	EVA	8,41	1,99	0,005
	EVA com fibra	9,80	1,43	0,000
	Argila expandida	21,49	4,50	0,000
	Argila expandida com fibra	27,22	3,41	0,000
Isopor com fibra (\bar{X} =7,92; S= 0,83)	Vermiculita	18,30	2,82	0,000
	Vermiculita com fibra	8,86	1,41	0,928
	EVA	8,41	1,99	1,000
	EVA com fibra	9,80	1,43	0,790
	Argila expandida	21,49	4,50	0,000
	Argila expandida com fibra	27,22	3,41	0,000
Vermiculita (\bar{X} =18,30; S= 2,82)	Vermiculita com fibra	8,86	1,41	0,000
	EVA	8,41	1,99	0,000
	EVA com fibra	9,80	1,43	0,000
	Argila expandida	21,49	4,50	0,892
	Argila expandida com fibra	27,22	3,41	0,000
Vermiculita com fibra (\bar{X} =8,86; S= 1,41)	EVA	8,41	1,99	1,000
	EVA com fibra	9,80	1,43	0,992
	Argila expandida	21,49	4,50	0,000
	Argila expandida com fibra	27,22	3,41	0,000
EVA (\bar{X} =8,41; S=1,99)	EVA com fibra	9,80	1,43	0,931
	Argila expandida	21,49	4,50	0,000
	Argila expandida com fibra	27,22	3,41	0,000
EVA com fibra (\bar{X} =9,80; S= 1,43)	Argila expandida	21,49	4,50	0,000
	Argila expandida com fibra	27,22	3,41	0,000
Argila expandida (\bar{X} =21,49; S=4,50)	Argila expandida com fibra	27,22	3,41	0,136

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Da mesma forma, para a Resistência à Tração na Flexão, utilizou-se do teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados por compósitos e ao nível de 95% de confiança pode-se afirmar que os dados possuem distribuição normal. O Teste de Levene apontou ao nível de confiança de 95% heterogeneidade dos dados (p-valor=0,0001). Mais uma vez, levando em

consideração que os dados seguem distribuição normal, os grupos são independentes e existe heterogeneidade dos dados, optou-se por utilizar o teste de Welch para avaliar a igualdade das médias entre os grupos. Assim, ao nível de confiança de 95%, a estatística aponta que existe pelo menos uma diferença significativa entre as médias dos grupos (p-valor=0,0001).

Na Resistência à Tração na Flexão as médias entre os grupos independentes por meio do Teste Post Hoc foram analisados pelo teste T2 de Tamhane. É possível afirmar que os grupos são estatisticamente diferentes entre si ao nível de $\alpha=0,05$ no Isopor e Vermiculita (p-valor=0,016), Isopor e EVA com fibra (p-valor=0,000), Isopor e Argila expandida com fibra (p-valor=0,004), Isopor com fibra e Vermiculita (p-valor=0,016), Isopor com fibra e Argila expandida com fibra (p-valor=0,003), Vermiculita e EVA ((p-valor=0,013), EVA e EVA com fibra (p-valor=0,000), por fim EVA e Argila expandida com fibra (p-valor=0,004).

Tabela 3 – Análise comparativa entre grupos independentes referente a Resistência à Tração na Flexão.

