



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

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

Vinicius Correa de Sousa

ESTUDO DE CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Palmas – TO

2018

Vinicius Correa de Sousa

ESTUDO DE CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
CIVIL (RCC) PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS PARA
PAVIMENTAÇÃO

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

Orientador: Prof. Fernando Moreno Suarte Júnior

Palmas – TO

2018

Vinicius Correa de Sousa

ESTUDO DE CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
CIVIL (RCC) PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS PARA
PAVIMENTAÇÃO

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

Orientador: Prof. Fernando Moreno Suarte Júnior.

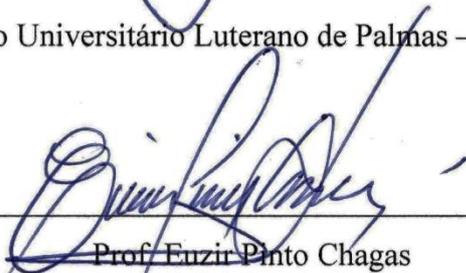
Aprovado em: 04/06/2018

BANCA EXAMINADORA



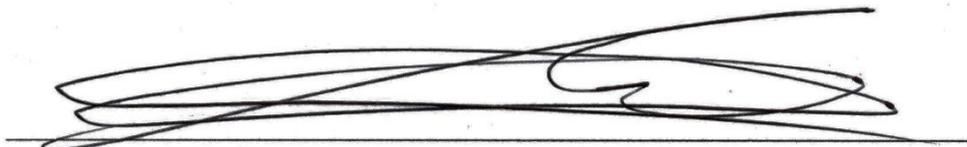
Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Euzir Pinto Chagas

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Murilo de Pádua Marcolini

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e
persistência em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence
obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”
José de Alencar*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me abençoar e iluminar meus caminhos, pois sem ele nada disso seria possível, agradeço aos meus pais Fernando e Claudia pelo incansável esforço para tornar esse sonho uma realidade e pelo apoio em todos os momentos, agradeço também a minha esposa, familiares, amigos e professores por sempre me motivar, inspirar e incentivar a seguir em frente nesse sonho que hoje se torna realidade. Muito obrigado a todos que fizeram parte dessa etapa de minha vida.

RESUMO

SOUSA, Vinicius Correa. **ESTUDO DE CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS PARA PAVIMENTAÇÃO.** Trabalho de Conclusão de curso. 2018/1. Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas – TO. Professor Orientador Especialista Fernando Moreno Suarte Júnior.

O presente trabalho tem como objetivo dimensionar e analisar as características dos blocos de concreto para pavimento intertravado com adições de resíduos de construção civil em diferentes teores, sendo eles 5, 10 e 20% em substituição ao agregado miúdo natural, tendo como objetivo alcançar a resistência à compressão mínima de 35MPa estabelecida pela NBR 9781:2013, garantindo assim uma maior durabilidade das peças, maior segurança para os usuários das vias e um melhor aproveitamento dos resíduos descartados.

Palavras-chave: Pavimento Intertravado; Fabricação dos blocos; Resistência à Compressão; Resíduos de construção.

ABSTRACT

SOUSA, Vinicius Correa. **CONCRETE STUDY WITH USING CIVIL CONSTRUCTION WASTE (RCC) FOR PRODUCTION OF INTERCONNECTED BLOCKS FOR PAVING.** Completion of course work. 2018/1. Course of Civil Engineering. Lutheran University Center of Palmas. Palmas - TO. Assistant Professor Specialist Fernando Moreno Suarte Júnior.

The objective of this work is to analyze and analyze the characteristics of concrete blocks for interlocking pavement with additions of civil construction residues at different levels, being 5, 10 and 20% replacing the natural kid's aggregate, aiming to achieve resistance to the minimum compression of 35MPa established by the NBR 9781: 2013, thus guaranteeing a greater durability of the pieces, greater safety for the users of the roads and a better use of the waste discarded.

Keywords: Interlocked Pavement; Manufacture of blocks; Resistance to Compression; Construction waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estimativa de RCC coletada (t/dia).....	17
Figura 2 - Produção de Concreto	18
Figura 3 - Pavimento flexível	22
Figura 4 – Pavimento rígido	22
Figura 5 - Pavimento intertravado	23
Figura 6 - Estrutura pavimento intertravado.....	23
Figura 7 - Tipos de blocos de concreto para pavimento intertravado.....	24
Figura 8 - Tipos de arranjos para assentamento dos blocos	24
Figura 9 - Chanfro de uma peça de concreto	25
Figura 10 - Aspecto das arestas da peça de concreto.....	26
Figura 11 - Detalhe do ângulo de inclinação da peça de concreto	26
Figura 12 - Espessura necessária da sub-base	28
Figura 13 - : Espessura de base cimentada em função do número “N”.....	29
Figura 14 - Espessura e resistência dos blocos de revestimento	29
Figura 15 - Preparação do subleito	30
Figura 16 - Colocação da contenção lateral.....	31
Figura 17 - Regularização da bica corrida	31
Figura 18 - Compactação da bica corrida	32
Figura 19 - Aplicação da areia de assentamento	32
Figura 20 - Aplicação da camada de revestimento	33
Figura 21 - Compactação inicial.....	33
Figura 22 - Selagem das juntas	34
Figura 23 - Compactação final	34
Figura 24 – Representação esquemática das patologias	35
Figura 25 - Desnível máximo	35
Figura 26 – Aterro de Resíduos Sólidos	38
Figura 27 - Geometria do bloco para pavimentação	42
Figura 28 - Procedimento para conferir o abatimento	43
Figura 29 – Resíduos de construção civil	46
Figura 30 – Trituração dos RCC.....	46
Figura 31 – Moinho de bolas	47
Figura 32 – Materiais para dosagem do concreto	48

Figura 33 – Slump-test.....	49
Figura 34 – Prensa EMIC PC 200	50
Figura 35 – Comparativo resistência à compressão aos 7 dias.....	50
Figura 36 – Comparativo resistência à compressão aos 14 dias.....	51
Figura 37 – Comparativo resistência à compressão aos 28 dias.....	52
Figura 38 – Teor de Absorção	53
Figura 39 – Slump máximo e mínimo	57
Figura 40 – Teor de água e ar	57
Figura 41 – Relação Água/Cimento	58
Figura 42 – Teor de agregado graúdo.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das vias e parâmetros de tráfego	27
Tabela 2 - Resistência característica à compressão	36
Tabela 3 - Critérios para resistência à abrasão	37
Tabela 4 – Quantidade de materiais utilizados para dosagem	48
Tabela 5 – Resistência à compressão aos 7 dias	50
Tabela 6 – Resistência à compressão aos 14 dias	51
Tabela 7 – Resistência à compressão aos 28 dias	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACI	American Concrete Institute
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
NBR	Norma Brasileira
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PPC	Peça Pré-moldada de Concreto
RCC	Resíduo de Construção Civil
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2 HIPÓTESES	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 JUSTIFICATIVA	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 RESÍDUOS.....	16
2.1.1 Classificação	16
2.1.2 Resíduos da construção civil	16
2.2 CONCRETO.....	17
2.2.1 Aglomerante	18
2.2.2 Agregados	19
2.2.3 Aditivos e Adições.....	20
2.2.4 Propriedades físicas do concreto	20
2.3 PAVIMENTAÇÃO	21
2.3.1 Flexível	21
2.3.2 Rígida.....	22
2.4 PAVIMENTO INTERTRAVADO	23
2.4.1 Aspecto dimensional.....	24
2.4.2 Dimensionamento do pavimento.	27
2.4.3 Processo Fabricação	30
2.4.4 Processo Executivo	30
2.4.5 Patologias no pavimento	34
2.4.6 Resistências.....	36
3 METODOLOGIA	38
3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO	38
3.2 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA	38
3.3 DESENHO DO ESTUDO	39
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	39
3.4.1 Caracterização Agregado Miúdo	39

3.4.1.1 Composição Granulométrica	39
3.4.1.2 Massa específica	40
3.4.1.3 Massa unitária	40
3.4.2 Caracterização Agregado Graúdo	41
3.4.2.1 Composição Granulométrica	41
3.4.2.2 Massa específica	41
3.4.2.3 Massa unitária	41
3.5 DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS	42
3.6 ESTUDO DE DOSAGEM	42
3.7 PREPARAÇÃO DO CONCRETO E ENSAIOS	43
3.7.1 Mistura do concreto	43
3.7.2 Abatimento do tronco de cone	43
3.7.3 Moldagem e Cura dos Blocos	44
3.7.4 Absorção de água.....	44
3.7.5 Compressão Axial.....	44
4 RESULTADOS	45
4.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS	45
4.1.1 Agregado Miúdo	45
4.1.1 Agregado Graúdo.....	45
4.2 ESTUDO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC).....	45
4.2.1 Coleta.....	45
4.2.2 Moagem do RCC	46
4.2.3 Propriedades físicas	47
4.3 ESTUDO DA DOSAGEM	47
4.3.1 Traço referência	47
4.3.2 Traço 5% RCC.....	47
4.3.3 Traço 10% RCC	48
4.3.4 Traço 20% RCC.....	48
4.4 PRODUÇÃO DOS BLOCOS.....	48
4.5 RESULTADOS DOS ENSAIOS	49
4.5.1 Resistência à compressão	49
4.5.2 Absorção de água.....	53
4.5.3 Dimensões dos blocos.....	53
5 CONCLUSÃO	54

REFERÊNCIAS	55
APÊNDICES	57
ANEXOS	60

1 INTRODUÇÃO

O cimento e conseqüentemente o concreto são uns dos materiais mais utilizados no mundo, seu uso na construção civil é de grande importância, esse material possui inúmeras aplicações e está empregado em diferentes obras civis, como pontes, edifícios, pavimentos, barragens, contenções, obras de arte, entre outros.

O concreto basicamente é composto por cimento, agregados (areia e brita) e água, que quando misturados assumem o nome de “concreto”. O grande consumo desses materiais ocasiona uma grande exploração dos recursos naturais que são as jazidas de minério, calcário, areia e brita o que causa um impacto ambiental na região da exploração.

