



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RADÊMORA SILVA BRIANO DE MORAES

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE MINERAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
PAVERS DE CONCRETO**

Palmas/TO
2019

RADÊMORA SILVA BRIANO DE MORAES

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE MINERAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
PAVERS DE CONCRETO**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Msc. Fabio Henrique de Melo
Ribeiro

Palmas/TO
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M827r Moraes, Radêmora Silva Briano de .
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE MINERAÇÃO NA
PRODUÇÃO DE PAVERS DE CONCRETO. / Radêmora Silva Briano de
Moraes. – Palmas, TO, 2019.
60 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2019.

Orientador: Fabio Henrique de Melo Ribeiro

1. Reaproveitamento de resíduo. 2. Rejeito de mineração . 3. Pavers de
concreto . 4. Sustentabilidade . I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

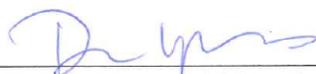
RADÊMORA SILVA BRIANO DE MORAES

REAPROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINERAÇÃO NA PRODUÇÃO DE PAVERS DE CONCRETO

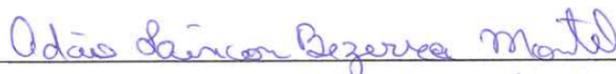
Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 20 / 12 / 2019

Banca Examinadora



Prof. Msc. Fabio Henrique de Melo Ribeiro, UFT



Prof. Dr. Adão Lincon Montel, UFT



Prof. Msc. Roldão Pimentel de Araújo Junior, UFT

Palmas, 2019

RESUMO

Na contemporaneidade, a necessidade de matéria prima e de uma economia mais sustentável incentivou o estudo da viabilidade do uso de resíduos gerados na indústria, para produção de materiais úteis para construção civil, como cerâmica, concreto e agregados. A atividade mineral é geradora de uma quantidade significativa de resíduo, material esse que tem potencial para ser usado na construção civil que é uma grande consumidora de matéria prima. Em vista disso, na caracterização do resíduo foi verificado que o mesmo possui granulometria similar à de um filler. Portanto, o material foi dosado em de duas maneiras, o primeiro tipo de traço uma substituição em massa do agregado miúdo nas porcentagens de 5%, 10% e 20%. O segundo tipo de traço foi obtido com substituição do cimento nas proporções de 5%, 10% e 20%. De modo que, os pavers produzidos passaram pela verificação da NBR 9781 com relação a avaliação visual, dimensional, resistência e absorção. os traços com porcentagem de 5% e 10% de ambos os tipos de dosagem atenderam a norma, sendo que o traço dosado com filler na proporção de 5% apresentou um aumento de resistência e o traço com substituição do agregado com 20% não atendeu a norma devido a trabalhabilidade do concreto e a dificuldade de adensar o mesmo.

Palavras-chaves: Paver. Resíduo. traço. Resistência. Absorção.

ABSTRACT

In contemporary times, the need for raw materials and a more sustainable economy has encouraged the study of the feasibility of using waste generated in industry to produce materials useful for civil construction, such as ceramics, concrete and aggregates. Mineral activity generates a significant amount of waste, a material that has the potential to be used in construction, which is a large consumer of raw materials. In view of this, in the characterization of the residue it was found that it has similar particle size to that of a filler. Therefore, the material was dosed in two ways, the first trait type being a mass replacement of the fine aggregate in percentages of 5%, 10% and 20%. The second type of trait was the cement replacement trait in the proportions of 5%, 10% and 20%. Thus, the pavers produced passed the verification of NBR 9781 regarding visual, dimensional evaluation, resistance and absorption. the traits with 5% and 10% percentage of both dosage types met the norm, and the 5% proportioned filler trait showed an increase in resistance and the 20% aggregate replacement trait did not meet the standard due to the workability of the concrete and the difficulty of thickening it.

Key-words: Paver. Residue. trace. Resistance. Absorption.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
a/c	Relação água cimento.
CP	Corpo de Prova.
CP – V ARI	Cimento Portland V de alta resistência inicial.
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral.
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração.
F _p	Resistência média das peças, expressa em (Mpa).
F _{pi}	Resistência individual das peças, expressa em (Mpa).
F _{pk, est}	Resistência característica estimada a compressão, expressa em (Mpa).
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma aceita pelo Mercosul
PAVERS	Blocos intertravados.
ROM	Ron-of-mine. Minério em seu estado natural (não processado), obtido diretamente da mina, sem sofrer nenhum tipo de beneficiamento.
S	Desvio padrão da amostra expresso em (Mpa)
t	Coefficiente de Student.
T %	Traço com substituição do agregado miúdo por resíduo.
TF %	Traço com substituição do tipo filler, com o cimento sendo substituído.
TR	Traço de referência.
UFT	Universidade Federal do Tocantins.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	09
2	OBJETIVO	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1	ASPECTOS GERAIS DA MINERAÇÃO DE FERRO NO BRASIL.....	13
3.2	ATIVIDADE MINERAL EM NOVA LIMA -MG.....	13
3.3	FASE DE BENEFICIAMENTO E A GERAÇÃO DE RESÍDUO.....	15
3.4	PAVIMENTO INTERTRAVADO.....	16
3.5	DOSAGEM	20
3.5.1	Materiais.....	20
	.	
3.5.1.1	<i>Cimento</i>	20
3.5.1.2	<i>Agregados</i>	20
3.5.1.3	<i>Água e aditivos</i>	20
3.5.2	Métodos de dosagem para pavers.....	21
3.5.2.1	<i>Método da mistura experimental.....</i>	21
3.5.2.2	<i>Método do menor volume de vazios.....</i>	22
3.6	PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	23
3.6.1	Trabalhabilidade.....	23
3.6.2	Resistência à compressão e porosidade.....	24
3.7	CONCRETO COM ADIÇÃO DE FILLER.....	24
3.8	REQUISITOS PARA PAVERS DE CONCRETO.....	25
4	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL.....	27

4.1	PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO.....	27
4.1.1	Materiais e métodos para preparação do resíduo.....	27
4.1.2	Massa específica e unitária.....	29
4.1.3	Granulometria e Química global.....	29
4.2	TIPO DE PAVER ESCOLHIDO.....	30
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	30
4.3.1	Caracterização dos agregados.....	30
4.3.2	Material Pulverulento.....	32
4.3.3	Cimento.....	33
4.4	DOSAGEM	33
4.4.1	Traço de referência.....	33
4.4.2	Traço com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo.....	34
4.4.3	Traço com substituição parcial do cimento pelo resíduo.....	35
4.5	ENSAIOS PARA PAVERS CONFORME A ABNT NBR 9781:2013.....	35
4.5.1	Inspeção visual	35
4.5.2	Avaliação dimensional.....	36
4.5.3	Resistência característica à compressão	37
4.5.3.1	<i>Materiais e equipamentos</i>	<i>37</i>
4.5.3.2	<i>Procedimento.....</i>	<i>39</i>
4.5.3.3	<i>Resultados.....</i>	<i>39</i>
4.5.4	Absorção de água.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO.....	43
5.1.1	Massa específica.....	43
5.1.2	Granulometria.....	43

5.1.3	Química global.....	44
5.2	AVALIAÇÃO VISUAL.....	45
5.2.1	Efeito da trabalhabilidade do concreto no acabamento dos pavers.....	45
5.3	AVALIAÇÃO DIMENSIONAL.....	47
5.4	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	49
5.5	ABSORÇÃO.....	51
6	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	56
	ANEXOS	59

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de bens minerais, atualmente o país produz de maneira expressiva ferro, nióbio, ouro, cobre, bauxita e, manganês. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram, 2016) o Brasil exportou aproximadamente 400 milhões de toneladas de minério. Nos próximos anos esse setor da economia terá tendência a aumentar a produção e conseqüentemente poderá subir também o montante de resíduo produzido se o setor não investir na sustentabilidade da operação, ou seja, não só no que diz respeito a geração de resíduo, mas também no consumo de insumos no beneficiamento.

A mineração é essencial para o desenvolvimento de uma sociedade, a atividade mineradora está direta ou indiretamente envolvida na construção de edificações, carros, smartphones entre outros. Por conseguinte, o Brasil é um dos maiores produtores de bens minerais no mundo, mas, essa produção pode ter conseqüências sérias no meio ambiente ao qual está inserida, exemplo disso é a geração de resíduo que são dispostos geralmente em barragens, cavas ou pilhas de estéreis, e representa um dos grandes impactos ambientais da atividade mineral (Andrade, 2014).

Assim como outros países o Brasil tem problemas no que concerne a destinação de rejeitos. Em vista disso, existe pouco investimento em pesquisa e soluções tecnológicas para recuperação e reaproveitamento de resíduos e monitoramento e controle eficiente de barragem com risco ambiental. Na mineração de ferro alguns projetos têm avançado no que refere a recuperação de finos, e processamento de resíduos de pilhas ou barragens, entretanto, ainda se mostra limitada no que refere a volume (Carvalho, 2018)

Entretanto, é importante ressaltar que o estudo de reaproveitamento de resíduo de barragem é complexo, pois, existem uma série de variáveis envolvidas no processo, como variabilidade das características geológicas e de beneficiamento do minério. Portanto, cada rejeito possui suas particularidades a sua caracterização é essencial para viabilizar o estudo para reaproveitamento desse material, por isso, o material utilizado nesta pesquisa tem como estudo de caso o rejeito de uma cava da mina de Mutuca na cidade de Nova Lima estado de Minas Gerais, pertencente a mineradora Vale S.A.

O uso de pavimentos intertravados é comum nos dias de hoje, e a sua utilização cresceu nos últimos anos no mundo inteiro, com destaque para o Brasil. Existem uma variedade de modelos com formatos e cores diferentes e suas principais aplicações são em praças, calçadas, estacionamento, estradas, vias urbanas, entre outros. De modo geral, pavers ou pavimento intertravado de concreto, são blocos produzidos principalmente pela indústria de pré-moldados

de concreto, esses blocos são maciços e o seu intertravamento se resume na capacidade de resistirem a movimentos de deslocamento seja rotacional, vertical ou horizontal com relação aos blocos vizinhos. (SILVA, 2017).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) um Paver de boa qualidade apresenta dimensões regulares, boa aparência, grande durabilidade, e resistência adequada a sua aplicação. Os pavimentos intertravados tem muitas vantagens, pois, refletem bem a luz e propiciam conforto térmico para o usuário, visto que, o calor vindo da incidência solar é dispersado no ar de forma mais rápida em comparação com outros tipos de pisos, as diferenças podem chegar casa dos 30%, além disso, são antiderrapantes, permeáveis e quando se fala de manutenção em instalações abaixo do piso são de fácil remoção e, portanto, não é necessário quebrar as peças, somente remove-las e depois colocar de volta no lugar.

Existem evidências que o primeiro paver foi produzido no final do século XIX, além disso, tem-se registro de patentes em meados da Primeira Guerra Mundial. Depois da década de 50, ocorreu um progresso no desenvolvimento de outras fôrmas para produção de pavers. Em um primeiro momento os modelos copiavam tijolos e pedras que eram materiais utilizados para pavimentação na época, logo percebeu-se que os blocos produzidos com concreto forneciam mais uniformidade e um baixo custo para o processo de assentamento (CRUZ, 2003).

Em meados de 1970, em todo o do mundo diversos sistemas de fabricação de pavers com diversos modelos e meios de produção surgiram, uma década depois a produção estava na casa de mais de 45 milhões de metros quadrados ao ano, tal que, mais de 60% dessa produção era direcionada para pavimentação de vias urbanas. Já em 1990 a fabricação chegou à marca de 100 metros quadrados por segundo considerando dias de trabalho. Além disso, nos Estados Unidos a cada meia década, o montante de pavimento do tipo intertravado dobra em metros quadrados produzidos (SMITH, 2003).

A construção civil é grade consumidora de matéria prima, com estimativas de consumo de recursos naturais que variam entre 14% a 50%. O consumo de agregado fica em torno de 210 milhões de toneladas ao ano para produção de concreto e argamassa. Uma alternativa para diminuição do consumo de insumos pela construção civil são alternativas de reciclagem, o uso de outros materiais que as vezes são considerados resíduos por outras industrias pode ser uma saída para conservação de recursos naturais, um exemplo interessante de uma solução sustentável encontrada pala indústria cimenteira foi a substituição de uma porção do clínquer por escória e cinzas volantes o que resultou numa economia de 28% no uso de combustível (JOHN, 2000).