Isopor ($\bar{X}=2,71$; $S=0,22$)	Materiais	Média (\bar{X})	DP (S)	p=valor
	Isopor com fibra	3,26	0,46	0,792
	Vermiculita	5,93	0,81	0,016
	Vermiculita com fibra	4,07	0,77	0,333
	EVA	2,54	0,20	0,999
	EVA com fibra	4,33	0,19	0,000
	Argila expandida	5,02	0,91	0,104
	Argila expandida com fibra	5,91	0,64	0,004
Isopor com fibra ($\bar{X}=3,26$; $S=0,46$)	Vermiculita	5,93	0,81	0,016
	Vermiculita com fibra	4,07	0,77	0,913
	EVA	2,54	0,20	0,441
	EVA com fibra	4,33	0,19	0,103
	Argila expandida	5,02	0,91	0,217
	Argila expandida com fibra	5,91	0,64	0,003
Vermiculita ($\bar{X}=5,93$; $S=0,81$)	Vermiculita com fibra	4,07	0,77	0,151
	EVA	2,54	0,20	0,013
	EVA com fibra	4,33	0,19	0,251
	Argila expandida	5,02	0,91	0,983
	Argila expandida com fibra	5,91	0,64	1,000
Vermiculita com fibra ($\bar{X}=4,07$; $S=0,77$)	EVA	2,54	0,20	0,232
	EVA com fibra	4,33	0,19	1,000
	Argila expandida	5,02	0,91	0,966
	Argila expandida com fibra	5,91	0,64	0,094
EVA ($\bar{X}=2,54$; $S=0,20$)	EVA com fibra	4,33	0,19	0,000
	Argila expandida	5,02	0,91	0,082
	Argila expandida com fibra	5,91	0,64	0,004
EVA com fibra	Argila expandida	5,02	0,91	0,994

(\bar{X} =4,33; S=0,19)	Argila expandida com fibra	5,91	0,64	0,101
Argila expandida (\bar{X} =5,02; S=0,91)	Argila expandida com fibra	5,91	0,64	0,969

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Utilizou-se do teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados por compósitos relacionada a variável Densidade e ao nível de 95% de confiança pode-se afirmar que os dados não possuem distribuição normal. Nesse caso, serão utilizados Testes Não Paramétricos para análise dos dados na comparação entre grupos independentes e a mediana para representar os dados. Ao analisar os dados através do Teste de Kruskal-Wallis que apontou ao nível de confiança de 95%, que existe pelo menos uma diferença significativa entre grupos (p-valor=0,000).

Na tabela 4 observa-se, por sua vez, a comparação entre os grupos independentes por meio do Teste de Mann-Whitney de comparação múltiplas dois a dois. A partir dos resultados é possível concluir que a maioria dos grupos são estatisticamente diferentes ao nível de $\alpha=0,05$ entre si (p-valor=0,009) com índices menos elevados na comparação do EVA e EVA com fibra (p-valor=0,028). Apenas a Vermiculita com fibra em comparação com os grupos da EVA e EVA com fibra (p-valor=0,076), além da EVA com fibra e Argila expandida (p=valor0,117) não apresentaram valores capazes de diferenciá-los significativamente.

Tabela 4 – Comparação da densidade entre os materiais, utilizando teste não paramétrico.

Isopor (med=1,18)	Materiais	Mediana	p=valor
	Isopor com fibra	1,27	0,009
	Vermiculita	1,46	0,009
	Vermiculita com fibra	1,52	0,009
	EVA	1,50	0,009
	EVA com fibra	1,57	0,009
	Argila expandida	1,55	0,009
	Argila expandida com fibra	1,62	0,009
Isopor com fibra (med=1,27)	Vermiculita	1,46	0,009
	Vermiculita com fibra	1,52	0,009
	EVA	1,50	0,009
	EVA com fibra	1,57	0,009
	Argila expandida	1,55	0,009
	Argila expandida com fibra	1,62	0,009
Vermiculita (med=1,46)	Vermiculita com fibra	1,52	0,009
	EVA	1,50	0,009
	EVA com fibra	1,57	0,009
	Argila expandida	1,55	0,009
	Argila expandida com fibra	1,62	0,009

Vermiculita com fibra (med=1,52)	EVA	1,50	0,076
	EVA com fibra	1,57	0,076
	Argila expandida	1,55	0,009
	Argila expandida com fibra	1,62	0,009
EVA (med=1,50)	EVA com fibra	1,57	0,028
	Argila expandida	1,55	0,009
	Argila expandida com fibra	1,62	0,009
EVA com fibra (med=1,57)	Argila expandida	1,55	0,117
	Argila expandida com fibra	1,62	0,016
Argila expandida (med=1,55)	Argila expandida com fibra	1,62	0,009