Com o grande crescimento da população e a necessidade de aprimorar obras existentes, as construções e demolições são tarefas realizadas diariamente no Brasil e no mundo, existe uma preocupação mundial com os resíduos gerados por essas atividades, órgãos regulamentadores emitem normas e regras para o seu correto descarte. As construções e demolições acabam gerando uma grande quantidade de resíduos, onde são chamados de Resíduos de Construção Civil (RCC), esses resíduos em sua grande parte são denominados inertes, sua reutilização em novas construções é algo possível e já vem sendo aplicado em algumas obras, seja ela na construção de edificações, pavimentos entre outras.

A pavimentação de estradas é uma atividade muito importante para o desenvolvimento de uma região, porém sua matéria prima são materiais naturais cuja a exploração causa grandes impactos. Dentre os tipos de pavimento, existe o pavimento intertravado, cujo seus blocos são constituídos por concreto dosado a fim de se atingir resistências equivalentes a solicitação da via, esses blocos são fabricados em betoneiras, moldados em formas que obedecem as recomendações normativas e colocados em uma vibro prensa para garantir seu correto adensamento. Esse pavimento de caráter flexível oferece características visuais e estruturais, a fim de garantir segurança para o usuário da via.

Em Palmas-TO existe um grande uso de blocos para produção de pavimentos intertravados, visando atender à essa solicitação e o aproveitamento dos resíduos de de construção civil, este trabalho tem o objetivo de dosar o concreto que compõe os blocos utilizados na pavimentação, incorporando RCC em sua composição substituindo as britas (agregado graúdo), visando atingir parâmetros estabelecidos pela NBR 9781:2013, como resistência à compressão mínima de 35MPa, e geometria das peças com dimensões uniformes.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Seria o resíduo de construção um material capaz de ser utilizado no concreto como agregado e desempenhar as propriedades físicas e mecânicas para que o pavimento atinja a resistência a compressão de 35Mpa?

1.2 HIPÓTESES

- O RCC poderá ser incorporado na confecção do concreto, visto que o material apresenta boas características físicas.
- O RCC poderá ser incorporado na confecção do concreto, mas o traço deverá apresentar maior percentual de cimento.
- O RCC poderá ser incorporado na confecção do concreto, mas com altos teores do resíduo o desempenho irá piorar em relação ao concreto convencional.
- O RCC não poderá ser incorporado na confecção do concreto, visto que o material não é homogêneo e não apresenta a pureza necessária para aplicação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Determinar a dosagem do concreto com o uso de resíduos da construção civil, dos blocos para pavimentação, para que se atinja a resistência a compressão de 35MPa determinada pela NBR 9781:2013.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar o resíduo de construção civil “Classe A” conforme CONAMA N° 307/2002, coletando, processando e classificando o material.
- Desenvolver traço de concreto com uso de RCC para resistência de 35MPa.
- Realizar ensaios verificando suas propriedades físicas e mecânicas: resistência à compressão, absorção e dimensão das peças pré-moldadas.
- Comparar os resultados do bloco estudado com o bloco convencional.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os blocos de concreto intertravados para pavimentação são utilizados em grande escala, para confecção de vias de rodagem para automóveis, calçadas e estacionamentos. Os blocos ofertam uma grande vida útil ao pavimento dispensando manutenções periódicas comparada ao pavimento asfáltico, uma de suas características físicas é a resistência a compressão, que garante a integridade do bloco quando solicitado a grandes cargas, assim transmitindo segurança para os usuários na sua utilização.

As cidades e a população estão em constante crescimento, a construção civil é um segmento do mercado que juntamente com a população está em constante crescimento, a construção de novas obras e demolição de antigas, geram uma grande quantidade de resíduos que em sua maioria são descartados em aterros ou em locais irregulares, sem nenhum tipo de reaproveitamento. A grande parte desses materiais descartados da construção são inertes e com boas características para reutilização, um exemplo é a confecção de novos concretos, utilizando-se os RCC como agregado em sua composição.

De acordo com um estudo realizado por CAMARGO (2016), constatou-se que na cidade de Palmas, Tocantins, das 10 empresas analisadas que fabricam blocos intertravados para pavimentação, em nenhuma delas, o material coletado para ensaios de resistência à compressão, apresentou resistência mínima de 35MPa estabelecida pela NBR 9781:2013.

Frente a estes problemas surgiu a necessidade de desenvolver um método para que as demais empresas consigam trabalhar em conformidade com a norma, assim não fornecendo risco aos usuários desses produtos, portanto será desenvolvido um traço de concreto com utilização de agregados de RCC, para que atinja a resistência a compressão de 35MPa, desse modo possibilitando a confecção de um concreto resistente e sustentável, ajudando a preservar as reservas de material utilizados como agregado, e diminuindo o volume desses resíduos de construção descartados na natureza.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESÍDUOS

De acordo com a NBR 10.004:2004 os resíduos podem se encontrar em estado sólido e semi-sólido, e são provenientes de diversos tipos de atividades como industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Esses resíduos são classificados de acordo com suas características físicas e químicas, onde são encontrados desde materiais tóxicos prejudiciais à saúde e ao meio-ambiente, a materiais considerados inertes.

2.1.1 Classificação

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), determina a classificação desses resíduos através da NBR 10.004:2004.

Os resíduos se classificam em:

a) Resíduos Classe I – Perigosos

- Podendo ter características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

b) Resíduos Classe II – Não perigosos

- Resíduos Classe II A – Não inertes

- Podendo ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- Resíduos Classe II B – Inertes

- Materiais que quando submetidos a contato com a água, não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados, a fim de comprometer a potabilidade da água.

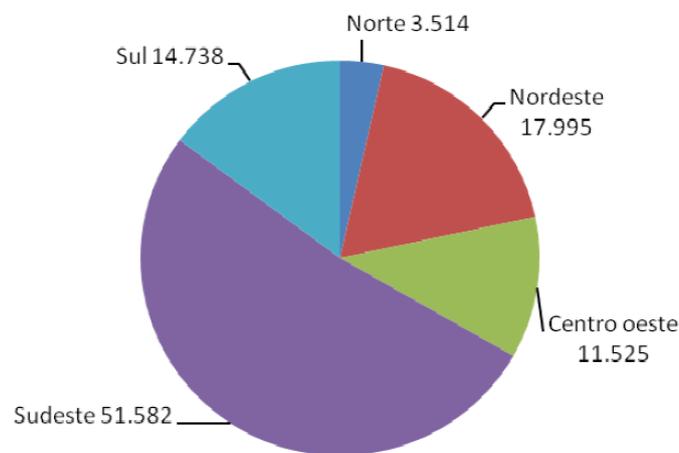
2.1.2 Resíduos da construção civil

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (2011), os resíduos da construção civil (RCC) são aqueles provenientes das construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil. Estima-se que de 50 a 70% dos resíduos sólidos urbanos, são RCC onde sua maioria são materiais semelhantes aos agregados naturais e solos.

A resolução 307 do CONAMA, alterada pela resolução 348/2004, determina que os RCC devem ser gerenciados pelo seu gerador, assim facilitando o trabalho municipal que antes deveria realizar o descarte desse material.

Um estudo realizado pela ABRELPE em 2010 apresenta uma estimativa da quantidade coletada de RCC coletada no Brasil em toneladas por dia, totalizando 99.534 t/dia, conforme Figura 1.

Figura 1 - Estimativa de RCC coletada (t/dia)



Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2011.

2.2 CONCRETO

De acordo com Ambrozewicz (2012), o concreto é basicamente a mistura de cimento, areia, brita e água, onde cada material da mistura é dosado a fim de se obter um material sólido e resistente. O concreto pode ser produzido para infinitas aplicações diferentes, tendo o seu maior uso na construção civil para produção de elementos estruturais como vigas, pilares, lajes, sapatas entre outros.

Ambrozewicz (2012), cita os fatores que influenciam na qualidade do concreto, sendo eles:

- 1) Qualidade dos materiais
Materiais de boa qualidade produzem concreto de boa qualidade.
- 2) Proporcionamento adequado

Deve-se considerar a relação entre as quantidades: de cimento e de agregados, de agregados graúdo e miúdo, água e o cimento.

- 3) Manipulação adequada
Após a mistura, o concreto deve ser transportado, lançado nas fôrmas e adensado corretamente.
- 4) Cálculo estrutural
- 5) Execução das fôrmas
- 6) Execução da armadura
- 7) Concretagem
- 8) Cura cuidadosa

A hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam.

Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto.

Figura 2 - Produção de Concreto



Fonte: il.wp.com; Acesso: 29/10/2017

2.2.1 Aglomerante

Segundo Ambrozewicz (2012) aglomerante é um material ligante que quando entra em reação química possui propriedades físicas de ligação. Neville (1997), cita que o cimento é o aglomerante mais utilizado na construção civil, de forma resumida sua produção vem da trituração de rocha de calcário, que é misturada com minério de ferro e argila, essa mistura passa por aquecimento em fornos de alta temperatura, são adicionados materiais como o gesso para uma melhor aplicação, ao fim do processo obtêm-se o cimento pronto para utilização.

A NBR 9781:2013, determina que o concreto utilizado na fabricação de peças pré-moldadas deve ser constituído de cimento Portland, sendo esse cimento proveniente de qualquer classe.

De acordo com Bauer (2000), o cimento Portland é dividido em diferentes tipos, sendo eles:

- CP I:
É o cimento Portland comum utilizado nos trabalhos gerais de construção, onde nenhuma das características diferenciadoras dos tipos restantes são exigidas e constituem um desenvolvimento natural do cimento fabricado antes de 1936, quando foi introduzida essa classificação.
- CP II:
Frequentemente conhecido como “modificado”, é um cimento com desenvolvimento moderado de calor de hidratação. Foi muito utilizado nas pavimentações antes do desenvolvimento da técnica de incorporação de ar, e recomendado para construções volumosas de porte moderado.
- CP III:
É o cimento de alta resistência inicial, diferindo do CP I pela proporção mais elevada de C_3S e maior finura.
- CP IV:
Pouco utilizado atualmente, é um cimento de calor de hidratação muito baixo, destinado ao emprego em construções volumosas de grande porte. Isso é conseguido pela redução de C_3A e C_3S .
- CP V:
É destinado ao emprego em obras onde a resistência ao ataque às águas sulfatadas é importante. Nesse produto a proporção de C_3A é substancialmente reduzida.