A adição mineral “filler” para concreto pode melhorar a cura e por ser um tipo de material com granulometria fina preenche pequenos espaços vazios consequentemente melhorando a resistência do concreto até certas porcentagens em relação a massa de cimento Portland. Existem vários tipos de materiais que podem ser usados como filler, entre eles o pó de calcário, pó de sílica e pó de pedra. (NEVILLE, 1997).

Depois de seco e destorroado o resíduo apresenta característica de pó, de modo que a granulometria remete a características de filler, que tem uma gama de aplicações no concreto, especialmente para os traços calculados para pavers, pois, no caso do concreto seco para paver a adição de finos resulta em melhor acabamento e mais coesão para ao concreto, na maioria dos casos tem-se o uso do pó de pedra que é um tipo de filler, portanto, a primeira hipótese é se o uso do resíduo como substituição do agregado resulta em um paver que atende a NBR 9781:2013, Rodrigo (1995) recomenda que o material filler seja miturado a areia de modo que ele venha representar certa de 10% do agregado. E a segunda hipótese é a substituição do cimento na dosagem, portanto nesse segundo tipo de traço, o resíduo vai ser acrescentado como se fosse um filler convencional, com o cimento sendo susituído em massa pelo resíduo de mineração.

Tendo em vista uma alternativa para aproveitamento do resíduo com granulometria fina (<0,01 mm) da usina de Mutuca, este trabalho tem como um dos principais objetivos produzir pavers de concreto com o uso do resíduo como filler em substituição do agregado miúdo em proporções de 5%, 10%, e 20% na dosagem do concreto, por conseguinte, analisar quais traços produziram blocos de pavimento intertravado atendem os requisitos obrigatórios da NBR 9781.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa consiste em caracterizar o resíduo de minério de ferro e avaliar seu potencial para reaproveitamento em aplicações na construção civil na produção de pavers de concreto.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer a caracterização físico-químico da amostra do resíduo de mineração.
- Produzir no mínimo um traço para paver com adição de resíduo que atenda aos requisitos obrigatórios da ABNT NBR 9781.
- Avaliar a ação de diferentes porcentagens da substituição do agregado miúdo pelo resíduo de mineração.
- Avaliar a ação de diferentes porcentagens da substituição do cimento pelo resíduo de mineração.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ASPECTOS GERAIS DA MINERAÇÃO DE FERRO NO BRASIL

A mineração é dos principais responsáveis pelo crescimento da economia brasileira, segundo os dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) em 2018 o setor contribuiu com mais de 35% no saldo comercial do país, sendo o minério de ferro o principal produto de exportação, se comparado com outros produtos de exportação, não somente do setor de mineração, o ferro representa 8,82% do total, atrás apenas da soja. De acordo com as informações publicadas pelo IBRAM, produção de ferro no Brasil ocorre devido ao alto teor de ferro encontrado no estado do Pará e em Minas Gerais.

O ferro é a matéria prima do aço, que tem diversas aplicações, desde a construção civil a utensílios domésticos, ou seja, a demanda do ferro está diretamente ligada com a produção de aço, Carvalho et al. (2014) quantifica 90% da demanda do ferro é proveniente da produção de aço. No cenário mundial existe uma crescente valorização do ferro, Carvalho et al. (2014) explica por que isso acontece:

“O mercado de minério de ferro recebeu uma forte influência do acelerado crescimento mundial puxado pela China na última década, passando a ser um produto altamente lucrativo e despertando o interesse de diversos novos entrantes na produção”

3.2 ATIVIDADE MINERAL EM NOVA LIMA -MG

O município de Nova Lima está localizado na Região metropolitana de Belo Horizonte no estado de Minas Gerais (MG). A Sede Municipal fica a aproximadamente 22 km da Capital, fazendo limite com os Municípios de Sabará, Raposos, Rio Acima, Itabirito, Brumadinho e Belo Horizonte. (IBGE, 2019)

Segundo o departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) 2016 cerca de 97,5% da área do município é objeto de requerimentos e autorizações de pesquisa mineral para as seguintes substâncias: Areia, Argila, Bauxita, Caulim, Cianita, Dolomito, Esteatito, Ferro, Filito, Manganês, Minério de Ferro, Minério de Manganês, Minério de Ouro, Ocre, Ouro, Quartzito, Quartzo, Serpentinó e Água Mineral. (Vale, 2011)

O resíduo que vai ser utilizado no estudo desta pesquisa foi retirado da usina de Mutuca que está localizada no complexo de Paraopeba I. Mutuca teve suas operações iniciadas em 1961. Exaurida a exploração da reserva em 2001, esta unidade passou a ser uma central de beneficiamento com o aproveitamento da logística e infraestrutura já existentes. (DE ABREU, 2012). A figura 01 mostra a localização da cava de Mutuca.

Figura 01 - Localização da cava de Mutuca

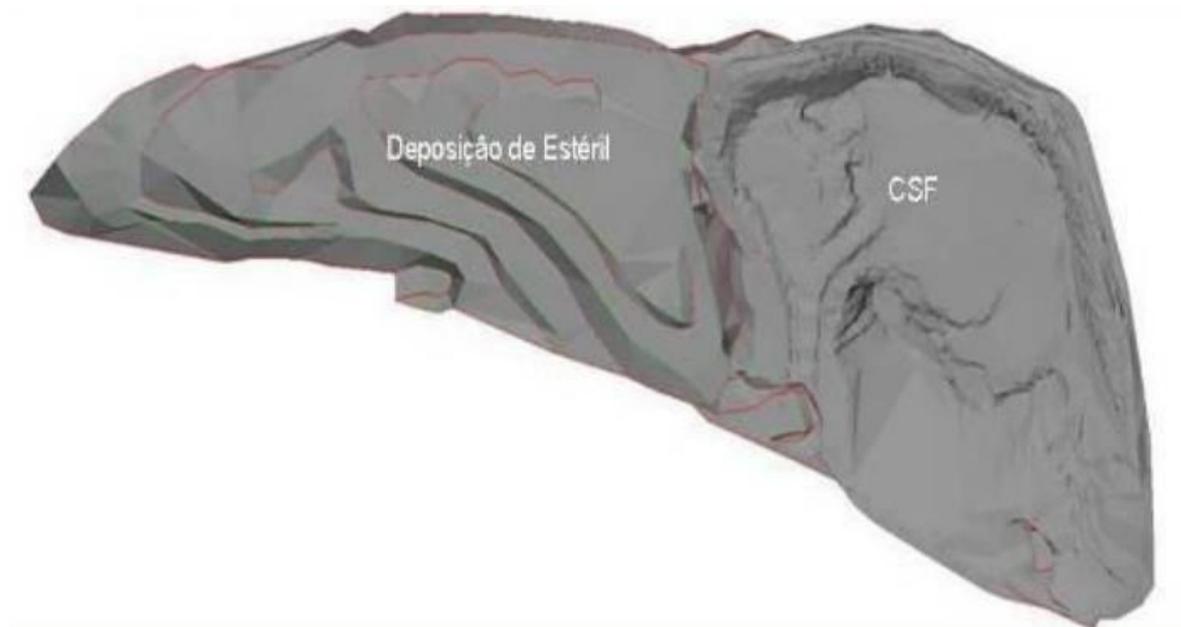


Fonte: Vale SA. 2011.

Mutuca foi formada de 1962 a 1988 com rejeitos provenientes do beneficiamento de hematita com alto teor de Fe (valores próximos a 68%) da primeira usina a úmido. A usina é alimentada com ROM proveniente da Mina de Tamanduá de 2002 a 2004. A partir de junho de 2004 passou a beneficiar o minério da lavra de Capão Xavier.

Depois de desativada, após a exaustão da lavra a cava da Mina da Mutuca, foi feita licenciada para disposição de rejeitos a cava da mina e passou a ser usada como barragem para conter o rejeito da fase de beneficiamento da usina. Mutuca recebeu os rejeitos do processo de beneficiamento da Usina até o ano de 2002. (DE ABREU, 2012).

Figura 02 – Disposição de rejeito de Mutuca.



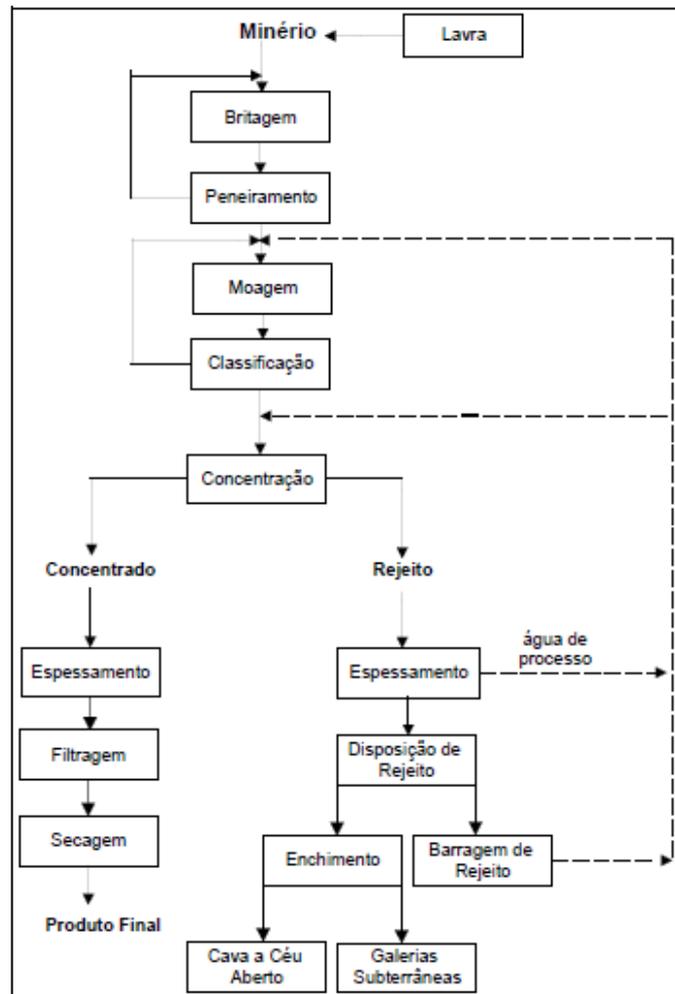
Fonte: Vale SA. 2011.

3.3 FASE DE BENEFICIAMENTO E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O ferro se encontra na natureza em forma de óxidos ou minérios, como por exemplo a hematita (Fe_2O_3), porém para se obter o ferro metálico adequá-lo para fins comerciais, além de sua extração do solo é necessário passar pelo processo de beneficiamento. Chaves (2012) define beneficiamento como: “consiste em operações aplicadas aos bens minerais visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem, contudo, modificar a identidade química ou física dos minerais.”

O Beneficiamento pode ser dividido nas seguintes etapas: fragmentação primária, granulação, moagem, classificação e concentração. A consequência desse processo de beneficiamento é a geração de resíduo, ou também chamado de resíduo, que geralmente são grandes volumes e massas de resíduos misturados à água (DNPM, 2012). Na figura 03 é mostrado um fluxograma geral de como o rejeito de mineração é gerado na fase de beneficiamento.

Figura 03 - Fluxograma típico de tratamento de minério



Fonte: CETEM, 2010

Como já comentado o rejeito é porção desprezada do mineral bruto no beneficiamento, por se tratar de um material que não é aproveitado economicamente nas condições de sua geração, não costuma ter valor econômico relevante, entretanto deve ser devidamente armazenado por questões ambientais. (Carvalho et al., 2014)

3.4 PAVIMENTO INTERTRAVADO

Segundo a norma brasileira de peças de concreto para pavimentação a NBR 9781:2013 um pavimento intertravado é definido como:

Pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas

por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção. (NBR 9781:2013, P. 2).