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

É importante destacar que, para as três variáveis de mensuração (Resistência à Compressão, Resistência à Tração na Flexão e Densidade), a comparação entre grupos independentes, apresentou diferença significativa ao nível de $\alpha=0,05$ entre o uso do Isopor e Vermiculita, Isopor e Argila expandida com fibra, Isopor com fibra e Argila expandida com fibra, Isopor com fibra e Vermiculita, Vermiculita e EVA, além do EVA e Argila expandida com fibra. Observe na tabela 5, abaixo.

Tabela 5 – Grupos que apresentaram diferença significativa nas três variáveis avaliadas na pesquisa.

		p-valor
Isopor e Vermiculita	Compressão	0,000
	Flexão	0,016
	Densidade	0,009
Isopor e Argila expandida com fibra	Compressão	0,000
	Flexão	0,004
	Densidade	0,009
Isopor com fibra e Argila expandida com fibra	Compressão	0,000
	Flexão	0,003
	Densidade	0,009
Isopor com fibra e Vermiculita	Compressão	0,000
	Flexão	0,016
	Densidade	0,009
Vermiculita e EVA	Compressão	0,000
	Flexão	0,013
	Densidade	0,009
EVA e Argila expandida com fibra	Compressão	0,000
	Flexão	0,004
	Densidade	0,009

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Os resultados destacam que na comparação entre grupos com diferença significativa apresentada, o compósito Vermiculita mostrou-se mais eficiente em relação a Resistência à Compressão e Resistência à Tração na Flexão, porém mais denso em comparação ao Isopor.

A Argila expandida com fibra se destacou muito mais resistente à Tração na Flexão e na Compressão quando comparado ao Isopor, embora apresenta uma densidade mais elevada que o mesmo. O mesmo aconteceu na comparação entre os grupos do Isopor com fibra e Argila expandida com fibra.

Na comparação entre grupos a Vermiculita se mostrou mais resistente à Tração na Flexão, a compressão e mais leve que o EVA. Já na comparação entre o EVA e Argila expandida com fibra, a Argila expandida com fibra se mostrou mais resistente à Tração na Flexão e Compressão, porém, com densidade mais elevada. O Isopor com fibra comparado a Vermiculita, mostrou uma diferença em que a Vermiculita é bem mais resistente embora mais denso que o Isopor.

Em contrapartida, ao realizara comparação entre grupos para as três variáveis (Resistência à Compressão, Resistência à Tração na Flexão e Densidade), não existiu diferença significativa ao nível de $\alpha=0,05$ entre o uso da Vermiculita com fibra e EVA, Vermiculita com fibra e EVA com fibra. Como podemos observa na tabela 6.

Tabela 6 - Grupos que não apresentaram diferença significativa nas três variáveis avaliadas na pesquisa.

		p-valor
Vermiculita com fibra e EVA	Compressão	1
	Flexão	0,232
	Densidade	0,076
Vermiculita com fibra e EVA com fibra	Compressão	0,992
	Flexão	1
	Densidade	0,076