2.2.2 Agregados

De acordo com Petrucci (1975), agregados são materiais inertes, granulares de origem natural ou manipulados, com diversos tamanhos, classificados em grãos e miúdos, são utilizados em diversas áreas da engenharia como na confecção de concretos, lastro de ferrovias entre outros.

Segundo Neville (1997), os agregados são divididos entre grãos e miúdos, essa denominação vem de seu diâmetro que é definido por ensaios de granulometria, onde os materiais passantes na peneira nº 4 com abertura de 4,76mm (3/16”), são definidos como agregados miúdos, já os materiais que ficam retidos nessa mesma peneira são definidos como grãos.

Petrucci (1975), cita as definições importantes dos agregados correntes, que a seguir são dadas:

Filler é o material que passa na peneira n.º 200 (EB-22/72).

Areia é o material encontrado em estado natural, passando na peneira n.º 4 (EB-22/72).

Pedrisco, também chamado areia artificial, é o material obtido por fragmentação de rocha, passando na peneira n.º 4 (EB-22/72).

Seixo rolado é o material encontrado fragmentado na natureza, quer no fundo do leito de rios quer em jazidas, retido na peneira n.º 4 (EB-22/72).

Pedra britada ou simplesmente brita é o material obtido por trituração de rocha retido na peneira n.º 4 (EB-22/72).

2.2.3 Aditivos e Adições

De acordo com Petrucci (1975), aditivos para produção de concreto são materiais que fornecem melhores condições para aplicação do concreto em diferentes tipos de situações. Existem aditivos para ganho de resistência, trabalhabilidade, retardamento de pega, aceleração de pega, diminuição da retração, aumento da durabilidade entre outros.

Neville (1997), cita que os aditivos geralmente são classificados pela função que exercem no concreto mas muitas vezes apresentam mais uma função. A classificação da ASTM C 494-92 é a seguinte:

Tipo A – Plastificantes

Tipo B – Retardadores

Tipo C – Aceleradores

Tipo E – Plastificantes aceleradores

Tipo F – Superplastificantes

Tipo G – Superplastificantes retardadores

2.2.4 Propriedades físicas do concreto

Segundo Petrucci (1975), o concreto é um material que após seu endurecimento completo, que ocorre em torno de 28 dias após de sua confecção, oferta boa resistência aos esforços de compressão, podendo ser dosado para atingir resistências pré-determinadas. Porém não oferta boa resistência aos esforços de tração, que ocorre pelo afastamento de suas partículas, a resistência a tração ofertada é da ordem da décima parte da resistência a compressão, sendo assim descartada essa característica em dimensionamentos. O concreto apresenta diferentes propriedades no estado fresco e endurecido

- Propriedades do concreto fresco:

De acordo com Petrucci (1975), são propriedades do concreto fresco, a consistência, textura, trabalhabilidade, a integridade da massa, o poder de retenção de água e a massa específica.

- Propriedades do concreto endurecido:

De acordo com Petrucci (1975), são propriedades do concreto endurecido, a massa específica em unidade de volume, que varia entre 2.300 e 2.500kg/m³.

Os principais fatores que afetam a resistência mecânica são:

- Relação água/cimento;
- Idade;
- Forma e dimensão dos corpos de prova;
- Velocidade de aplicação da carga de ensaio;
- Duração da carga

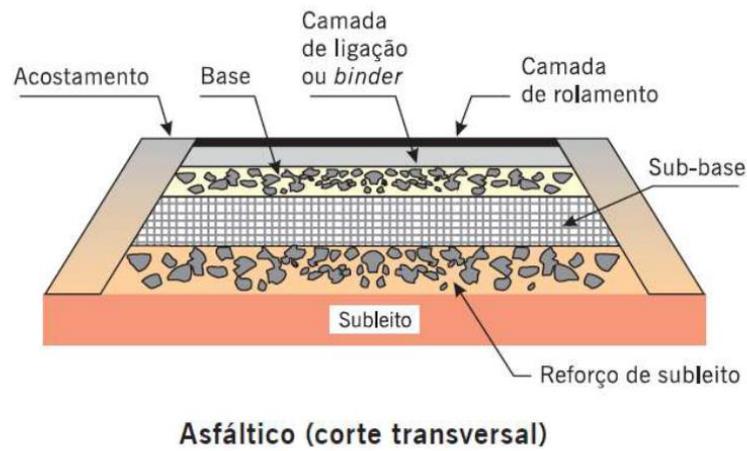
2.3 PAVIMENTAÇÃO

Segundo Senço (1970), o pavimento é composto de camadas, dimensionadas a fim de resistir os esforços transmitidos pelo tráfego de veículos e melhorar as condições de rolamento em sua superfície, fornecendo segurança aos usuários.

2.3.1 Flexível

De acordo com Senço (1970), pavimento flexível são aqueles em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das cias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga.

Figura 3 - Pavimento flexível

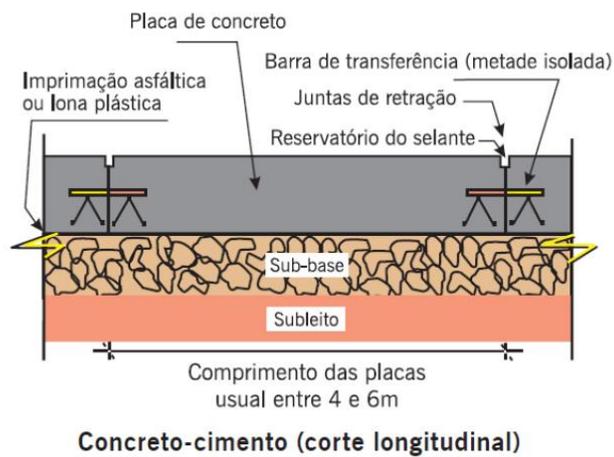


Fonte: sptsondagens.com.br ; Acesso: 29/10/2017

2.3.2 Rígida

Segundo Senço (1970), pavimentos rígidos são aqueles poucos deformáveis, constituído principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações.

Figura 4 – Pavimento rígido



Fonte: quemmandoufazerengenharia.files.wordpress.com ; Acesso: 29/10/2017

2.4 PAVIMENTO INTERTRAVADO

De acordo com a NBR 9781:2013, pavimento intertravado é um pavimento flexível cuja a estrutura é composta por sub-base e base, seguida por uma camada de revestimento constituída por blocos de concreto colocados lado a lado sob uma camada de assentamento, cuja as juntas entre as peças são preenchidas com areia e o intertravamento do sistema é proporcionado pelas contenções nos limites do pavimento.

Figura 5 - Pavimento intertravado



Fonte: temsustentavel.com.br ; Acesso: 23/10/2017

Figura 6 - Estrutura pavimento intertravado

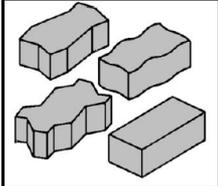
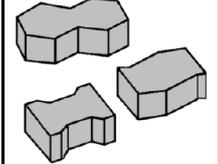
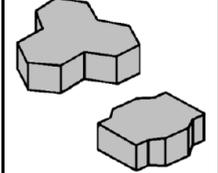


Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010.

2.4.1 Aspecto dimensional

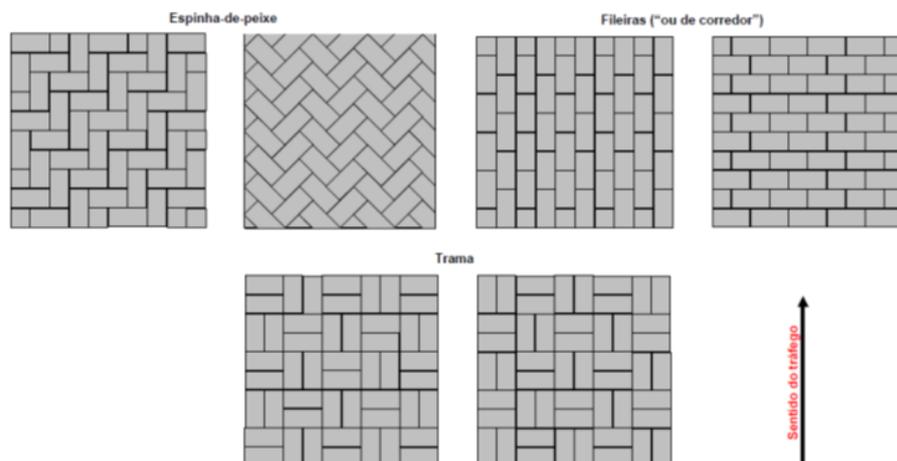
Muller (2005), apresenta diferentes tipos de blocos e arranjos, essas diferenças geométricas partem a princípio de caráter estético, porém estudos mostram que peças segmentadas apresentam melhor comportamento que as de lados retos. As figuras abaixo mostram alguns exemplos de arranjos e tipos de blocos.

Figura 7 - Tipos de blocos de concreto para pavimento intertravado

	<p>A. Peças de concreto segmentadas ou retangulares, com relação comprimento / largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura), que entrelaçam entre si nos quatro lados, capazes de serem assentadas em fileiras ou em “espinha-de-peixe” e podem ser carregados facilmente com apenas uma mão.</p>
	<p>B. Peças de concreto com tamanhos e proporções similares aos da categoria A, mas que entrelaçam entre si somente em dois lados, e que só podem ser assentadas em fileiras. Podem ser carregados com apenas uma mão e genericamente têm o formato em “I”.</p>
	<p>C. Peças de concreto com tamanhos maiores do que as anteriores, que pelo seu peso e tamanho não podem ser carregados com apenas uma mão, com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triédros etc.), assentadas seguindo-se sempre um mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.</p>

Fonte: Muller, 2005.

Figura 8 - Tipos de arranjos para assentamento dos blocos



Fonte: Muller, 2005.