A camada de rolamento de um pavimento formado por pavers deve compor um revestimento durável e resistente, os pavers são assentes em uma camada fina de areia, desta forma, o revestimento deve ter capacidade de suportar o carregamento e tensões causado pelo tráfego, de modo a proteger a base do desgaste e manter a estabilidade do material da base ao manter os níveis de umidade baixos (HALLACK, 1998). A figura 04 abaixo mostra as camadas da construção de um pavimento intertravado.

Figura 04 – Estrutura de um pavimento intertravado.



Fonte: ABCP, 2001.

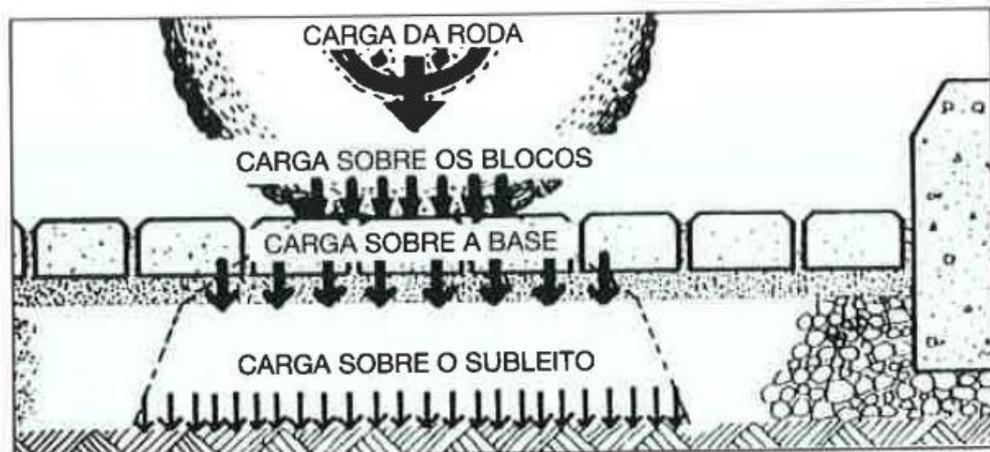
O subleito é basicamente uma estrutura de terraplanagem onde o pavimento será executado, seu principal objetivo é propiciar uma superfície uniforme e firme para a execução da sub-base e base posteriormente. Depois da preparação do subleito vem a camada de sub-base que pode ser feita de material granular, solo-brita, ou até mesmo solo melhorada com cimento Portland, sendo a espessura da camada definida em função do tráfego. Conseqüentemente, vem camada de base que é parte estrutural que recebe o carregamento da camada de revestimento, uma das principais atribuições dessa camada é proteger a camada abaixo de modo a evitar deformações permanentes e posterior danificação do pavimento intertravado (CARVALHO, 1998).

Conseqüentemente, tem-se a camada de assentamento que tem por principal função servir como base para colocação dos pavers, um dos principais requisitos para esta camada é que proporcione uma plataforma regular que possa acomodar os pavers. A areia para compor a cama da de assentamento e o rejunte não deve de forma nenhuma comprometer a função estrutural do pavimento. A camada de assentamento é fundamental para o bom funcional do

sistema do pavimento intertravamento, pois, além de oferecer uma camada regular ela faz parte do sistema de intertravamento (HALLACK, 1998).

Enfim, tem-se a camada de rolamento em que a execução se resume em assentar os pavers, fazer o acabamento junto as bordas e meios fios, e para finalizar vibração sobre os pavers na areia. Existem muitos arranjos e formas para a organização dos pavers, e não existe consenso entre estudiosos da área se existe interferência do formato no desempenho do pavimento, mas, recomenda-se que para tráfegos de veículos seja utilizado o arranjo de espinha de peixe, pois, o seu sistema de intertravamento se mostra mais eficiente (CARVALHO, 1998).

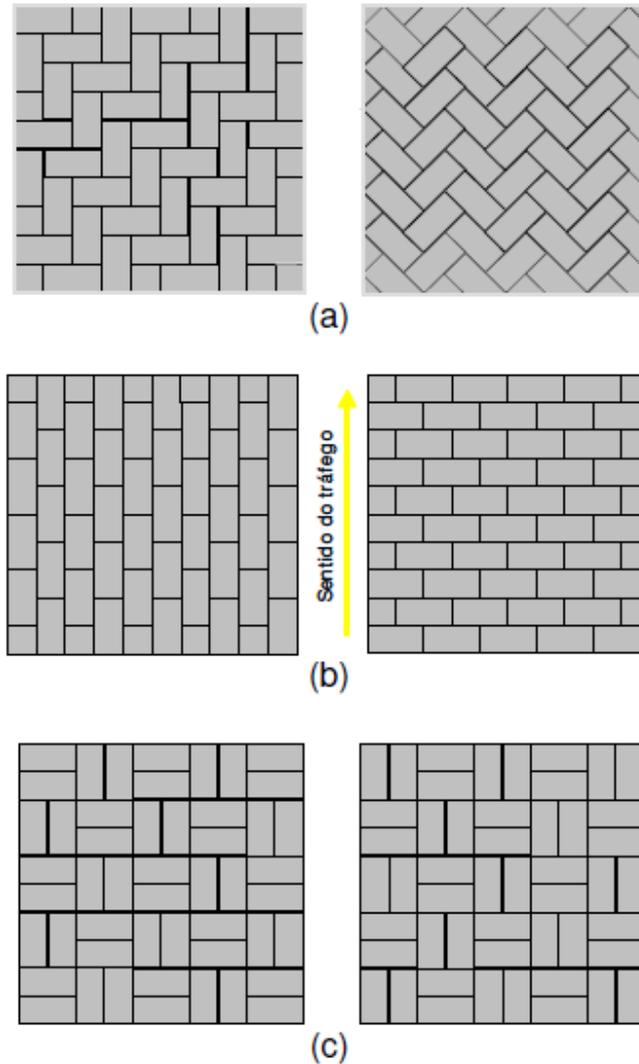
Figura 05 – Distribuição do carregamento sobre o pavimento.



Fonte: MADRID, 1999.

A figura 05 mostra como o pavimento intertravado faz a distribuição das cargas para o subleito, e na figura 06 na próxima página mostra os principais tipos de arranjo na montagem do pavimento com os blocos do tipo retangular.

Figura 06 – Formas de assentamento de pavers mais convencionais: a) Espinha de peixe; b) fileira; c) trama.



Fonte: ABCP, 2001.

O sistema de intertravamento deve ter capacidade de resistir a deslocamentos verticais, horizontais, de rotação e giração. Os esforços que provocam o deslocamento atuam ao mesmo tempo durante a vida útil do pavimento. Para intertravamento apropriado os pavers precisam ser englobados com alguma contenção lateral, geralmente são meios-fios, um bom sistema é capaz de transmitir as tensões aplicadas em pequenas áreas para outras maiores na camada de base de modo a manter a tensão que chega ao subleito dentro da tensão admissível (SHACKEL, 1990).

3.5 DOSAGEM

Segundo Neville (1997) a dosagem consiste na seleção de matérias, sendo o processo de escolha dos ingredientes que compõem o concreto, determinando suas quantidades com o objetivo de se ter o concreto mais econômico possível que atenda aos requisitos de resistência, durabilidade e a consistência requerida.

3.5.1 Materiais

Conforme a NBR 9781:2013, os materiais que podem ser utilizados na fabricação de pavers são: cimento Portland, agregados, água, aditivos e pigmentos. Sendo os requisitos gerais para cada:

3.5.1.1 Cimento

A NBR 9781:2013 define que o cimento Portland pode ser de qualquer tipo e classe para produção, porém, deve-se tomar cuidado no uso de cimentos com muitas adições que podem acrescentar tempo para desenformar e para curar, o que para a indústria de pré-moldados é um fator importante (FIORITI, 2007).

3.5.1.2 Agregados

Segundo a NBR 9781:2013 os agregados podem ser de qualquer tipo, mas devem obedecer a ABNT NBR 7211. Com relação a areia, a mesma deve ter granulometria média, limpa e isenta de impurezas orgânicas. O agregado graúdo deve ser a brita zero, quando possível de origem rochosa. Além da areia e brita, nesse tipo de concreto é geralmente empregado o uso de pó de pedra em pequenas quantidades (cerca de 10% do agregado total) e a sua principal ação é melhorar a coesão da mistura além de melhorar também o acabamento do bloco (RODRIGUES, 1995).

3.5.1.3 Água e aditivos

A água de amassamento utilizada deve atender a NBR 15900-1, devendo ser livre de impurezas que prejudiquem a hidratação do cimento. A água por órgãos públicos ou autarquias

que se encarreguem desses serviços geralmente atendem os requisitos para preparo do concreto (RODRIGUES, 1995).

Segundo a NBR 9781 os aditivos permitidos devem atender a NBR 11768:2011 que define os requisitos para aditivos químicos para concreto de cimento Portland, podendo ser redutores de água, acelerador de pega, acelerador de resistência entre outros. De modo geral, a presença de superplastificantes é essencial para alcançar uma dispersão eficiente das adições minerais, pois, devido as partículas menores demandarem mais água, ele age no sentido de compensar essa demanda o que potencializa o efeito físico-químico das adições (DAMINELLI, 2013).

3.5.2 Métodos de dosagem para pavers

De modo geral, a metodologia de dosagem depende do modo de fabricação, a maioria das fábricas trabalha com vibro-prensas que requerem um concreto com consistência seca e coesão suficiente para manter integridade até o endurecimento. Não é comum ter muitas bibliografias com descrições de métodos de dosagem para pavers de modo que os métodos experimentais de dosagem de concreto seco para pavers foge à regra de outros métodos de dosagem já conhecidos (ABREU, 1998).

De acordo com Rodrigues (1995) a ABCP recomenda dois métodos para dosagem de pavers, o método da mistura experimental, e o método do menor volume de vazios, segue detalhamento abaixo:

3.5.2.1 Método da mistura experimental

O método experimental é um método simplificado e apresenta uma menor precisão que é compensada por uma maior dosagem de cimento o que aumenta o custo do concreto, o método tem três etapas:

1º: Relação Agregado/Cimento: A relação de agregado/cimento não pode ser maior que 4,5 conseqüentemente o consumo de cimento deve ser maior que 400 kg/m³ de concreto isso significa que para cada saco de cimento o volume de agregado deve ficar em torno de 160 litros.

2º: Proporção da Mistura Pedrisco-Areia: A determinação da proporção adequada entre pedrisco e areia deve ser feita por tentativas, com misturas experimentais. Mas, os limites para

quantidade de areia para um saco de cimento devem ficar entre 65 litros e 95 litros, de modo a adicionar a areia aos poucos até que a superfície de acabamento dos blocos apresente-se fechada, sem ocorrência de pedriscos não envolvidos pela argamassa, excesso ou falta de areia pode comprometer a qualidade dos blocos.

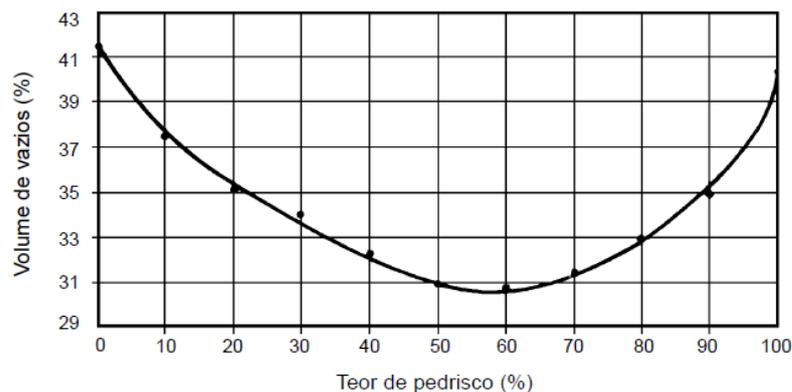
3.5.2.2 Método do menor volume de vazios

O ensaio se baseia no ensaio de massa unitária do agregado da NBR 7810, consistindo em comparar as massas de misturas de areia pedrisco, que possam caber em um recipiente padronizado, de volume conhecido. Os materiais para execução do ensaio são:

- Balança com capacidade mínima de 5 kg e precisão de 10 g.
- Recipiente cilíndrico, com 3 litros de capacidade, tendo diâmetro de aproximadamente 15 cm e altura de 17 cm.
- Haste metálica, de 16 mm de diâmetro e comprimento de 60 cm, com uma das extremidades arredondadas.