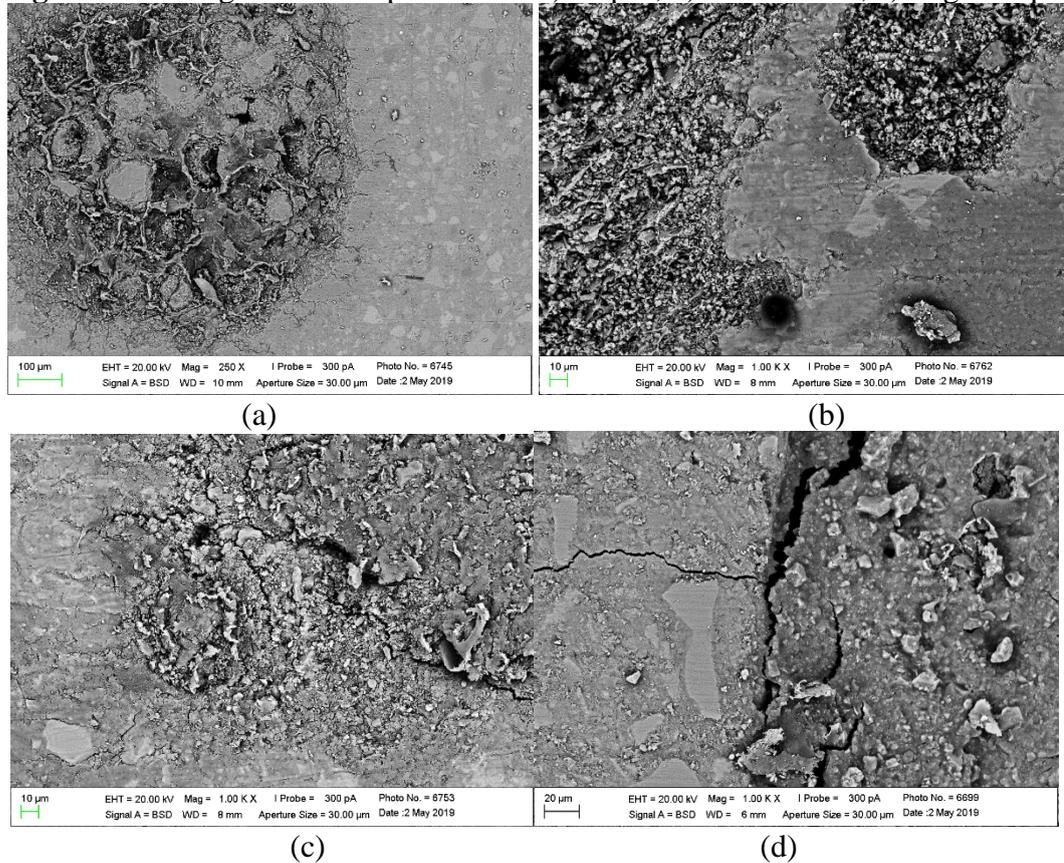
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

As imagens das interfaces de cada material utilizado como agregado, obtida pelo MEV está apresentado na figura 14. O Isopor obteve uma boa distribuição com uma interface bem definida em relação a matriz cimentícia, com visto na figura 14 (a), onde também é possível observar a partícula porosa do mesmo.

Na figura 14 (b), é possível observar a imagem da estrutura formada pela Vermiculita com a matriz de cimento, apresenta-se mais definida e com traços mais paralelamente formada dando um aspecto de pouca interação cimento-agregado, também é observado que o tamanho das porosidades é menor em relação aos outros agregados, enquanto que a quantidade da

Vermiculita é aumentada consideradamente, consequentemente esse material possui uma capacidade maior de absorver e reter água em sua estrutura.

Figura 14 – Imagens obtidas pelo MEV: a) Isopor; b) Vermiculita; c) Argila expandida.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

No compósito cuja o agregado leve é o EVA, podemos observar através da figura 14 (c) que o mesmo possui uma boa interação com a matriz cimentícia, e consequentemente uma interface maior, nesse aspecto esse tipo de agregado possui uma maior transferência das propriedades para a massa, uma dessas características é a boa deformação do EVA, que pode ser confirmado com o resultado apresentado no gráfico 4, que apresenta as curvas de força deformação de cada material.

Na figura 14 (d) podemos determinar a interface formada entre a Argila expandida e a massa cimentícia, apesar de possuir aparência frágil o compósito em si possui um comportamento onde alcança valores consideráveis de tensão e uma boa redução da massa específica, por conta das porosidades existente no interior do agregado, esses poros são independentes entre si, como podemos observar na imagem correspondente, esse fato faz com que esse material possua uma considerável absorção de água durante a mistura do concreto.