Segundo a NBR 9781:2013 os blocos para pavimentação intertravada devem seguir alguns parâmetros dimensionais, apresentando diferentes tipos, são eles:

- Tipo I: Peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe.
- Tipo II: Peças de concreto com formato único, diferente do retangular e que só podem ser assentadas em fileiras.
- Tipo III: Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc., com pesos superiores a 4 kg.
- Tipo IV: Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

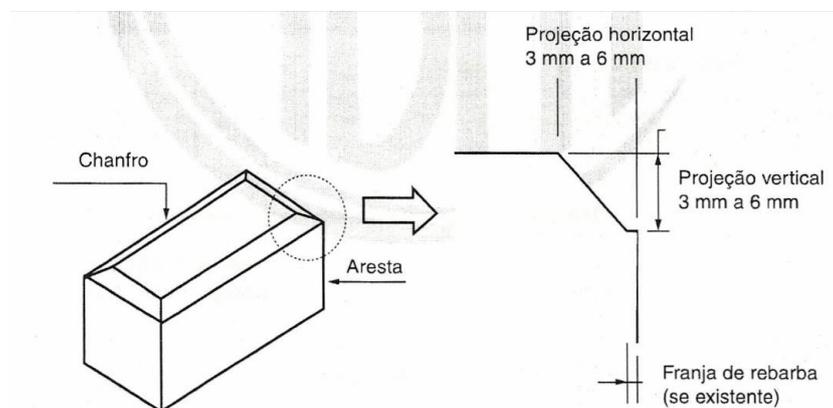
A norma NBR 9781:2013 também determina as dimensões e tolerâncias que as peças de concreto devem atender, sendo eles:

- a) Medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm;
- b) Medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão;
- c) Medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm;
- d) Tolerâncias dimensionais de ± 3 mm no comprimento, largura e espessura;
- e) O índice de forma (IF) para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4.

Os aspectos gerais das peças pré-moldadas de concreto destinadas a pavimentação, devem seguir parâmetros estabelecidos pela NBR 9781:2013, onde são definidos parâmetros para chanfros, arestas e ângulo de inclinação.

- Chanfro:
Nas peças de concreto chanfradas, o chanfro deve apresentar, tanto na projeção horizontal como na projeção vertical, no mínimo 3 mm e no máximo 6 mm, conforme a Figura 9.

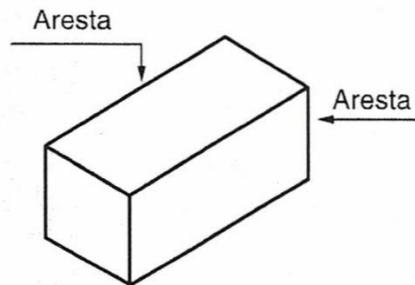
Figura 9 - Chanfro de uma peça de concreto



Fonte: NBR 9781:2013

- Arestas:
As peças de concreto devem apresentar arestas regulares nas paredes laterais e nas faces superior e inferior, como representado na Figura 10.

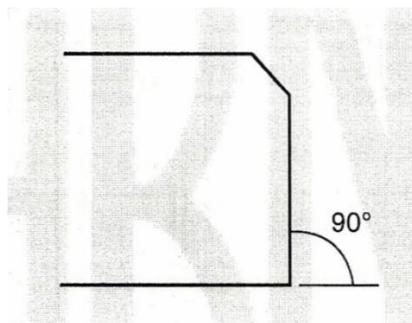
Figura 10 - Aspecto das arestas da peça de concreto



Fonte: NBR 9781:2013

- Ângulo de inclinação
O ângulo de inclinação das peças de concreto deve ser igual a 90° . O ângulo das peças deve ser avaliado comesquadro, devendo a peça ser apoiada em uma superfície plana, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Detalhe do ângulo de inclinação da peça de concreto



Fonte: NBR 9781:2013

2.4.2 Dimensionamento do pavimento.

De acordo com Maciel (2007), o dimensionamento de pavimentos intertravados depende de sua utilização e intensidade do fluxo de veículos, o número “N” é um parâmetro que representa a solicitação que o pavimento terá ao longo de sua vida útil, esse parâmetro é fundamental no dimensionamento de pavimentos. A tabela 1 mostra os parâmetros para o número “N”, de acordo com a utilização do pavimento:

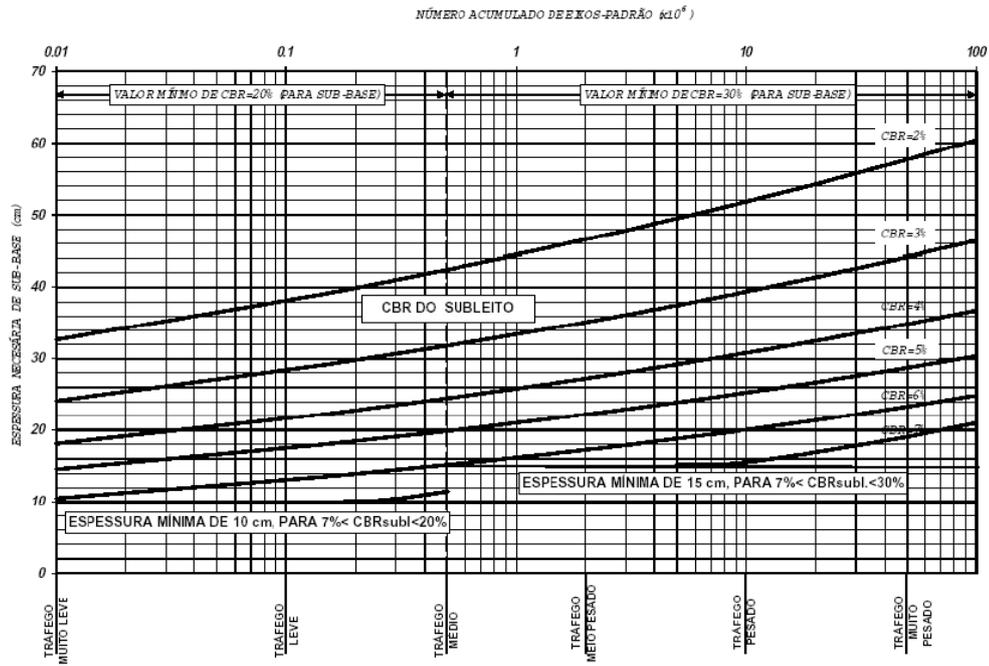
Tabela 1 - Classificação das vias e parâmetros de tráfego

FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETO ANOS	VOLUME INICIAL NA FAIXA MAIS CARREGADA		EQUIVALENTE POR VEÍCULO	N CARACTERÍSTICO
			VEÍCULO LEVE	CAMINHÃO E ÔNIBUS		
Via local residencial com passagem	Leve	10	100 a 400	4 a 20	1,50	10^5
Via coletora secundária	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	5×10^5
Via coletora principal	Meio Pesado	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	2×10^6
Via arterial	Pesado	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	2×10^7
Via arterial principal ou expressa	Muito Pesado	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	5×10^7
Faixa Exclusiva de ônibus	Volume Médio	12	-	< 500		10^7
	Volume Elevado	12	-	> 500		5×10^7

Fonte: Prefeitura Município de São Paulo, 2007.

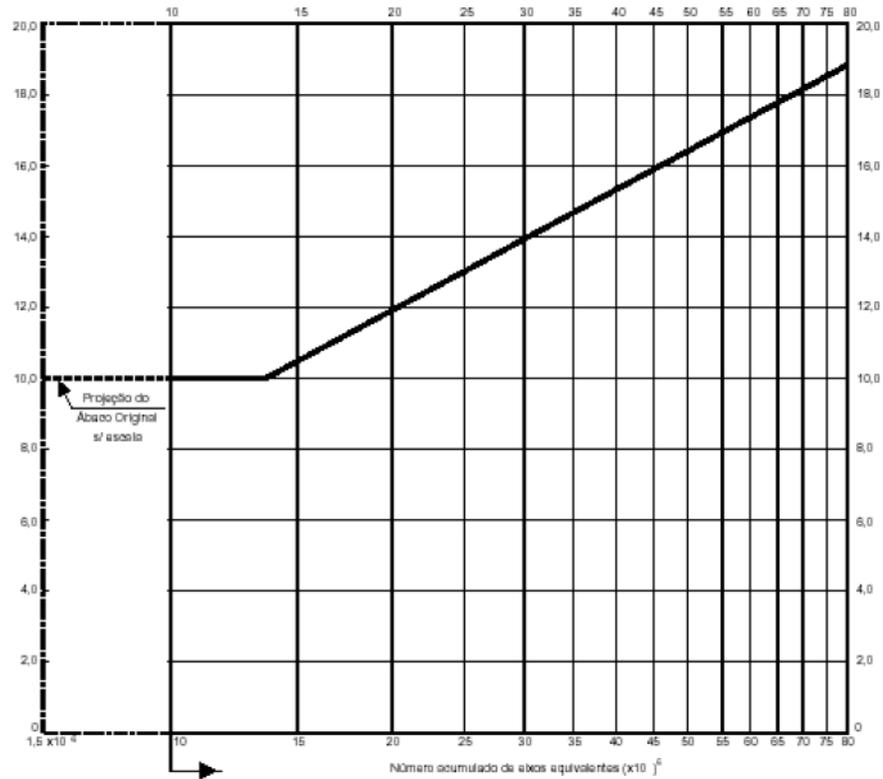
As figuras 12,13 e 14 abaixo mostram a espessura de sub-base, base e espessura do bloco em relação ao número “N”, respectivamente. Para número “N” inferior a 5×10^5 , é dispensado o uso da base.

Figura 12 - Espessura necessária da sub-base



Fonte: Maciel, 2007.

Figura 13 - : Espessura de base cimentada em função do número “N”



Fonte: Maciel, 2007.

Figura 14 - Espessura e resistência dos blocos de revestimento

TRÁFEGO	ESPESSURA REVESTIMENTO	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N > 10^7$	10,0 cm	50 MPa

Fonte: Maciel, 2007.

2.4.3 Processo Fabricação

Segundo o Manual Técnico de Piso Intertravado de Concreto (2010), as etapas para fabricação dos blocos são as seguintes:

- Dosagem do concreto: Os agregados, aglomerante, água e o aditivo são dosados em peso em proporções previamente definidas, de acordo com o traço já definido.
- Mistura: Toda a matéria-prima é transferida para o misturador para ser homogeneizada e transformada em concreto.
- Moldagem: É a etapa de vibro-prensagem do produto. Do misturador, o concreto segue para alimentação da máquina, onde ocorrerá a prensagem e a vibração, que devem ser realizadas com grande energia de compactação.
- Cura: Após a moldagem, as peças seguem para as câmaras de cura totalmente estanques, ambientes com temperatura controladas. As peças devem permanecer nestas câmaras pelo tempo necessário para garantir a maior hidratação do cimento.
- Estocagem: Depois da retirada das peças das câmaras de cura, estas são dispostas em paletes de madeira e marcadas quanto ao lote de identificação.