1º: *Determinação da melhor mistura Pedrisco-Areia*: Inicialmente o agregado é espalhado em local limpo e coberto e deixado para secar por pelo menos 24h, em seguida fazem-se varias misturas com quantidades variáveis de ambos agregados graúdo e miúdo, Finalmente, coloca-se cada uma das diferentes misturas em um recipiente cilíndrico em três camadas compactando cada camada com 25 golpes da haste, nas camadas superiores as haste não deve penetrar as camadas inferiores. Arrasado o material excedente pesa-se o recipiente cheio, e então traça-se uma curva como a da figura abaixo para achar o ponto ótimo da mistura.

Gráfico 01 – Volume de vazios x Teor de pedrisco.



Fonte: Rodrigues (1995).

1º: *Escolha da Relação Agregado/Cimento*: A relação irá depender principalmente do equipamento, pois, conforme a energia de vibração associada a compactação for menor, maior será o consumo de cimento, portanto se o maquinário fornecer mais energia de compactação menor será o custo unitário do paver em função do menor consumo de cimento. A maneira de se determinar a relação será por testes de produção, onde se fabricam peças com diversos consumos de cimento.

3º: *Escolha do teor de umidade da mistura*: O teor de água no concreto deve se situar entre 6% e 8%, esse quesito desempenha um papel importante na resistência do concreto em função do número de vazios. O teor ótimo de água deve ser feita com o equipamento de moldagem, fabricando peças com teores crescentes de umidade, de modo que, conforme a umidade aumenta as peças resultantes geralmente ficam mais compactas e portanto mais resistentes, deve se tentar colocar o máximo de umidade possível desde que após a moldagem os blocos não a forma ou grudem nos moldes.

3.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO

3.6.1 Trabalhabilidade

Metha e Monteiro (1994) determinam a trabalhabilidade como uma propriedade do concreto composta por duas características principais a fluidez (facilidade de mobilidade) e a coesão (resistência à exsudação). Os materiais selecionados para o concreto tem influência direta na trabalhabilidade, como por exemplo o módulo de finura e teor de material pulverulento do agregado miúdo, se a areia tiver um módulo de finura muito baixo ou com alto teor de material pulverulento a trabalhabilidade pode cair, pois, ao aumentar a área específica do agregado o concreto vai precisar de mais água, mas essa opção pode afetar a resistência. Além disso, um concreto pouco trabalhável a depender o tipo de adensamento, pode apresentar ninho de concretagem o que pode afetar a resistência.

Um dos métodos mais conhecidos para medir a trabalhabilidade é o ensaio de abatimento do tronco de cone. Assim sendo, o ensaio de abatimento do tronco de cone é normatizado segundo a NBR NM 67:1998 e pode ser considerado um ensaio qualitativo da estabilidade e da fluidez da mistura de concreto no estado fresco.

3.6.2 Resistência à compressão e porosidade

Todos os materiais selecionados para dosagem afetam direta ou indiretamente a resistência do concreto, o tamanho e a forma do agregado, adições minerais, condições de cura, relação água/cimento, presença de superplastificantes, entre outros. Por conseguinte, a água é o fluido responsável por preencher os vazios entre os finos, cobrir a área superficial e depois afastar as partículas. No concreto comum os finos se resumem basicamente ao cimento que devido ao seu processo de produção controlado geralmente apresentam uma distribuição granulométrica mais monomodal, portanto, os grãos que compõem a pasta podem apresentar tendência a alta porosidade intergranular, desse modo, a porosidade final da pasta será afetada diretamente pelo teor de água e em consequência, a resistência toma relação direta com a relação água cimento (DAMINELI, 2013).

A produção de concretos com baixa porosidade tem relação direta com a durabilidade das construções, pois, a maioria dos processos de degradação estão relacionados com as propriedades de absorção, por onde íons agressivos entram com a água dentro do concreto. Dentre os fatores relativos à falta de durabilidade do concreto, a mais importante é a permeabilidade em excesso, conforme aumenta a permeabilidade, mais vulnerável o concreto está a ataques químicos. Portanto, para apresentar durabilidade o concreto fabricado de cimento Portland devem ser o relativamente impenetrável. (DA FONSECA, 2010).

3.7 CONCRETO COM ADIÇÃO DE FILLER

O filler é um material fino e não reativo, cuja a ação se baseia principalmente em um efeito de empacotamento granulométrico diminuindo a porosidade e o número de vazios, além da ação de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento. As adições minerais do tipo filler mais utilizadas nos dias de hoje são o calcário, pó de quartzo e o pó de pedra (DAL MOLIN, 2005).

O filler tem propriedades que corrigem os finos da areia, melhorando a qualidade e a durabilidade do concreto quando presentes em pequenas quantidades. O filler pode melhorar o desempenho de propriedades do concreto como a trabalhabilidade, a massa específica, a exsudação, e a tendência a fissuração (NEVILLE, 1995).

Quando existe um maior empacotamento, o que pode ser alcançado com o uso de adições de finos inertes, a configuração dos poros será diferente com tendência a uma porosidade menor, deste modo, para a mesma quantidade de água a porosidade no estado

endurecido poderá ser menor , variando a resistência para mesma relação água cimento (DAMINELI, 2013)

3.8 ESPECIFICAÇÕES PARA PAVERS DE CONCRETO

No Brasil existe a NBR 9781:2013 que explica sobre as especificações e métodos de ensaios para pavers, A norma brasileira tem como objetivo principal fixar condições exigíveis para aceitação de pavers com destino a pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamento, entre outros. Um dos principais parâmetros que a norma exige é a respeito da resistência do concreto, segue abaixo tabela da norma que relaciona resistência em função da aplicação:

Tabela 01 – Resistencia característica a compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781.

Como falado anteriormente, os europeus são pioneiros no uso de pavimentos intertravados, e criaram a norma BS EM-1338 (2003): Concrete paving blocks – Requirements and test methods, que relação a outras normas existentes, inclusive a brasileira a norma europeia define um sistema de processo e fabricação de modo a garantir mais homogeneidade no processo e mais qualidade para os produtos fabricados (FIORITI, 2007).

Segundo Shackel (1990) as principais especificações gerais que um paver tem que atender dizem respeito a características relacionadas a:

- Materiais utilizados na fabricação como o cimento Portland escolhido, agregados, aditivos, pigmentos e água;
- Tolerâncias admissionais, pois, essa característica está diretamente ligada intertravamento já que pode prejudicar o assentamento e alinhamento das peças;
- Resistência que deve ser suficiente para suportar o carregamento durante seu tempo de serviço, e na etapa de manuseio e execução;

- Durabilidade, em relação a esse aspecto tem relação com a resistência a abrasão e sua capacidade de suportar ciclos de gelo e degelo nos países de clima frio;
- Aparência, esse requisito não se observa nas normas internacionais, nenhuma espécie de uniformidade a respeito de textura e cor da superfície dos pavers, de modo geral essas características são subjetivas.

A norma brasileira NBR 9781:2013 não especifica ou limita métodos de dosagem, adensamento, e fabricação para os pavers, apenas a especificação para os materiais, e métodos de ensaios para resistência característica a compressão, absorção de água, avaliação dimensional, inspeção visual e resistência à abrasão sendo que este último é um ensaio facultativo.

4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

4.1.1 Materiais e métodos para preparação do resíduo

A origem do resíduo de minério de ferro veio da usina de Mutuca da Vale em Nova Lima – MG. No processo produtivo da Usina. Atualmente no circuito de produção o minério é levado para britagem primária então dividido entre o peneiramento e a usina de tratamento a úmido é da usina de tratamento a úmido que sai o resíduo utilizado neste estudo.

O material coletado em bombonas para o transporte contém altos índices de umidade, portanto, foi necessário fazer a secagem do mesmo na estufa do laboratório de materiais do Campos de Palmas a 105 °C por um período de 24 horas. Depois de 24 horas na estufa, algumas porções ficam agrupadas em torrões que são facilmente desmembrados ao destorroar a massa. Segue abaixo relação de materiais utilizados no processo de preparação do resíduo para uso no processo de preparação:

- Estufa (105 ± 5) °C;
- Padiola;
- Escova;
- Almofariz de porcelana;
- Mão de gral;
- Peneira com abertura de 75µm;

Segue abaixo procedimento para preparação de material:

- 1) Ao ficar parado a maior parte do resíduo decanta no fundo das bombonas usadas para transporte, de modo que, uma camada de água fica acima do resíduo, essa camada é retirada e descartada, e a lama concentrada no fundo da bombona é então colocada em padiolas e então para estufa a uma temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas para secagem;
- 2) Depois de passadas às 24 horas, retirar o material da estufa e aguardar o material esfriar, então com o material a uma temperatura ambiente agitar a padiola manualmente de modo a iniciar a desagregação do material e reduzir o trabalho no processo de destorroar com a mão de gral, depois de agitado o material ainda apresentam torrões conforme mostra a figura 07;

Figura 07 – Amostra antes de destorrear.



Fonte: Autor.

- 3) Colocar a amostra no almofariz de porcelana e com a mão de gral pressionar a amostra com movimentos circulares até que todas partículas estejam soltas e a amostra não apresente mais torrões;

Figura 08 – Amostra destorroada no almofariz.



Fonte: Autor.

- 4) A amostra seca e destorroada foi colocada na peneira com abertura de $75\mu\text{m}$, para garantir que não ficaram pedaços da amostra que não foram destorroadas, qualquer grão

inteiro encontrado era retornado para o almofariz de porcelana para ser destorroado novamente;

Figura 09 – Resíduo seco depois de ser destorroado e peneirado.



Fonte: Autor.

4.1.2 Massa específica e Unitária

O embora o método de dosagem não exija os valores de massa específica e unitária, pois, o método de dosagem escolhido possui uma metodologia mais empírica, é importante saber principalmente a massa específica para poder classificar o material como agregado leve, normal ou pesado conforme limites da NBR 7211. A massa específica do resíduo foi calculada através do método do Piquenômetro e a massa unitária do estado solto solto seguiu o procedimento da NBR NM 45:2006.

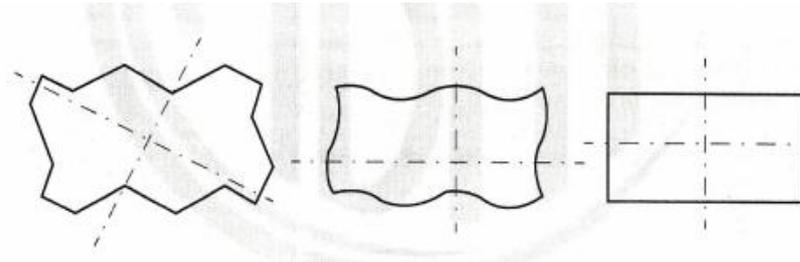
4.1.3 Granulometria e Química global

A análise granulométrica e a química global do material foi fornecida pela laboratório de processos e geotecnia da VALE.

4.2 TIPO DE PAVER ESCOLHIDO.

O modelo de paver confeccionado é modelo tipo I da norma, retangular com medidas de 20x10x6 cm.

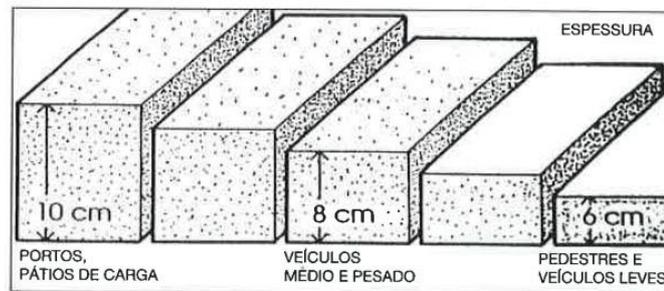
Figura 10 – Formatos tipo I



Fonte: NBR 9781.