No que diz respeito as fibras de polipropileno existente no concreto, podemos observar na figura 15 que as mesmas possuem interação apenas mecânica com a massa e está distribuída

de maneira aleatória dentro do concreto, assim, mesmo após atingir o máximo valor de tensão, o concreto com fibra permanece ainda com eventual resistência notada principalmente na tração por flexão (Figura xy) aumentando assim o deslocamento consequentemente a tenacidade do concreto.

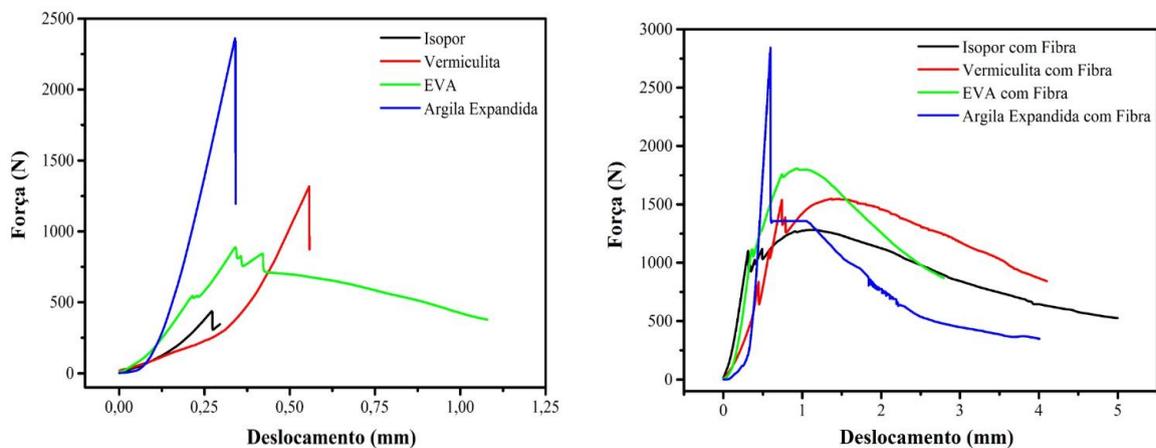
Figura 15 – Imagens MEV: (a) interação da fibra de polipropileno com a matriz cimentícia (b) aleatoriedade das fibras no concreto.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

No gráfico 4 podemos observar a diferença do perfil das curvas principalmente dos deslocamentos após a ruptura dos corpos de prova. Percebe-se que em relação ao EVA, mesmo sem a incorporação de fibra ao concreto o mesmo possui uma tenacidade considerável em relação aos outros agregados leves, dessa maneira apenas o EVA já proporciona um deslocamento próximo do concreto com incorporação de fibras, por isso a diferença entre os dois tipos não é tão relevante quanto quando fazemos o mesmo tipo de comparação entre os outros agregados.

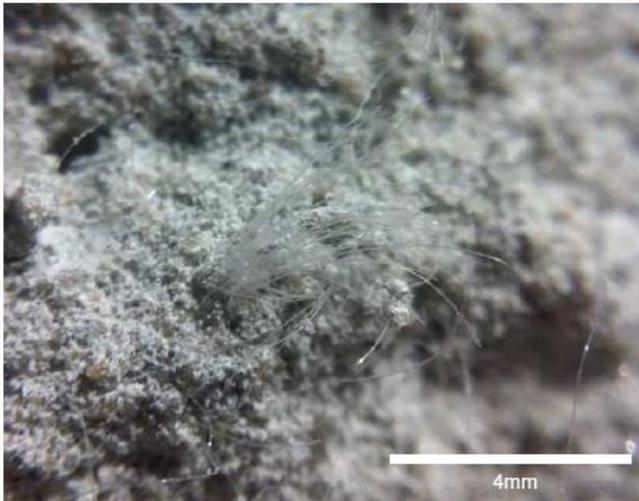
Gráfico 4 - Curvas características referentes ao concreto com e sem fibra.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Observando os gráficos 1 e 2 que contém os valores médios de Resistência à Compressão e à Tração na Flexão e Resistência, respectivamente, e as tabelas 2 e 3 que compara os valores de resistência, os materiais observam-se que o concreto com Vermiculita que não possuía fibra de polipropileno, obteve valores de resistência superiores quando comparado com o mesmo material com a presença da fibra. Esse resultado também foi encontrado no trabalho de Silva (2015), onde o mesmo afirma que esse resultado se deve em função da redução da trabalhabilidade desse tipo de concreto, tendo em vista que a Vermiculita em si absorve e retém muita água em sua estrutura, a adição de fibra dificulta ainda mais a mistura e moldagem dos corpos de prova, justifica que essa diminuição no material com fibra se deu pela má distribuição das mesmas formando grumos. Os grumos acumulados podem ocasionar pontos de fragilidade na matriz, afetando diretamente à resistência da argamassa, principalmente na tração.