2.4.4 Processo Executivo

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2010), as etapas para execução do pavimento intertravado são as seguintes:

- A) Preparação do subleito: Deve ser analisado a condição do solo para aplicação do pavimento, o solo não pode conter calombos ou buracos, não deve ser expansível, deve conter a superfície lisa e com caimento da água de no mínimo 2%.

Figura 15 - Preparação do subleito



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010.

- B) Contenção lateral: As contenções laterais podem ser externas ou internas ao pavimento, como meio fios, sarjetas, bocas de lobo, canaletas entre outros. Devem apresentar resistência à compressão simples de no mínimo 25MPa para que suporte a estrutura.

Figura 16 - Colocação da contenção lateral



Fonte: rhinopisos.com.br Acesso: 24/10/2017.

- C) Preparação da base: Para preparação da base é comum a utilização de bica corrida, onde deve ser bem regularizada na superfície e compactada.

Figura 17 - Regularização da bica corrida



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010.

Figura 18 - Compactação da bica corrida



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010.

- D) Camada de areia de assentamento: Essa camada de areia servirá para o assentamento dos blocos de concreto, deve ser uma areia média, limpa e seca e sua espessura deve ser uniforme e constante, assim sendo feito uma regularização na camada.

Figura 19 - Aplicação da areia de assentamento



Fonte: materialidade.com.br ; Acesso: 24/10/2017.

- E) Camada de Revestimento: A camada de revestimento deve ser dividida em fiadas, sendo a primeira fiada, referência para as demais fiadas. Portanto para aplicação da primeira fiada deve-se observar o alinhamento dos blocos e seus espaçamentos onde posteriormente será aplicado as juntas.

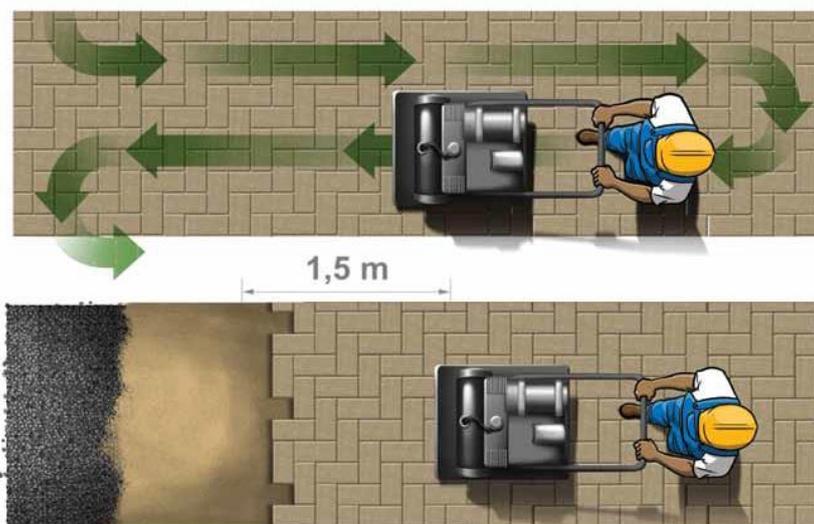
Figura 20 - Aplicação da camada de revestimento



Fonte: curtajoinville.com.br Acesso: 24/10/2017.

- F) Compactação inicial: A compactação é realizada com placas vibratórias, que tem o objetivo de nivelar a superfície da camada com os blocos, compactar a camada de areia de assentamento, permitindo que preencha parte das juntas de baixo para cima.

Figura 21 - Compactação inicial



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010.

- G) Selagem das juntas e compactação final: Após a primeira compactação, é lançado sobre o pavimento uma camada de areia a fim de preencher as juntas de cima para

baixo, completando o intertravamento. Após o lançamento da camada de areia é feito a compactação final com as placas vibratórias.

Figura 22 - Selagem das juntas



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010.

Figura 23 - Compactação final

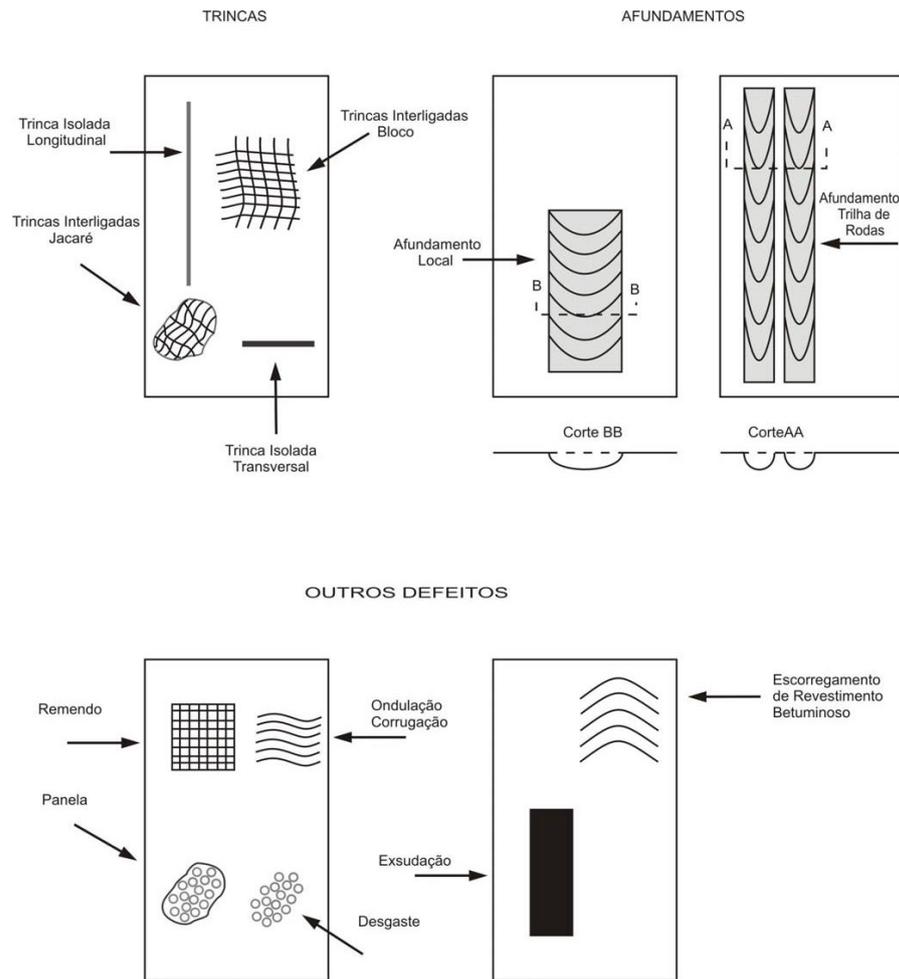


Fonte: pedreiro.com.br Acesso:24/10/2017.

2.4.5 Patologias no pavimento

De acordo com a norma 005 do DNIT (2003), as patologias do pavimento flexível podem ser analisadas visualmente, podendo caracterizar diferentes tipos de patologias como as representadas na figura 24.

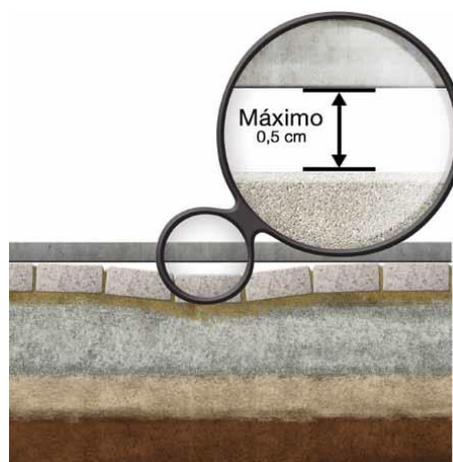
Figura 24 – Representação esquemática das patologias



Fonte: DNIT, 2003.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2010), apresenta o desnível máximo aceitável de 0,5cm entre peças de concreto para pavimento intertravado.

Figura 25 - Desnível máximo



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010.

2.4.6 Resistências

Segundo a NBR 9781:2013, as peças de concreto para pavimentação intertravada devem apresentar resistências à compressão, absorção de água, resistência à abrasão e inspeção visual pré-definidas.

- Resistência à compressão:
A resistência característica à compressão da peça deve atender às especificações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência características à compressão (<i>f_{pk}</i>) 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 9781:2013

Os lotes de peças de concreto entregues ao cliente com idade inferior a 28 dias devem apresentar no mínimo 80% do *f_{pk}* especificado na Tabela 1, no momento de sua instalação, sendo que aos 28 dias ou mais idade de cura, o *f_{pk}* deve ser igual ou superior especificado na Tabela 1.

- Absorção de água:
A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior que 7%.
- Resistência à abrasão:
A determinação da resistência à abrasão da amostra é facultativa. Quando especificada, deve atender às especificações da Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para resistência à abrasão

Solicitação	Cavidade máxima mm
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≤ 23
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≤ 20

Fonte: NBR 9781:2013

- Inspeção visual:
As peças de concreto constituintes do lote devem ser inspecionadas visualmente, objetivando a identificação de peças com defeitos que possam vir a prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética do pavimento.
As peças de concreto devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos e devem ser livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação, devendo atender aos aspectos gerais.
Pequenas variações de coloração nas peças em virtude do processo de fabricação e da variação das matérias prima são admitidas. O padrão de cor dos lotes deve ser acordado previamente entre fornecedor e cliente.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

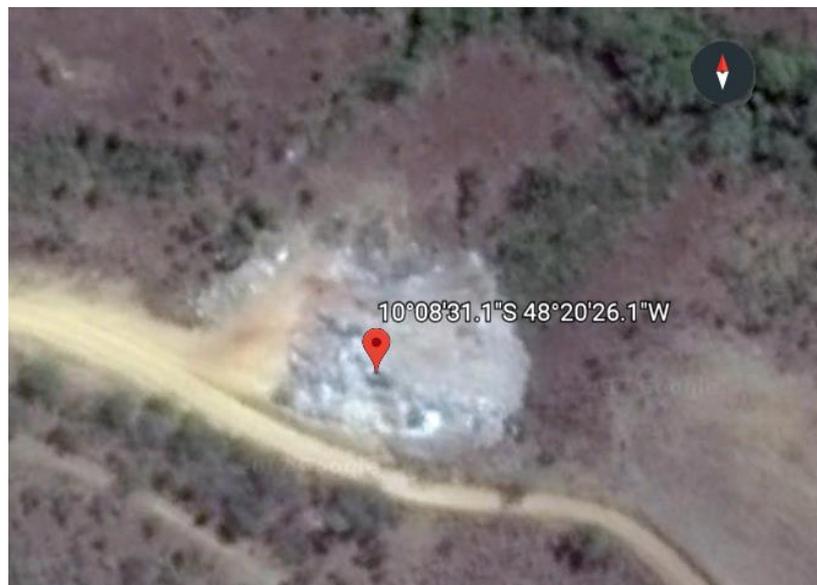
O presente trabalho trata-se de uma pesquisa experimental, de caráter qualitativo e quantitativo, que tem como finalidade estudar a confecção de concreto para PPC (Peça Pré-moldada de Concreto), determinando o seu traço através do método ACI (American Concrete Institute).