Segundo Rodrigues (1995) esse modelo associado à sua espessura é adequado para pedestres e veículos leves, por isso segundo a NBR 9781 a resistência deve ser maior ou igual que 35 Mpa após 28 dias.

Figura 11 – Altura do paver em função da aplicação.



Fonte: Rodrigues, 1995.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

4.3.1 Caracterização dos agregados

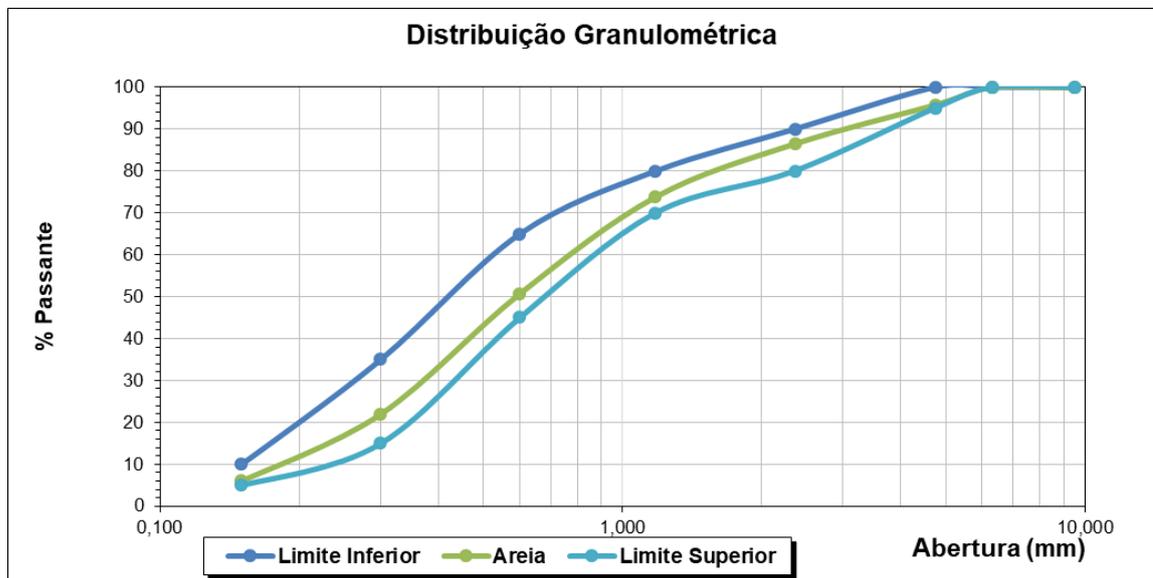
A granulometria dos agregados é importante para o controle qualidade do concreto, de modo que a granulometria do agregado miúdo conforme recomendação da ABCP, deve ficar na faixa da areia média e o agregado graúdo ser a brita 0 com diâmetro máximo de 9,5 mm.

Para a caracterização dos agregados foi seguida as recomendações da ABNT NBR 7211:2009, de modo que o agregado miúdo se encontra dentro da zona ótima. Além disso, as

características relacionadas à massa específica, massa unitária e composição granulométrica do agregado miúdo foram determinadas conforme as normas, ABNT NM 45:2006 e ABNT NBR NM 248:2003 e o método do picnômetro para massa específica, respectivamente. Para o agregado graúdo, a determinação da massa específica seguiu os requisitos na NBR NM-53:2009

Com relação ao agregado miúdo a NBR 7211 estabelece limites inferiores e superiores do teor ótimo, para garantir que não haverá outras variáveis que possam alterar os resultados que não seja as adições de resíduo, a areia utilizada para pesquisa é uma areia média que está na zona ótima foi feito o ensaio granulométrico conforme ABNT NM 248, os aparelhos utilizados são todos pertencentes ao laboratório de materiais de Engenharia Civil da UFT.

Gráfico 02 – Curva granulométrica do agregado na zona ótima.



Fonte: Autor.

O valor encontrado para o módulo de finura do agregado miúdo resultou em 2,4 o que significa que a areia se classifica como média e está dentro da zona ótima, assim como é pedido na recomendação para agregado miúdo para pavers.

Em relação ao agregado graúdo, o escolhido foi a brita 0 de granito, o ensaio granulométrico resultou que a porcentagem de retidos na peneira 9,5 mm foi de 3,2 % o que significa que conforme a NBR 7211 delimita o diâmetro máximo do agregado está abaixo de 5% de retidos na peneira 9,5 mm portanto, o mesmo se caracteriza como brita zero. Segue abaixo tabelas 2 e 3 com um resumo das características dos agregados:

Tabela 02 – Caracterização geral agregado miúdo.

Massa específica (kg/m³)	2597,3
Massa unitária (kg/m³)	1696,21
Módulo de finura	2,4

Fonte: Autor

Tabela 03 – Caracterização geral agregado graúdo.

Massa específica (kg/m³)	2466,2
Massa unitária (kg/m³)	1567,6
Diâmetro máximo (mm)	9,5

Fonte: Autor.

4.3.2 Material Pulverulento

Tendo em vista que a areia pode vir com material pulverulento, sua presença em porcentagens dentro do aceitável pela norma não é em si um problema, mas, a presença excessiva de material fino no agregado miúdo pode comprometer a trabalhabilidade do concreto no estado fresco pelo aumento da superfície específica do agregado (NEVILLE, 1997). Entretanto, essa pesquisa visa avaliar ação do resíduo como um material fino e, conseqüentemente, para que não venha a ter influência nos resultados, toda a areia e brita utilizada para pesquisa foi lavada, com o agregado miúdo lavado na peneira com abertura de 75 µm.

Mesmo que esta não seja uma prática realizada no campo, para evitar interferência de variáveis que não seja a adição do resíduo, o processo de lavagem se mostrou necessário, de modo a retirar o material pulverulento presente no agregado miúdo e qualquer impureza que pudesse estar no agregado graúdo, ambos os materiais além de lavados, foram secos na estufa do laboratório.

4.3.3 Cimento

O cimento Portland escolhido para a pesquisa foi o CP V-ARI ZEBU, pois, segundo Fioriti (2007) o cimento Portland de alta resistência inicial é indicado para fabricação de concretos para indústrias de médio e pequeno porte onde o local para cura é limitado e o uso de CP V-ARI reduz o tempo de cura dando mais rotatividade para o estoque o torna o processo mais produtivo. Ou seja, esses fatores fazem do CP V-ARI um dos cimentos mais utilizados na indústria de pré-moldados.

Tabela 04 – Massa específica e unitária do cimento.

Massa específica (kg/m³)	3100
Massa unitária (kg/m³)	1412,3

Fonte: Autor.

4.4 DOSAGEM

4.4.1 Traço de referência

Tendo em vista um parâmetro para comparação, foi elaborado um traço de referência com a metodologia da mistura experimental recomendada pela ABCP para dosagem de concreto para pavers, entretanto, apesar do método de dosagem não necessitar das características das matérias constituintes do concreto, os ensaios de granulometria, massa específica e unitária, material pulverulento, foram feitos para garantir que os materiais utilizados atendem os requisitos das recomendações para seleção dos materiais na fabricação de pavers.

Um ponto importante a ser colocado, é que devido ao adensamento ser feito de forma manual o uso de aditivo superplastificante Glenium 51 foi aplicado para que a mistura obtivesse trabalhabilidade necessária para que o adensamento. Em vista disso, para avaliar a influência da adição de resíduo e suas proporções no concreto, vários cuidados foram tomados para garantir que a variável do sistema seja somente a porcentagem de resíduo.

Rodrigues (1995) fala sobre o método de dosagem da mistura experimental, o primeiro passo foi escolher o valor de 4,4 para relação agregado/cimento respeitando a recomendação do método que essa relação tem que ficar abaixo de 4,5 para testar o primeiro traço.

Para a relação pedrisco areia o primeiro traço foi rodado com o menor volume recomendado pelo método que é 65 litros para cada saco de cimento. A Segue abaixo tabela 05 com os parâmetros do método da mistura experimental na dosagem, e traço unitário final calculado.

Tabela 05 – Parâmetros do método da mistura experimental no traço referência.

	Traço final	Limite método da mistura experimental
Relação agregado/cimento	4,04	Máximo 4,5
Proporção pedrisco/areia	81,5	Entre 65 - 95

Fonte: Autor.

Traço unitário de referência.

1: 2,28: 1,76: 0,4

4.4.2 Traço com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo

Tomou-se como base o próprio traço de referência em que porcentagens do agregado miúdo em massa será substituído por resíduo, segue tabela 06 com os traços rodados para cada porcentagem de adição. Conforme Neville (1995) coloca, o aumento de finos no concreto faz com que a trabalhabilidade caia, pois existe um aumento da área específica, tendo em vista, que se espera que adição de resíduo vá interferir com trabalhabilidade o percentual de aditivo vai se manter o mesmo, de modo que a única variável do traço seja o percentual de adição. Desta maneira, pode-se observar a ação do resíduo na trabalhabilidade do concreto e consequentemente no adensamento do concreto na forma.

Tabela 06 – Traços unitário dosagem agregado.

	CIMENTO	AGREGADO MIÚDO	AGREGADO GRAÚDO	a/c	RESÍDUO	Aditivo
TR	1	2,28	1,76	0,4	-	0,01
T 5%	1	2,166	1,76	0,4	0,114	0,01
T 10%	1	2,052	1,76	0,4	0,228	0,01
T 20%	1	1,824	1,76	0,4	0,456	0,01

Fonte: Autor.

4.4.3 Traço com substituição parcial do cimento pelo resíduo

Nesse traço o resíduo foi tratado como filler em relação a dosagem, com o cimento agora sendo substituído pelo resíduo. Em relação a trabalhabilidade, como o cimento é quase tão fino quanto a adição de resíduo, não houve grandes variações em relação a trabalhabilidade entre as adições, o slump médio dos traços com adição ficaram na média em torno de 9 cm.

Tabela 07 – Traços unitário dosagem filler.

FILLER	CIMENTO	AGREGADO M	AGREGADO GRAÚDO	a/c	RESÍDUO	Aditivo
TR	1	2,28	1,76	0,4	-	0,01
TF 5%	0,95	2,28	1,76	0,4	0,05	0,01
TF 10%	0,9	2,28	1,76	0,4	0,1	0,01
TF 20%	0,8	2,28	1,76	0,4	0,2	0,01

Fonte: Autor.

4.5 ENSAIOS PARA PAVERS CONFORME A ABNT NBR 9781:2013

4.5.1 Inspeção visual.

Conforme a NBR 9781 o principal objetivo em fazer essa inspeção é identificar peças com defeitos que venham a prejudicar o assentamento, desempenho estrutural e também a estética do pavimento. Pequenas variações de cor na peça devido a processo de fabricação são

admitidas, mas, as peças devem de modo geral apresentar arestas regulares, ângulos retos, livres de rebarbas, defeitos ou descamação.

O número de corpos de prova para realização do ensaio deve ser de pelo menos 6, entretanto, a norma permite que as peças amostradas podem ser utilizadas nos ensaios de compressão.

Tabela 08 – Quantitativo de corpos de prova para inspeção visual e avaliação dimensional.

	IDADE	CP
TR	28 Dias	6
T 5%	28 Dias	6
T 10%	28 Dias	6
T 20%	28 Dias	6
TF 5%	28 Dias	6
TF 10%	28 Dias	6
TF 20%	28 Dias	6

Fonte: Autor.

4.5.2 Avaliação dimensional

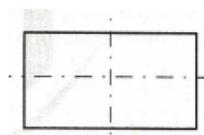
O tipo de forma escolhida foi a do paver retangular com 200 mm de comprimento, 100 mm de largura e 60 mm de altura a norma indica que os pontos para tomada das medidas são nos pontos centrais das peças. Com relação a tráfego de veículos ou áreas de armazenagem o fator de forma deve ser menor ou igual a 4, de modo que o índice de forma é a relação entre comprimento e a espessura. A tolerância para cada medida é de 3 mm conforme tabela abaixo:

Tabela 09 – Tolerâncias dimensionais

Comprimento	Largura	Espessura
±3	±3	±3

Fonte: NBR 9781.