Figura 17 - Acúmulo de fibra no interior da argamassa



Fonte: Silva, 2015.

O trabalho de Silva (2015), corrobora diretamente com esse trabalho, tendo em vista que houve dificuldade de mistura, trabalhabilidade e moldagem dos corpos de prova relacionado a Vermiculita, porém o fator água-cimento nesse trabalho estava predefinido, como dito no item 4.2., assim, o aumento desse fator provavelmente aumentaria a trabalhabilidade da massa.

Para o concreto que contém Isopor como agregado leve, quando comparado os valores de Resistência à Compressão, observamos que o mesmo pode variar entre 5 e 9 MPa esses valores se aproximam com obtidos no trabalho de Oliveira (2013), que variou de 6 a 11 MPa.

É notória a relevância da utilização da fibra de polipropileno no atual trabalho, pois a mesma atribui um ganho de resistência ao concreto mesmo depois da ruptura do corpo de prova, fazendo com que o material passe de frágil para um material pseudo-plástico, aumentando consideravelmente a deformação e conseqüentemente a tenacidade do concreto.

O concreto referente ao agregado leve EVA teve valores de resistência a compressão intermediário quando comparado com os demais agregados. Quando fazemos uma relação entre os grupos com e sem fibra observamos que eles obtiveram valores com uma superioridade do EVA com fibra, para compressão 8,41 MPa para o sem fibra e 9,8 MPa no com fibra, esses bons valores se dão pelo fato do EVA ter características plásticas muito boas, assim essas características são transmitidas à matriz com eficiência, nesse contexto não houve diferença significativa entre o EVA e o EVA com fibra. Na flexão além dos valores 2,54 MPa e 4,3 MPa para material com e sem fibras respectivamente, observou-se também uma semelhança entre as curvas de força-deslocamento, o que nos permite falar em uma proximidade entre os compósitos comparados, havendo diferença significativa entre os mesmos.

A Argila expandida mesmo tendo uma interface de caráter aparentemente frágil (Figura 14 d), alcançou valores de resistência elevados, porém com uma massa específica superior entre os grupos. A curva de força-deslocamento apresenta comportamento linear até a ruptura, e depois da ruptura para o concreto com fibra possui um deslocamento considerável em razão das pontes de tensões formadas pelas fibras de polipropileno orientadas aleatoriamente.

6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento dessa pesquisa possibilitou a comparação do desempenho físico e mecânico entre o concreto leve produzido a partir de quatro tipos de agregados: o Isopor, a Vermiculita, o EVA e a Argila expandida, com e sem fibra de polipropileno. A padronização dos procedimentos empregados na produção dos concretos e nos ensaios evidenciou a influência das características das fibras nos resultados obtidos. Com isso, nos foi fornecido uma base para a compreensão de como as fibras afetam as propriedades na sua aplicação no concreto leve, e como os diferentes materiais comportam-se de maneira que a relação resistência e massa específica variam para cada tipo de agregado.