3.2 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho foi realizado nas seguintes etapas, a primeira foi a obtenção e coleta dos materiais para confecção do concreto com incorporação de RCC, a segunda a realização de ensaios de granulometria, massa específica, massa unitária e módulo de finura, a terceira etapa a determinação do traço através do método ACI, a quarta etapa a confecção e moldagem do concreto, a quinta etapa os ensaios no concreto endurecido, sendo resistência à compressão pelo rompimento dos blocos “pavers”, determinação da absorção de água e conferência das dimensões, a sexta e última etapa foi a análise dos resultados obtidos.

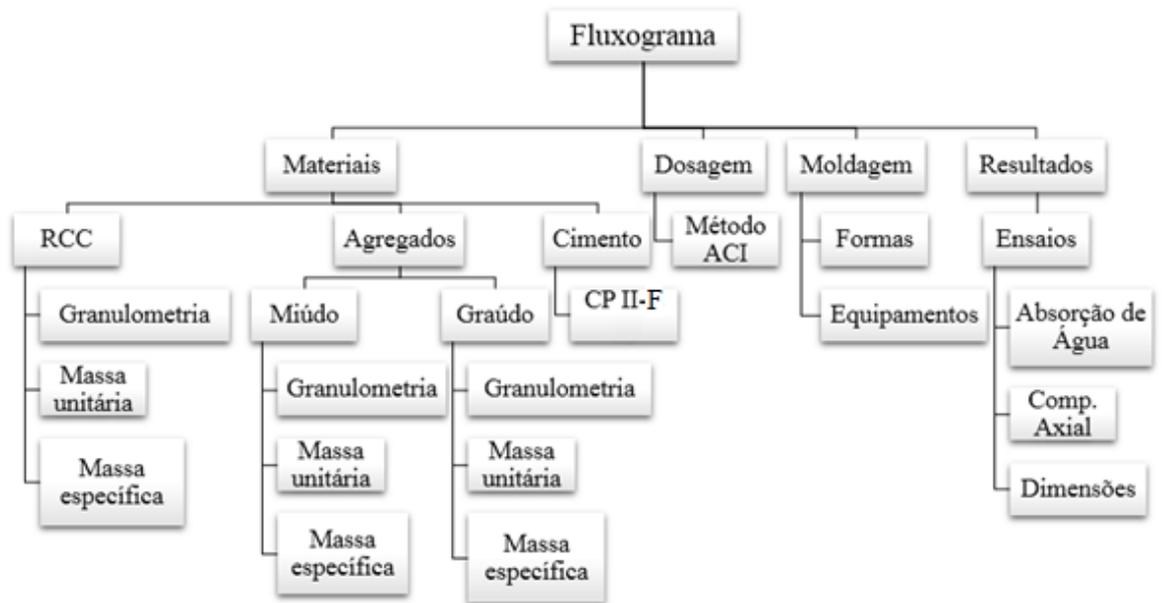
A pesquisa foi realizada no laboratório de engenharia do CEULP/ULBRA no primeiro semestre de 2018, a coleta dos RCC foi realizada em um aterro de resíduos sólidos localizado na região norte de Palmas, TO. Coordenadas do aterro: $10^{\circ}08'31.1''\text{S}$; $48^{\circ}20'26.1''\text{W}$.

Figura 26 – Aterro de Resíduos Sólidos



Fonte: Google Earth, Acesso: 29/10/2017

3.3 DESENHO DO ESTUDO



3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para elaboração de um concreto de qualidade é necessário ter um rigoroso controle das características dos materiais, tendo isso como um objetivo foi realizado ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária, nos agregados inseridos na composição do concreto.

3.4.1 Caracterização Agregado Miúdo

3.4.1.1 Composição Granulométrica

A composição granulométrica foi realizada conforme a NBR NM 248:2003, que consiste em separar o material através de peneiras determinadas na NBR NM ISO 3310-1 :2011, e pesar os materiais retidos em cada uma. Após a pesagem faz-se a soma das porcentagens das parcelas retidas e divide por 100 e chega-se ao módulo de finura, conforme equação abaixo:

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\sum(\% \text{ média retida acumulada})}{100}$$

(A)

3.4.1.2 Massa específica

O ensaio de massa específica foi realizada conforme a NBR NM 52:2009, que consiste em determinar a massa de material por unidade de volume, onde foram ensaiadas amostras secas e saturadas chegando na determinação final da massa específica através da seguinte equação:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}}$$

(B)

Onde:

d_3 , é a massa específica do agregado, em gramas por centímetros cúbicos;

m , é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

V , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a , é o volume de água adicionado ao frasco, em centímetros cúbicos;

m_s , é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

ρ_a , é a massa específica da água, em gramas por centímetros cúbicos;

3.4.1.3 Massa unitária

O ensaio de massa unitária foi realizado conforme a NBR NM 45:2006, utilizando-se o “método C” indicado para material solto, o procedimento consiste em coletar a massa do recipiente vazio e sua massa com o material ocupando todo o seu volume. A massa unitária é determinada pela seguinte equação:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

(C)

Onde:

ρ_{ap} , é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} , é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r , é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V , é o volume do recipiente, em metros cúbicos;

3.4.2 Caracterização Agregado Graúdo

3.4.2.1 Composição Granulométrica

A composição granulométrica foi realizada conforme a NBR NM 248:2003, que consiste em separar o material através de peneiras determinadas na NBR NM ISO 3310-1 :2011, e pesar os materiais retidos em cada uma. Assim como no agregado miúdo.

3.4.2.2 Massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado conforme a NBR NM 53 2ªed. :2009, que consiste em determinar a massa de material por unidade de volume, onde foram ensaiadas amostras secas e saturadas chegando na determinação final da massa específica através da seguinte fórmula:

$$d_p = \frac{1}{\frac{P_1}{d_1} + \frac{P_2}{d_2} + \dots + \frac{P_n}{d_n}}$$

(D)

Onde:

d_p , é a massa específica média, em gramas por centímetro cúbico;

P_1, P_2, \dots, P_n , são as porcentagens em massa de cada fração, presentes na amostra original;

d_1, d_2, \dots, d_n , são os valores de massa específica de cada fração;

3.4.2.3 Massa unitária

O ensaio de massa unitária foi realizado conforme a NBR NM 45:2006, utilizando-se o “método C” indicado para material solto, o procedimento consiste em coletar a massa do recipiente vazio e sua massa com o material ocupando todo o seu volume, assim como no agregado miúdo. A massa unitária é determinada pela seguinte equação:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

(E)

Onde:

ρ_{ap} , é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} , é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

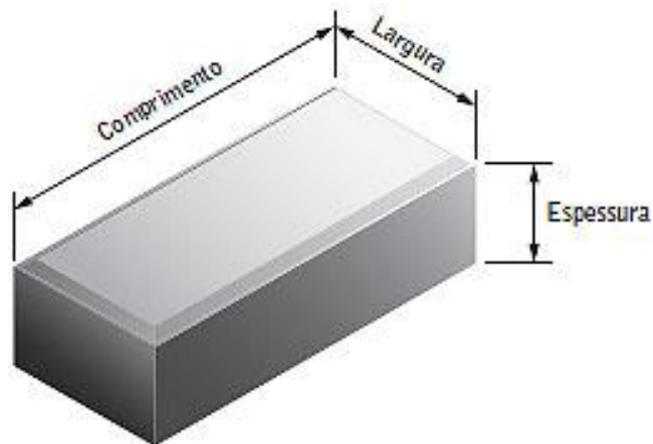
m_r , é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V , é o volume do recipiente, em metros cúbicos;

3.5 DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS

O dimensionamento dos blocos seguiu os parâmetros da NBR 9781:2013, que determina regras para a geometria da peça. Com a finalidade de se obter a resistência mínima estabelecida de 35MPa, o número “N” adotado será inferior a 5×10^5 , estabelecendo uma espessura mínima de 6cm, com 10cm de largura por 20cm de comprimento conforme disponibilidade das formas. Foram moldados 36 blocos sendo 27 para o concreto com RCC e 9 para o concreto convencional.