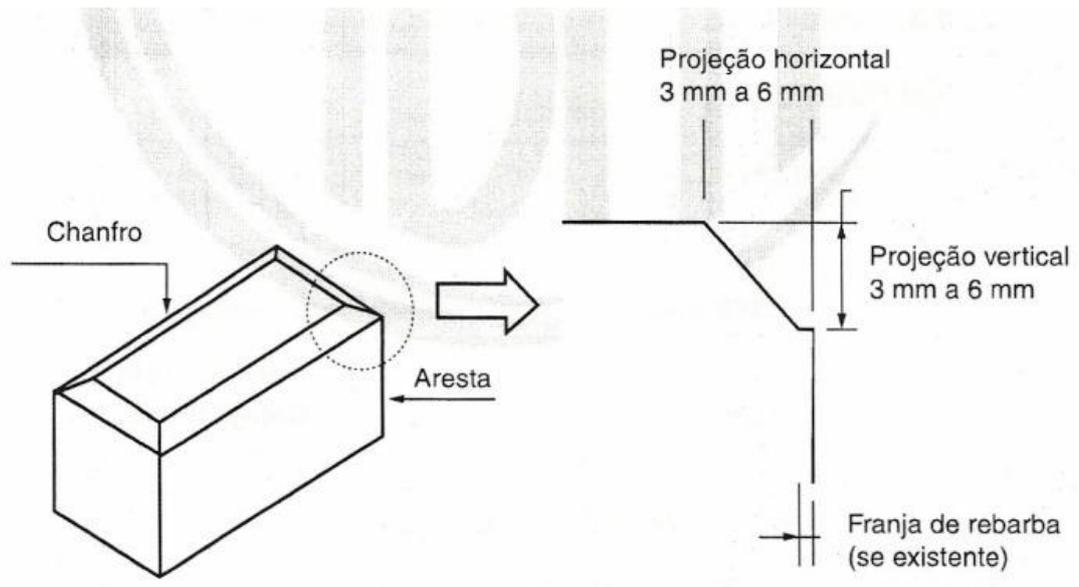
Figura 12 – Pontos para tomada das medidas



Fonte: NBR 9781.

Em relação ao chanfro, as suas medidas mínimas devem ser 3mm e o valor máximo 6 mm e a sua especificação vai depender de aspectos construtivos e capacidade estrutural e conforto para rolamento, porém, é importante ressaltar que a norma permite em alguns casos peças sem chanfro.

Figura 13 – Chanfro de uma peça de concreto.



Fonte: NBR 9781:2013.

A norma pede um número de 6 corpos de prova para realização do ensaio, como norma permite as peças utilizadas serão as mesmas que passaram pela inspeção visual e depois vão para o ensaio de resistência a compressão.

4.5.3 Resistência característica a compressão.

4.5.3.1 Materiais e equipamentos

A NBR 9781:2013 define no anexo A sobre o procedimento para o ensaio, segue abaixo relação de equipamento necessário para a realização do ensaio:

- Máquina de ensaio ou prensa;
- Placas auxiliares de ensaio: circulares, com diâmetro de (85 ± 5) mm e espessura mínima de 20 mm:

Tendo em vista que a prensa da universidade federal do Tocantins não possui o acessório com as dimensões que a norma pede para ruptura de pavers, as placas auxiliares para ruptura foram confeccionadas localmente em uma tornearia. Segue abaixo figura 15 as dimensões finais das peças:

Figura 14 – Dimensão das placas auxiliares



Fonte: Autor.

Figura 15 – Placa auxiliar superior.



Fonte: Autor.

Figura 16 – Placa auxiliar inferior.



Fonte: Autor.

4.5.3.2 Procedimento

Conforme anexo A da NBR 9781:2013, as amostras devem estar saturadas em água (23 ± 5) °C por pelo menos 24h antes do ensaio e as superfícies de carregamento devem estar retificadas e lisas. A disposição das peças sobre as placas auxiliares de ensaio deve seguir: Face superior do corpo de prova em contato com a placa auxiliar superior, de tal forma, que o eixo vertical que passa pelo seu centro coincida com o eixo de aplicação de carga. Segue abaixo tabela 10 com quantitativo de corpos de prova para o ensaio de ruptura em duas idades 7 e 28 dias.

Tabela 10 – Quantitativo de corpos de prova produzidos para o ensaio de resistência compressão.

	IDADE	CP
TR	7 Dias	6
	28 Dias	6
T 5%	7 Dias	6
	28 Dias	6
T 10%	7 Dias	6
	28 Dias	6
T 20%	7 Dias	6
	28 Dias	6
TF 5%	7 Dias	6
	28 Dias	6
TF 10%	7 Dias	6
	28 Dias	6
TF 20%	7 Dias	6
	28 Dias	6

Fonte: Autor.

4.5.3.3 Resultados

Ainda segundo o anexo A da norma, os resultados devem ser expressos em (Mpa), onde se pega a carga de ruptura em Newtons (N), pela área de carregamento, expressa em mm quadrados (mm^2), o resultado então deve ser multiplicado pelo fato p que é definido em função da altura da peça. Segue abaixo tabela 11.

Tabela 11 – Fator multiplicativo p

Espessura nominal da peça mm	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: Autor.

A norma parte da premissa que a resistência a compressão obedece a distribuição normal, sendo o valor característico estimado pelas equações abaixo:

$$f_{pk, est} = f_p - t \times s$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

Em que:

f_p = Resistência média das peças, expressa em (Mpa);

f_{pi} = Resistência individual das peças, expressa em (Mpa);

$f_{pk, est}$ = Resistência característica estimada à compressão, expressa em (Mpa);

n = Número de peças da amostra;

s = Desvio padrão da amostra expresso em (Mpa);

t = Coeficiente de Student, em função do tamanho da amostra (conforme tabela abaixo)

Tabela 12 – Coeficiente de Student (nível de confiança de 80%)

n	t
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

Fonte: NBR 9781:2013.

4.5.4 Absorção de água

Segundo o anexo B da NBR 9781:2013, a absorção é o quociente entre a massa de água absorvida pelo corpo-de-prova saturado em água e a massa seca, de modo que o resultado do valor médio não pode ser maior que 6% e nenhum valor individual do ensaio pode ser maior que 7%. Segue abaixo relação do número de corpos de prova produzidos para este ensaio segundo recomendação da norma:

Tabela 13 – Quantitativo de corpos de prova produzidos para ensaio de absorção.

	IDADE	CP
TR	28 Dias	3
T 5%	28 Dias	3
T 10%	28 Dias	3
T 20%	28 Dias	3
TF 5%	28 Dias	3

TF 10%	28 Dias	3
TF 20%	28 Dias	3

Fonte: Autor.

Seguindo o procedimento da norma, o corpo de prova deve estar limpo e saturado, de modo que devem estar imersos em água por no mínimo 24 h. Os corpos de prova devem ser pesados na condição saturado com superfície seca, processo que é feito drenando o corpo de prova sobre uma tela metálica por 1 min e então removendo o excesso de água com um pano úmido, repetir o processo a cada 2h, até que não se registre diferença maior que 0,5% em duas medições sucessivas.

Feitas medições da massa saturada, encaminhar os corpos de prova para estufa por 24 h, em seguida pesar a massa seca encontrada e repetir o processo a cada duas horas até que em duas medições seguidas não se tenha diferença maior que 0,5%

O índice de absorção é expresso conforme fórmula abaixo:

$$A (\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

AA (%) – Índice de absorção.

M₁ = Massa do corpo de prova seco em (g)

M₂ = Massa do corpo de prova saturado (g)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir estão apresentados os resultados e discussões a respeito dos resultados da caracterização do resíduo, inspeção visual, avaliação dimensional, resistência a compressão, absorção.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

5.1.1 Massa específica e unitária

O valor da massa para o resíduo está dentro do esperado para um agregado considerado normal no que diz respeito a massa específica. Além disso, a massa encontrada está bem próxima da massa específica de um filler calcário comercial está em torno de 2700 kg/m^3 (MEDEIROS, 2016).

Tabela 14 – Massa específica e unitária do resíduo.

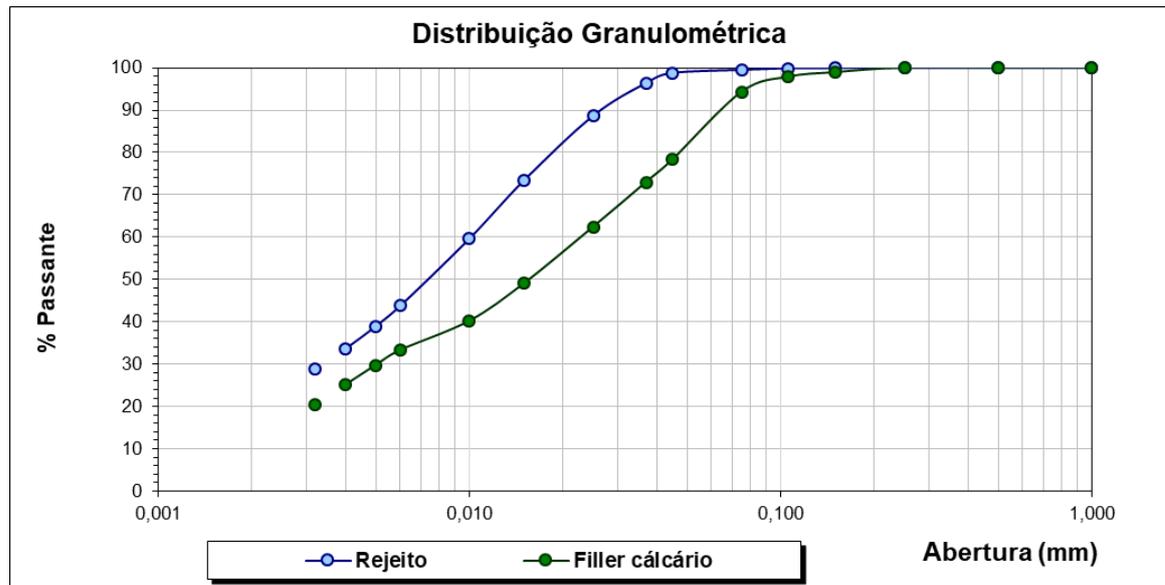
Massa específica (kg/m^3)	2734,8
Massa unitária (kg/m^3)	1246,3

Fonte: Autor.

5.1.2 Granulometria

Segue abaixo curva granulométrica do material, que mostra que o material apresenta porções bem finas, na faixa da finura necessária para um filler de uso comercial comum como o filler calcário.

Gráfico 03: Distribuição granulométrica do resíduo (overflow) e do filler calcário comercial.



Fonte: Laboratório de processos e geotecnia VALE; MEDEIROS, 2016.

Como é possível ver acima a faixa granulométrica do resíduo é mais fina que o filler calcário e tem uma curva relativamente parecida entre si, portanto, com relação a granulometria o material se classifica como filler. Além disso, a granulometria do material 99,53% do material passa na peneira com abertura 75 μm . Para se ter um parâmetro de comparação a NBR 16697:2018 define que o CP V ARI que tem uma das granulometrias mais finas dentre os cimentos Portland pode ter no máximo 6% de resíduo retido na peneira 75 μm .

5.1.3 Química global

A tabela 15 mostra os resultados da química global do material pode-se ver que a maior parte da composição dos elementos constituintes não indica a presença significativa de materiais com possíveis propriedades pozolânicas, mas, sim de um material inerte, entretanto, com uma porcentagem grande ferro.

Tabela 15 – Química global do resíduo gerado no Overflow

Amostra	Química Global (%)									
	Fe	SiO2	P	Al2O3	Mn	TiO2	CaO	MgO	PPC	F.Q
OF	49,93	17,07	0,072	4,90	1,429	0,278	0,054	0,227	4,07	99,99

Fonte: Laboratório de processos e geotecnia VALE.

5.2 AVALIAÇÃO VISUAL

Conforme recomendação de Rodrigues (1995) adições minerais melhoram o acabamento e durabilidade do concreto, por isso, embora não obrigatório, é recomendado a colocação de pó de pedra na proporção de até 10% em substituição da massa total de agregado, o pó de pedra é um material muito fino, assim como o resíduo usado na pesquisa.