Diante de todo o exposto, e tomando como base os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados, é possível fazer as seguintes conclusões:

Em relação a Resistência à Compressão, a comparação entre os materiais mostrou que a Argila expandida com fibra apresentou maior resistência. Já o compósito com Isopor apresentou menor resistência à compressão entre os grupos. Na comparação da Resistência à Tração na Flexão a Vermiculita apresentou maior RTF. O compósito que apresentou menor Resistência à Tração na Flexão foi o EVA. Com relação a variável Densidade, os concretos que

obtiveram menores valores foi o Isopor e o Isopor com fibra, seguido pela argila expandida e EVA.

O perfil das curvas de deformação muda com o acréscimo de fibra para todas as composições, tornando o concreto com fibra mais tenaz mesmo após a tensão máxima registrada até a ruptura.

As interfaces agregado-cimento foram vistas e percebemos uma interação boa entre os agregados, com uma tendência de fragilidade da Argila expandida mesmo possuindo valores maiores de resistência.

O fator água/cimento pode ter influenciado no desempenho das amostras, isto ficou mais evidenciado no compósito que tinha a Vermiculita como agregado, tendo em vista que a mesma possui característica de absorção e retenção de água em sua estrutura, com o acréscimo da fibra de polipropileno houve uma redução da trabalhabilidade, dificultando assim a mistura da massa do concreto, afetando diretamente o desempenho do mesmo.

Para o aprofundamento do tema abordado nesta monografia, são sugeridos os estudos da variação de comprimento das fibras; do posicionamento das fibras em regiões da peça submetidas a solicitações mais intensas, no ensaio de flexão; da variação do teor de água e volume de fibra para cada tipo de agregado, para conhecimento do volume crítico relacionado à propriedade que se deseja melhorar; e da variação de argamassa nos traços.

REFERÊNCIA

ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. Disponível em <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>, 2019.

ARAÚJO, C. T. F. **Estudo do Comportamento de Juntas de Argamassa Reforçadas com Fibras de Polipropileno**. 94p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

ARMELIN, H.S.; LIMA, M.G.; SELMO, S.M.S. Alta resistência com argila expandida. **Revista Ibracon**, n.09, p.42-47, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, V. H. de O. **Estudo da influência da utilização de fibra sobre o comportamento físico e mecânico de um concreto leve.** Monografia (graduação em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites.** 2ed. London: Elsevier, 1990.

BRASIL MINÉRIOS. **Informações obtidas na internet no endereço eletrônico:** (<http://www.brasilminérios.com.br>). Acesso em: março de 2019.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

CAVALCANTI, E.E. **Sumário Mineral, DNPM.** 2007

CHOI, T.; YUAN, R.L. Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC. **Cement and Concrete Research.** v. 35, p. 1587 – 1591, 2005.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A. O concreto como material de construção. **Caderno de graduação.** Ciências exatas e tecnologias. Sergipe, 2013.

CTCCA, **Cartilha do EVA.** Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins, Novo Hamburgo, RS, 1993.

ELLICOT, G. **Crude vermiculite: producers and refined market.** **Industrial Minerals,** p. 21. 2000.

FALÇÃO, L.A. B. **Materiais de Construção: Novos materiais para construção civil.** Volume 1. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC 2010.

FILHO, N. T. de A.; DANTAS, C. P.; LEAL, A. F.; BARBOSA, N. P.; SILVA, C. G.; ALEXANDRE, M. V. Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos e fibras de sisal. **Revista brasileira de Engenharia agrícola e ambiental.** Universidade Federal De Campina Grande, Campina Grande, 2012.

FRANÇA, S. C. A. e LUZ, A.B. **Utilização da vermiculita como adsorvente de compostos orgânicos poluentes da indústria do petróleo.** In: XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Recife, p. 547-553. 2002

GARLET, G.; **Aproveitamento de resíduo de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul UFRS, Porto Alegre 1998.

GENCEL, O.; OZEL, C.; BROSTOW, W.; MARTINEZ-BARRERA, G. Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres. **Materials**

Research Innovations, v. 15, p. 216 – 225, 2011.