Figura 27 - Geometria do bloco para pavimentação



Fonte: equipedeobra.pini.com.br ; Acesso: 28/10/2017

3.6 ESTUDO DE DOSAGEM

O método de dosagem ACI (American Concrete Institute) permite obter o traço ideal de concreto para o f_{ck} desejado, através de 7 passos. Para utilização do método foi definido as características a seguir:

$$F_{ck} = 35\text{MPa}$$

$$S_d = 4,0\text{ MPa}$$

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot S_d$$

(F)

Onde:

F_{ck} é a resistência à compressão desejada, 35MPa conforme NBR 9781:2013;

S_d é o desvio padrão adotado de acordo com o controle do ensaio, 4,0MPa controle rigoroso;

3.7 PREPARAÇÃO DO CONCRETO E ENSAIOS

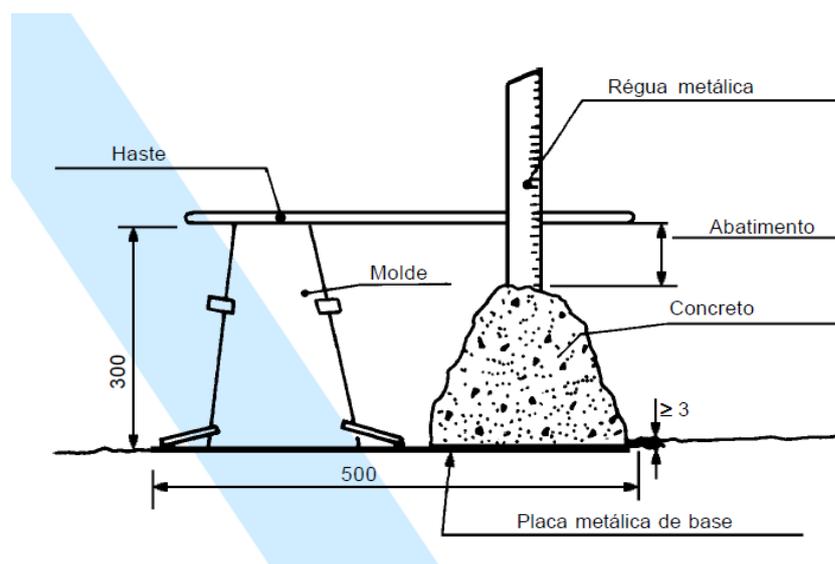
3.7.1 Mistura do concreto

A mistura do concreto foi realizada conforme a NBR 12655:2015, que determina os procedimentos a serem realizados para a mistura do concreto.

3.7.2 Abatimento do tronco de cone

A NBR NM 67:1998, determina os procedimentos para realização do ensaio de abatimento do tronco de cone, a fim de conferir o *Slump* definido através do método de dosagem.

Figura 28 - Procedimento para conferir o abatimento



Fonte: NBR NM 67:1998

3.7.3 Moldagem e Cura dos Blocos

A moldagem e a cura dos blocos foi realizada de acordo com a NBR 9781:2013 juntamente com NBR 5738:2015, onde é especificado a geometria dos moldes para realização de ensaios, e as recomendações do ambiente para uma correta cura do concreto, respectivamente. A cura foi por aspersão, garantindo uma cura mais eficiente e uniforme entre as amostras.

3.7.4 Absorção de água

Os ensaios de absorção de água foram realizados conforme a NBR 9781:2013, onde é determinado o método de aplicação do ensaio os matérias e equipamentos para sua correta realização. A absorção de água foi calculada através da seguinte equação:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (G)$$

Onde:

A é absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g);

3.7.5 Compressão Axial

Os ensaios de compressão axial foram realizados com 7, 14 e 28 dias após a confecção do concreto, utilizando-se 3 blocos em cada rompimento, conforme a NBR 12118:2013, onde é determinado o método de aplicação os matérias e equipamentos para realização do ensaio.

4 RESULTADOS

4.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS

As propriedades físicas dos agregados foram obtidas através de ensaios realizados em laboratório de acordo com as normas vigentes.

Descrição	Massa Unitária (kg/m ³)			Massa Específica (kg/m ³)			Mod. Finura	Diam Max
	E1	E2	Média	E1	E2	Média		
Ag. Miúdo	1586	1588	1587	2660	2670	2665	2,23	4,8
Ag. Graúdo	1422	1425	1423,5	2630	2640	2635	6,06	12,5

4.1.1 Agregado Miúdo

Massa unitária: 1587 kg/m³

Massa específica: 2660 kg/m³

Modulo de Finura: 2,23

4.1.1 Agregado Graúdo

Massa unitária: 1423,5 kg/m³

Massa específica: 2630 kg/m³

Diâmetro Máximo: 12,5mm

4.2 ESTUDO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

4.2.1 Coleta

Os resíduos foram coletados no aterro de inertes de forma aleatória, sendo realizado uma triagem coletando apenas os resíduos em concreto ou argamassa de cimento.

Figura 29 – Resíduos de construção civil



Fonte: Autor, 2018.

4.2.2 Moagem do RCC

A moagem dos resíduos foi dividida em duas etapas, sendo a primeira trituração manual com o auxílio de uma marreta a fim de reduzir seu tamanho, devido a limitação de diâmetro do moinho de bolas. Posteriormente foram levados ao moinho de bolas para que fossem reduzidos ao diâmetro máximo de 4,76mm, para serem utilizados em substituição ao agregado miúdo.

Figura 30 – Trituração dos RCC



Fonte: Autor, 2018.

Figura 31 – Moinho de bolas



Fonte: Autor, 2018.

4.2.3 Propriedades físicas

Massa unitária: 1323,2 kg/m³

Massa específica: 2390 kg/m³

4.3 ESTUDO DA DOSAGEM

Foram desenvolvidos 4 traços através do método ACI para a confecção dos blocos, sendo eles o referência sem nenhuma adição, e os traços com 5%, 10% e 20% de adição de RCC, em substituição do agregado miúdo natural.

4.3.1 Traço referência

Traço em massa

1 : 1,3 : 1,62 f a/c= 0,404

4.3.2 Traço 5% RCC

Traço em massa

1 : 1,24 : 0,059 : 1,62 f a/c= 0,404

4.3.3 Traço 10% RCC

Traço em massa

1 : 1,17 : 0,12 : 1,62 f a/c= 0,404

4.3.4 Traço 20% RCC

Traço em massa

1 : 1,04 : 0,23 : 1,62 f a/c= 0,404

Tabela 4 – Quantidade de materiais utilizados para dosagem

Descrição	Insumos (kg)				
	Cimento	Ag. Miúdo	Ag. Graúdo	RCC	Água
Traço Referência	8	10,4	12,93	-	3,23
Traço 5% RCC	8	9,91	12,93	0,47	3,23
Traço 10% RCC	8	9,34	12,93	0,93	3,23
Traço 20% RCC	8	8,31	12,93	1,86	3,23

Fonte: Autor, 2018.

4.4 PRODUÇÃO DOS BLOCOS

O concreto foi confeccionado e os blocos moldados seguindo os parâmetros estabelecidos pela NBR 12655:2015. Os materiais foram separados em massa (kg), respeitando os teores determinados pelo traço.

Figura 32 – Materiais para dosagem do concreto



Fonte: Autor, 2018.

O ensaio de slump-test mostrou que com o aumento do teor de RCC na mistura, o concreto fica menos maleável, prejudicando sua trabalhabilidade, visto que o “slump” medido em centímetros foi diminuindo de acordo com que o traço passava a ter maior concentração de RCC. Isso ocorre devido ao grande teor de materiais finos presentes nos resíduos, esses materiais absorvem à água da dosagem assim deixando o concreto mais seco, com menor trabalhabilidade.

Figura 33 – Slump-test



Fonte: Autor, 2018.

4.5 RESULTADOS DOS ENSAIOS

4.5.1 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência a compressão foram realizados aos 7, 14 e 28 dias após a confecção do concreto, sendo 3 amostras para cada idade, dos 4 traços dosados, totalizando 36 blocos rompidos. Esses ensaios foram realizados com o auxílio de prensa hidráulica, seguindo as recomendações da NBR 12118:2013.

Figura 34 – Prensa EMIC PC 200



Fonte: Autor, 2018.

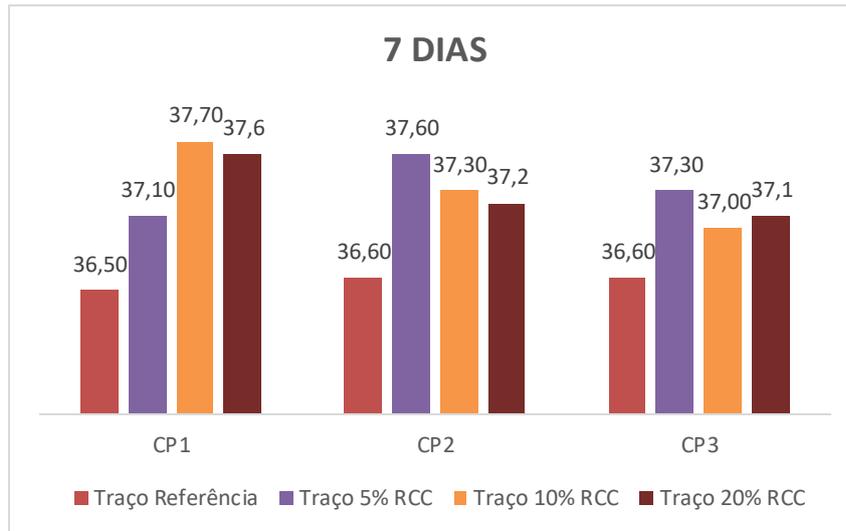
Os resultados dos ensaios de resistência à compressão são apresentados abaixo de acordo com a idade dos blocos.

Tabela 5 – Resistência à compressão aos 7 dias

Descrição	7 dias			Média	δd	Variância
	CP1	CP2	CP3			
Traço Referência	36,50	36,60	36,60	36,57	0,058	0,003
Traço 5% RCC	37,10	37,60	37,30	37,33	0,252	0,063
Traço 10% RCC	37,70	37,30	37,00	37,33	0,351	0,123
Traço 20% RCC	37,6	37,2	37,1	37,30	0,265	0,070

Fonte: Autor, 2018.

Figura 35 – Comparativo resistência à compressão aos 7 dias



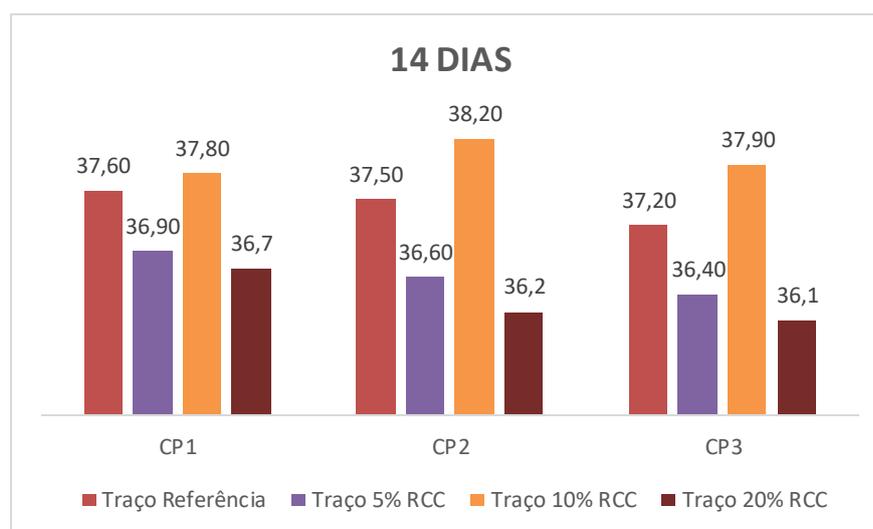
Fonte: Autor, 2018.