Como era de se esperar, os traços com mais finos, em que o resíduo foi adicionado em substituição parcial da areia apresentam um acabamento melhor, tanto em relação ao traço de referência, quanto ao traço com substituição parcial do cimento por resíduo, embora essa diferença seja pequena é possível notar na textura e principalmente no acabamento das arestas. Na figura abaixo, segue pavers produzidos com T 5% que apresentaram melhor acabamento entre as peças produzidas.

Figura 17 – Peças com bom acabamento.



Fonte: Autor.

5.2.1 Efeito da trabalhabilidade do concreto no acabamento dos pavers

Embora os traços que apresentaram melhor acabamento foram dos concretos que receberam a adição de resíduo em substituição do agregado, o traço com pior acabamento foi o

com adição de resíduo como agregado com porcentagem de 20%. A figura 18 mostra os pavers produzidos com porcentagem de substituição de agregado com 20% logo após serem desformados, na figura é possível perceber a formação de ninhos de concretagem. Em seguida, a figura 19 mostra o slump test desse traço e o detalhe do momento do adensamento, que mostra que o concreto no estado fresco deste traço teve pouca trabalhabilidade e dificuldade no momento do adensamento.

Figura 18 – Traço com pior acabamento (T 20%)



Fonte: Autor.

Figura 19 – Adensamento e Slump test do traço com dosagem de 20%



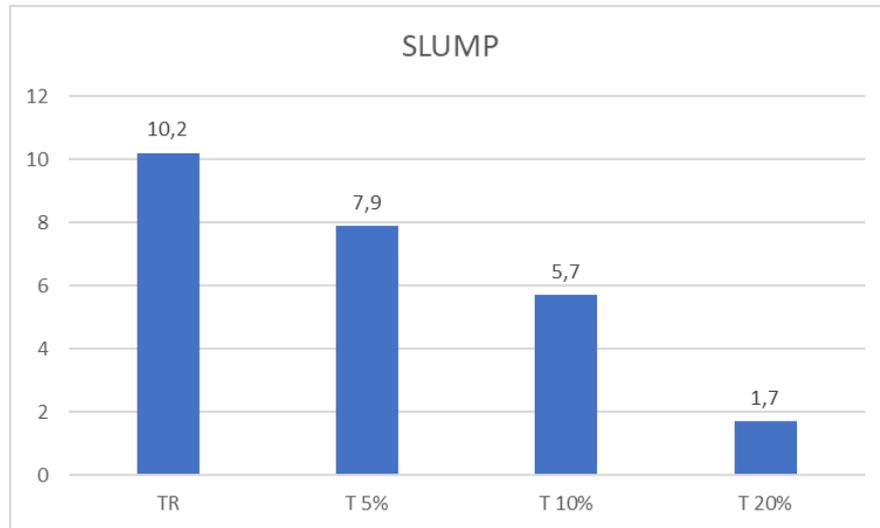
Fonte: Autor.

Conforme imagens acima, no momento do adensamento já foi possível perceber que a trabalhabilidade dificultaria o processo, ao compactar com a haste o concreto deformava, mas não adensava corretamente, fato que foi refletido no adensamento nas formas retangulares, onde os principais defeitos foram em relação as arestas e chanfros.

Os gráficos 04 e 05 mostram os resultados do slump test de cada traço, o primeiro mostra a queda da trabalhabilidade conforme a adição de resíduo aumenta para o traço com adição de resíduo como agregado miúdo, e o segundo a trabalhabilidade dos traços feitos com substituição do cimento, no caso do traço com filler não houve grandes variações no abatimento, pode-se deduzir que a causa disso se deve ao fato do resíduo apresentar uma granulometria tão fina

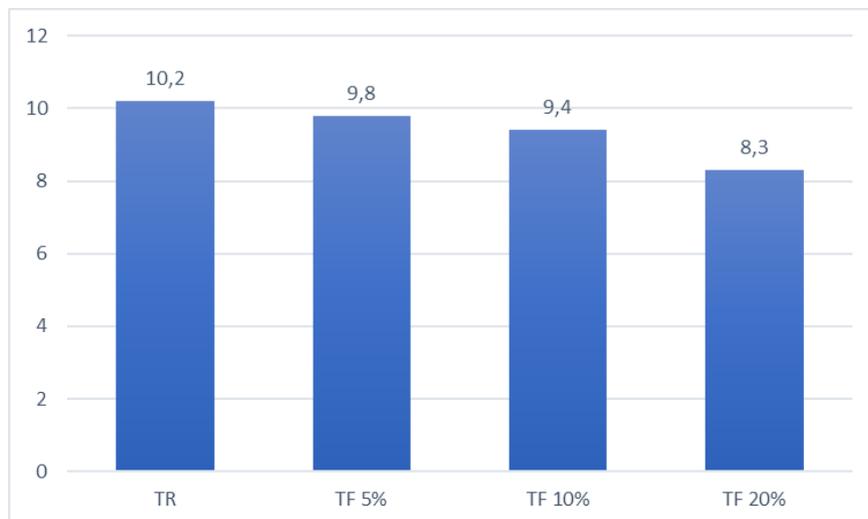
quanto a do cimento e a sua substituição no traço não causa grandes alterações na área específica.

Gráfico 04 – Slump em função do percentual de adição de resíduo como agregado miúdo.



Fonte: Autor.

Gráfico 05 – Slump em função do percentual de adição de resíduo como filler.



Fonte: Autor.

5.3 AVALIAÇÃO DIMENSIONAL

Com relação a avaliação dimensional, todos os traços passaram com exceção do traço T 20%, pois, devido ao acabamento muitas medidas não deram dentro do permitido,

principalmente considerando que esse traço não deu um bom acabamento nem nas arestas e nem nos chanfros, portanto, embora fosse medido nas partes centrais o valor encontrado as vezes estava dentro do limite devido aos defeitos nas peças, no que diz respeito à dimensão da peça o traço T 20% foi reprovado.

Tabela 15 – Avaliação Dimensional traço com substituição do agregado miúdo.

TRAÇO	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	IF	Chanfro (mm)
TR	200	99	58	3,448	4
	202	98	57	3,544	4
	200	100	61	3,279	4
	201	97	60	3,35	3
	201	100	60	3,35	4
	201	98	61	3,295	3
T 5%	199	97	63	3,159	4
	200	99	60	3,333	3
	200	98	60	3,333	4
	200	98	62	3,226	4
	201	100	60	3,35	4
	198	100	61	3,246	4
T 10%	199	100	59	3,373	4
	200	100	60	3,333	3
	202	99	28	7,214	3
	202	100	60	3,367	4
	200	98	60	3,333	4
	200	101	60	3,333	4
T 20%	197	100	60	3,283	-
	197	99	60	3,283	-
	198	97	58	3,414	5
	200	98	54	3,703	-
	197	95	58	3,397	-
	199	100	57	3,491	4

Fonte: Autor.

Tabela 16 – Avaliação Dimensional traço com substituição do cimento.

TRAÇO	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	IF	Chanfro (mm)
TR	198	99	60	3,30	4
	199	100	60	3,32	4

	200	100	60	3,33	4
	200	100	61	3,28	3
	199	98	59	3,37	4
	200	99	58	3,45	3
TF 5%	200	98	60	3,33	4
	199	97	60	3,32	3
	200	100	57	3,51	4
	200	100	61	3,28	4
	202	99	60	3,37	4
	200	99	62	3,23	4
TF 10%	199	99	60	3,32	4
	198	100	60	3,30	3
	200	98	61	3,28	3
	198	100	60	3,30	4
	200	100	60	3,33	4
	200	99	60	3,33	4
TF 20%	202	98	59	3,42	4
	197	98	60	3,28	3
	198	98	59	3,36	4
	200	100	60	3,33	4
	200	99	60	3,33	4
	198	99	61	3,25	3

Fonte: Autor.

5.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

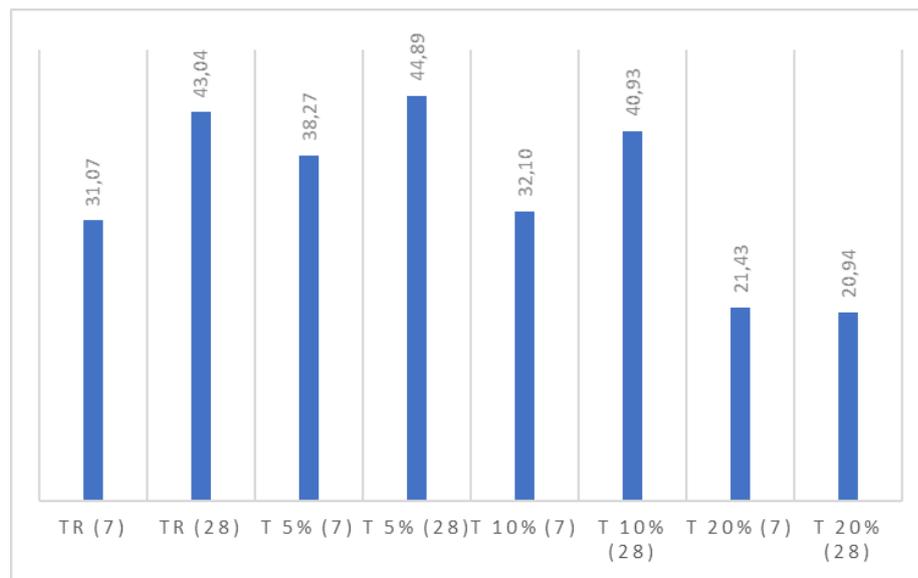
No gráfico 06 seguem os dados de resistência a compressão de 7 e 28 dias para traço com substituição da areia por resíduo de mineração, todos os corpos de prova que foram para o ensaio de resistência a compressão, passaram pela avaliação visual e as peças com os melhores aspectos seguiram para o teste de resistência a compressão, as únicas peças que foram para ruptura e que foram reprovadas na avaliação visual, pertencem ao do traço T 20%. A figura 20, mostra o ensaio de ruptura a compressão dos corpos de prova com as placas auxiliares fabricadas conforme orientação da NBR 9781.

Figura 20 – Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Autor.

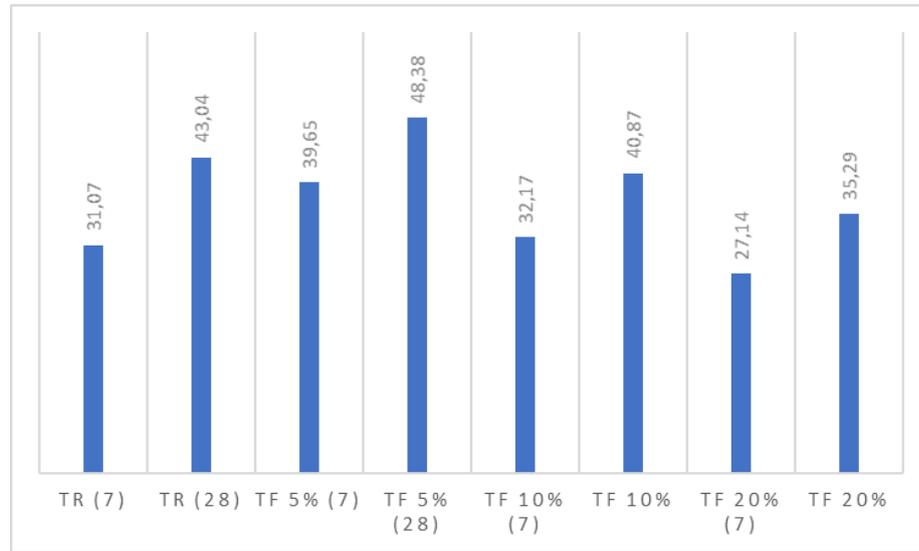
Gráfico 06 – Resistência a compressão 7 e 28 dias traço com substituição do agregado.



Fonte: Autor.

Com relação a resistência a compressão, conforme o gráfico 06, o traço com substituição do agregado atendeu a norma no para os traços T 5% e T 10%, pois ambos os traços atingiram o requisito da norma que pede que a resistência característica seja maior ou igual a 35 Mpa. O traço T 20% apresentou dificuldade para adensar e formou ninho de concretagem, o qual provavelmente foi o motivo da queda na resistência, além disso o mesmo não atendeu a norma no requisito resistência.