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

HOLM, T.A.; BREMER, T.W. high Strength Lightweight Aggregate concrete. In: SAH S.P.; AHAMAD S. H. **High Performance Concrete: Properties and Applications**. Great Britain, McGraw-Hill, 1994.

HOLM, T.A. **Specified density concrete** – A transition. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON STRUCTURAL LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE, 2. Kristiansand, Norway, Proceedings, p.37-46. 2000.

JÚNIOR, E. Ribeiro. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, Edição nº 10, vol. 01. 2015.

LUCENA, J.C.T. **Concreto reforçado com fibra de polipropileno: estudo de caso para aplicação alveolar de parede fina**. 28p Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. 2017.

MARCONI, M. de A; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, J., MACHADO, L. C. R., MARCOS, C. e ZACARIAS, C. M. **Caracterização tecnológica de vermiculitas brasileiras**. In: VI Southern Hemisphere Meeting On Mineral Technology, vol. 3, Rio de Janeiro, p. 8-12. 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOGRE, R.P.; PARBAT, D.K. Behavior of polypropylene fibre reinforced concrete with artificial sand. **International Refereed Journal of Engineering and Science**, v. 1, issue 2, p. 37 – 40, 2012.

NETO, R. P. C. e UGARTE, J. F. O. **Utilização de Vermiculita em Sistema Dessalinizador com Colunas Percoladas**. In: XIV Jornada de Iniciação Científica – CETEM. 2007.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**, Editora PINI, S. Paulo, Brasil. p. 828. 1997.

OLIVEIRA, L.S.; **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), São João Del-Rei 2013.

OZÓRIO, B. P M. **Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagem e característica mecânica**. Tese (Pós-graduação em engenharia civil). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2016.

P. K Mehta, P. J. M. Monteiro, **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**, 1^a. ed., Editora PINI, S. Paulo, Brasil. 1994.

PREZOTTO et al. **Etileno Acetato de Vinila – EVA. Planejamento e projeto da industria química**, Porto Alegre, UFRGS Nov. 1990, 256 p. (Trabalho de conclusão das disciplinas de

planejamento e projeto da indústria química I e II). Escola de Engenharia.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2^a.ed., Vol 1 e 2, Editora Edgard Blücher, S. Paulo, Brasil. 1992.

SILVA, J. C. da. **A influência da adição de fibras de polipropileno e vermiculita expandida em argamassas com nanotitânia**. (Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia de Infraestrutura) - Universidade Federal de Santa Catarina, campus Joinville. 2015.

Short, A.; Kinniburgh, W. **Lightweight Concrete**, 1^a Edition, C.R. Books Limited, London, England. p.511. 1963.

SPITZNER, J. **High-Strength LWA Concrete**. In: High-Strength Concrete. RILEM Cap.II - Aggregates. 1994.

TRIUNFO, P. S. A. **Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) – Características e Informações gerais**. Folheto da Petroquímica de Triunfo, RS, 1994.

UGARTE, J. F. O.; MONTE, M. B. M.; FRANÇA, S. C. A.; GRACIANO, F. P. R. **Comparação estatística do fator de expansão de concentrados de vermiculita**. In: XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. vol. 1, Florianópolis, p. 201-208. 2004.

UGARTE, J. F. O. e MONTE, M. B. M. **Estudo da Vermiculita como Adsorvente de Óleo e Cobre em Solução**. In: XLV Congresso Brasileiro de Química, Belém – PA. Anais do evento. 2005.

UGARTE, J. F. O. e MONTE, M. B. M. **Adsorção e Dessorção de Óleo em Vermiculita**. In: XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMMME, Natal - RN. Anais do evento. 2005

VIEIRA, M.G. **Betões de elevado desempenho com agregados leves-Durabilidade e microestrutura**. Lisboa, Portugal, Dissertação (mestrado) - Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. 2000.

MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA, C. A. S.; GUMIERI, A. G. W.; VASCONCELOS, L. **Caracterização Microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve**. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2012.