Gráfico 07 – Resistência a compressão 7 e 28 dias traço com substituição do cimento.



Fonte: Autor.

Em relação ao traço com substituição como filler, o gráfico 07 mostra que todos os traços atenderam a norma no que diz respeito ao requisito de resistência, mas, o traço TF 5% apresentou um aumento de aproximadamente 12% em relação ao traço de referência, o que pode se deduzir, é a ocorrência do efeito de empacotamento das partículas com preenchimento de vazios fazendo a resistência subir.

5.5 ABSORÇÃO

A absorção é um indicador do nível de porosidade da peça, portanto, quanto menor a porosidade, menor será a quantidade de água que é absorvida e conseqüentemente a resistência poderá ser maior assim como suas características técnicas. (Silva, 2017)

Tabela 17 – Resultados absorção traço com substituição do agregado.

TRAÇO	Idade	CP 1	CP 2	CP 3	Absorção média
TR	28 Dias	4,7%	5,0%	4,9%	4,9%
T 5%	28 Dias	4,4%	4,1%	4,2%	4,2%
T 10%	28 Dias	4,8%	5,2%	5,8%	5,3%
T 20%	28 Dias	7,5%	8,1%	7,8%	7,8%

Fonte: Autor

Os resultados da tabela 17 demonstram que além do traço de referência os traços com T 5% e T 10% também atenderam a norma assim no quesito resistência, mas, traço T 20% não atendeu, pois, a NBR 9781 define que média da absorção não pode ser maior que 6% e nenhum valor individual deve ser maior que 7%.

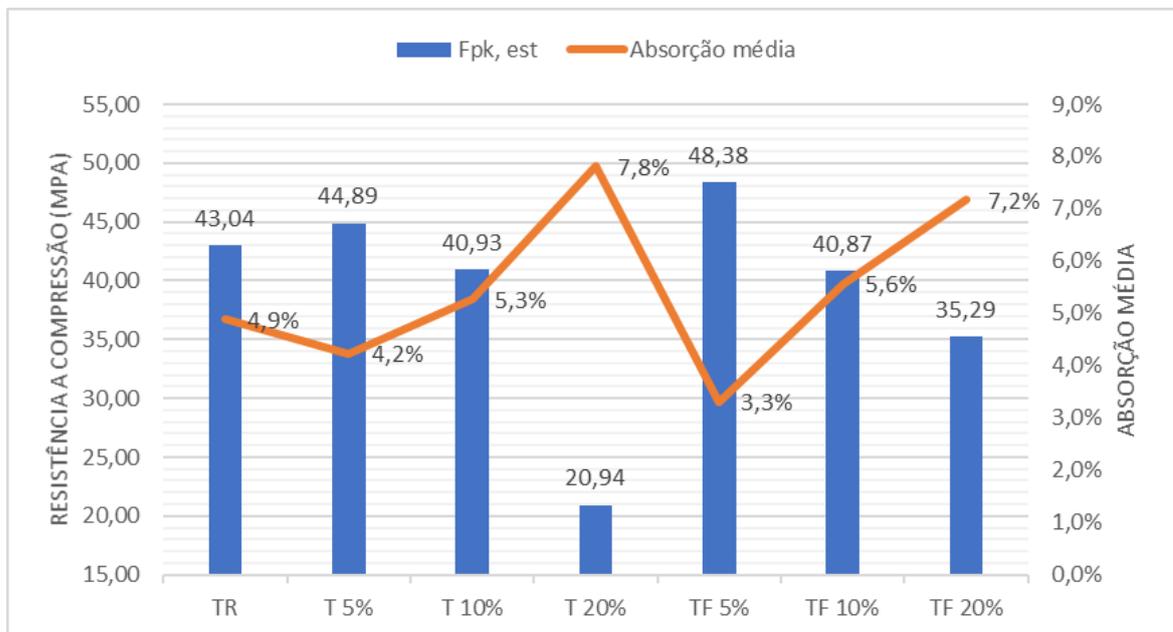
Tabela 18 – Resultados absorção traço com substituição do cimento.

TRAÇO	Idade	CP 1	CP 2	CP 3	Absorção média
TR	28 Dias	4,7%	5,0%	4,9%	4,9%
TF 5%	28 Dias	2,8%	3,9%	3,2%	3,3%
TF 10%	28 Dias	4,8%	6,1%	5,8%	5,6%
TF 20%	28 Dias	6,3%	7,4%	7,8%	7,2%

Fonte: Autor.

Em relação a absorção a tabela 18 mostra que somente os traços TF 5% e TF 10% atenderam a norma, pois, embora o traço TF 20% tenha atendido a norma no que refere a resistência a sua absorção ficou acima 7%. Segue abaixo curva do gráfico 08 associando os resultados de resistência a compressão em relação a absorção.

Gráfico 08 – Resistência em função da absorção.



Fonte: Autor

No gráfico acima é possível ver que de certo modo a absorção se mostrou inversamente proporcional ao ganho de resistência, o que pode indicar que o preenchimento de poros teve uma atuação significativa na resistência a compressão.

6 CONCLUSÃO

A caracterização do material indicou um material de granulometria fina similar a de um filler, que para concreto para pavers tem aplicação de duas formas, como parte do agregado como recomenda o método da ABCP ou como um filler para o cimento que tem um leque de aplicações grande para vários tipos concretos.

Um dos traços não foi aprovado no que se refere a inspeção visual o traço T20%, e uma das prováveis explicações para o acabamento do traço T 20% ter ficado ruim, é o adensamento que deve ter sido dificultado devido ao aumento de finos na mistura e conseqüentemente aumento da área específica o que fez a trabalhabilidade cair. No momento de fazer o teste de abatimento já era possível perceber a dificuldade de adensar o concreto, o abatimento desse traço foi quase 1,7 cm. Embora o adensamento manual não tenha funcionado para este traço, isso não significa que o percentual de 20 % ou uma porcentagem maior que 10% não tenham possibilidade de aplicação para o concreto, pois, conforme (RODRIGUES, 1995) a indústria dos pré-moldados geralmente possui vidro-prensas para produção em larga escala e esse tipo de maquinário talvez seja capaz de adensar e dá um bom acabamento para traços com taxa maior que 10 % de finos.

O traço T 20% também não alcançou a resistência mínima requerida pela norma, fato que provavelmente pode ser explicado devido a formação de ninho de concretagem resultantes da baixa trabalhabilidade do concreto no estado plástico. Ainda referente aos requisitos exigidos pela NBR 9781, tem-se a absorção que ambos os traços T 20% e TF 20% não atenderam. Com a relação ao traço TF 20% é possível observar que embora ele tenha atingido a resistência de 35 Mpa ele ficou bem abaixo do traço de referência com 43,04 Mpa, ao observar o gráfico 08 que relaciona a resistência com a absorção pode-se deduzir que o aumento da porosidade pode ser um dos indicadores que explicam a queda na resistência, além do fato de que o percentual de aglomerante na dosagem diminuiu com a substituição por um filler nesse traço e como esse filler não apresenta indicadores de propriedades pozolânicas a zona de transição do concreto pode ter sido enfraquecida em relação ao traço de referência.

Os traços T 5%, T 10%, TF 5%, TF 10% atenderam os requisitos obrigatórios da NRB 9781:2013, mas, além de atender a norma alguns tiveram um desempenho diferente em relação ao outro em relação as propriedades do concreto. Como se pode observar nos testes de absorção e resistência, a absorção do traço TF 5% e T 5% diminuiu com relação ao traço de referência, a adição do resíduo alinhado com a redução nas porcentagens de absorção e aumento da resistência pode indicar um efeito filler de preenchimento dos poros.

De modo geral, o resíduo mostrou um potencial interessante para o uso no concreto, embora especificamente para produção de pavers a adição como agregado tem o potencial para aproveitar uma quantidade maior de resíduo, pois, para cada porcentagem de ambos os tipos de traço, a substituição do agregado consumiu mais que o dobro de resíduo que o traço com substituição de cimento, além disso, a adição de filler na porção do agregado na dosagem de concreto para pavers é uma prática recomendada pela ABCP, e de uso conhecido pela indústria.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. G. Efeito das adições minerais na resistividade elétrica de concretos convencionais. 126p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

ANDRADE, L. C. R. (2014). Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 96p.

ARISTIMUNHO, Peterson Benites. AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO NA FORMA DE PÓ EM ARGAMASSA, Tese. 2010 3. BRASIL, Ministério do Planejamento. Programa de Aceleração do Crescimento – Balanço 4 anos – 2007- 2010, 2010. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. In: Palestra pavimento intertravado – MKT. 2001. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, CD-ROM, 115 slides, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11768**: Aditivo para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9781/2013** – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM NBR 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2003.

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 NM NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de et al. Minério de ferro. 2014.

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de et al. Sustentabilidade socioambiental da mineração. 2018).

COUTO, ARTHUR FURTADO DA ROSA. ANÁLISE COMPARATIVO ENTRE DOIS CIMENTOS (CPII-Z) e (CPV). **REPOSITÓRIO DE RELATÓRIOS-Engenharia Civil**, n. 2, 2016.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 2003. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio de Janeiro–UFRJ, Rio de Janeiro–RJ.

DA FONSECA, Gustavo Celso. Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica. 2010.

DAL MOLIN, D.C.C. Adições Minerais para Concreto Estrutural. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379.

DAMINELLI, Bruno Luís. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DE ABREU, Ademir Ferreira. Recuperação de finos de barragens no Complexo Paraopeba I. 2012.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Portaria 416, de 3 de setembro de 2012. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração. Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br/aceso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-416-em-03-09-2012-do-diretor-geral-dnpm>>

FIORITI, César Fabiano et al. Paviers de concreto com adição de resíduos da recauchutagem de pneus. **Artigo apresentado para Universidade de São Paulo–USP, PG. Ilha Solteira-SP Disponível em: <http://www.ppper.feis.unesp.br/producao2006/41.pdf>. Acesso em, v. 17, n. 03, 2011.**

FIORITI, Cesar Fabiano. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HALLACK, A. Dimensionamento de pavimentos com revestimento de peças pré-moldadas de concreto para áreas portuárias e industriais. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

JOHN, Vanderley Moacyr. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 963p.

MADRID, G. G. (1999). BT-135. Construção de pavimentos de blocos de concreto, São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 1999.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de et al. Resíduo de cerâmica vermelha e filler calcário em compósito de cimento Portland: efeito no ataque por sulfatos e na reação álcali-silica. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 21, n. 2, p. 282-300, 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (1994). *Concreto: Estrutura, propriedades e materiais*. 1ª edição. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1994.

NEVILLE, Adam M. *Propriedades do Concreto*. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997.

RODRIGUES, P. P. F. BT-103. *Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação*. 2ª edição. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 20p., 1995.

SANTOS, Thaís Guimarães dos. *Reaproveitamento de rejeitos de minério de ferro e ouro com base em uma caracterização tecnológica e geoambiental*. 2018

SILVA, Ana Paula et al. *Fabricação de Pavimentos Intertravados (Pavers) Utilizando Resíduos de Borracha de Pneus Inservíveis e Resíduos da Construção Civil (RCC) Como Agregado Miúdo*. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 565, 2017.

SIMINERAL. *Mineração. Ferro. Ferro-IBRAM*. Disponível em: <<http://simineral.org.br/mineracao/?id=7>> Acesso em: 10 de março de 2019.

SHACKEL, B. (1990). *Design end construction of interlocking concrete block pavements*. First edition. Elsevier, New York and London, 1990.

SMITH, D. R. Grand entrances. *Interlocking Concrete Magazine*, v. 10, n. 2, p. 4, 2003.

VALE S/A. *Recuperação de Barragens de Rejeito; Desafios/Solução aplicada/ Resultados*. Nova Lima: Vale, 2011. 09p. Apresentação em Power Point.

VALE S/A. *Relatório Minas Gerais 2017*. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Documents/relatorio_minas_gerais_2017.pdf> Acesso em: 07 de junho de 2019.