Tabela 6 – Resistência à compressão aos 14 dias

Descrição	14 dias			Média	δd	Variância
	CP1	CP2	CP3			
Traço Referência	37,60	37,50	37,20	37,43	0,208	0,043
Traço 5% RCC	36,90	36,60	36,40	36,63	0,252	0,063
Traço 10% RCC	37,80	38,20	37,90	37,97	0,208	0,043
Traço 20% RCC	36,7	36,2	36,1	36,33	0,321	0,103

Fonte: Autor.

Figura 36 – Comparativo resistência à compressão aos 14 dias



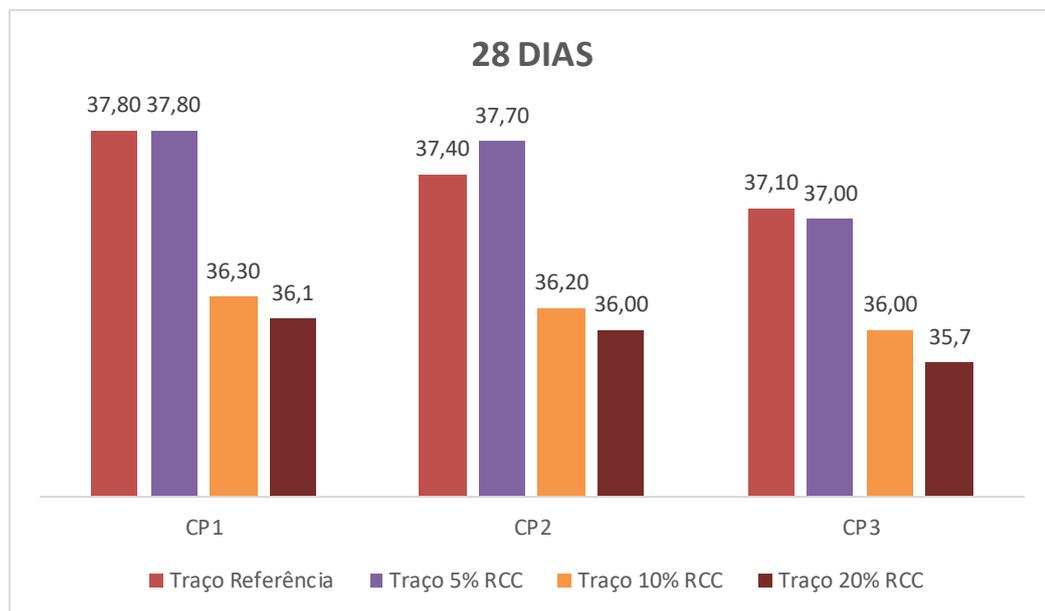
Fonte: Autor, 2018.

Tabela 7 – Resistência à compressão aos 28 dias

Descrição	28 dias			Média	δd	Variância
	CP1	CP2	CP3			
Traço Referência	37,80	37,40	37,10	37,43	0,351	0,123
Traço 5% RCC	37,80	37,70	37,00	37,50	0,436	0,190
Traço 10% RCC	36,30	36,20	36,00	36,17	0,153	0,023
Traço 20% RCC	36,10	36,00	35,70	35,93	0,208	0,043

Fonte: Autor, 2018.

Figura 37 – Comparativo resistência à compressão aos 28 dias



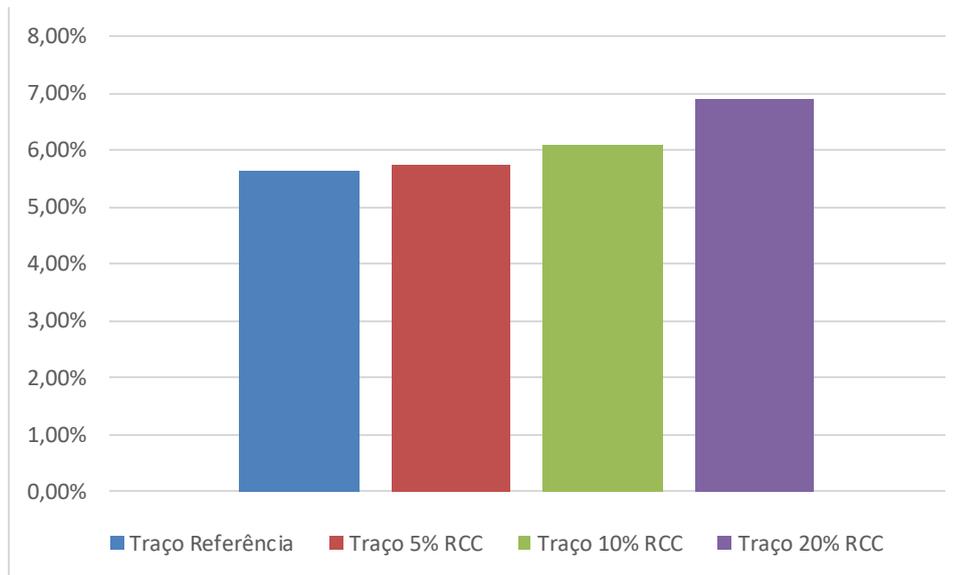
Fonte: Autor, 2018.

Analisando os dados vemos que todas as dosagens atingiram a resistência mínima de 35MPa estabelecida pela NBR 9781:2013. Podemos observar também que os traços com maiores teores de resíduo 10% e 20% apresentaram melhor resistência nas primeiras idades, porém aos 28 dias o concreto referência e com 5% de adição apresentaram maior resistência. Isso decorreu pelo fato de os blocos com maiores teores de resíduos apresentarem maior densidade apresentando maior resistência inicial, porém nas ultimas idades não apresentam grande evolução comparada as primeiras idades. Os blocos moldados apresentaram resultados próximos uns dos outros, ocasionando um baixo desvio padrão e variância, permitindo que todos os dados fossem utilizados para obtenção da média.

4.5.2 Absorção de água

Os resultados de absorção de água nos blocos são apresentados abaixo em porcentagem, observa-se que de acordo com o aumento de RCC no bloco, mais poroso ele fica aumentando seu teor de absorção de água.

Figura 38 – Teor de Absorção



Fonte: Autor, 2018.

4.5.3 Dimensões dos blocos

Os blocos foram moldados em forma plástica e apresentaram dimensões dentro do padrão determinado pela NBR 9781:2013, onde pode-se ter $\pm 3\text{mm}$ na variação do comprimento, largura e altura.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral determinar a dosagem do concreto com o uso de resíduos da construção civil, dos blocos para pavimentação para que fosse possível atingir a resistência à compressão de 35MPa. Entende-se que foram atingidos plenamente todos os objetivos propostos, sendo assim é possível chegar a algumas conclusões sobre os resultados e análises.

O resíduo de construção civil foi estudado, passando pelo processo de coleta, triagem e classificação do material, podendo se obter suas características físicas através de ensaios de laboratório. Os traços de concreto foram desenvolvidos através de métodos conceituados utilizando-se das características físicas dos materiais. Os ensaios mostrarão que com um dimensionamento correto, o concreto atinge as características desejadas, tendo em todas as amostras a resistência à compressão exigida.

A adição dos RCC no concreto apresentou boas características para aplicação no mercado, visto que não interferiram no concreto de forma a prejudicar o seu uso, sua aplicabilidade é comprovada diante os resultados de testes mecânicos, onde seus resultados foram similares ao concreto convencional, houve redução no slump, porém seu uso nos blocos de concreto não exige trabalhabilidade elevada. Fica a proposta para futuros trabalhos, aumentar os teores de substituição acima de 20% até a substituição total, para verificar as características obtidas, e se são aplicáveis ao mercado.

REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo: ABCP, 2010. 36 p.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Execução e Manutenção de Pavimento Intertravado: Pavimento Intertravado com peças de concreto**. São Paulo: ABCP, 2010. 63 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 21 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248: Agregados Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 20 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 52: Agregado miúdo Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 12 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 45: Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 8 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 14 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 29 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 14p.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2012**. ABRELPE. São Paulo, 2012.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção – Normas, Especificações, Aplicações e Ensaio de Laboratório**. São Paulo: PINI, 2012. 459p

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção: Novos materiais para construção civil**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 471 p.

BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2011.

CAMARGO, R. S. **Estudo de Pavimento Intertravado: Propriedades e Patologias dos Blocos em Palmas – TO**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, CEULP/ULBRA, Palmas, 2016. 104p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº307/2002 Diário Oficial da União. Brasília – DF

DNIT 005 – TER: **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: Terminologia**. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. 2003.

DNIT – **Manual de pavimentação**. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2006.

MACIEL, Anderson Brum, **Dossiê Técnico - Pavimentos Intertravados**. RS: SENAI, 2007. 22 p.

MÜLLER; R. M. Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997. 828 p.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13ed. Porto Alegre: Globo, 1975. 307p.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação Vol. 1**. 2 ed. São Paulo: PINI, 2007. 779 p.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação Vol. 2**. São Paulo: PINI, 2001. 688 p.

T & A Blocos e Pisos, **Manual técnico de piso intertravado de concreto**. Fortaleza: T & A Blocos e Pisos, 2004. 46p.

APÊNDICES

Método de dosagem ACI:

1º Determinação do Slump de acordo com o tipo de aplicação do concreto:

Figura 39 – Slump máximo e mínimo

Tipo de construção	Slump (mm)	
	Máximo	Mínimo
Fundações, paredes e sapatas armadas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifícios	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto em grandes volumes	50	25

Fonte: ACI, 2000

2º Determinar tamanho máximo do agregado:

A determinação do diâmetro máximo do agregado deve ser definida de acordo com o uso do concreto.

3º Estimativa do teor de água e ar incorporado:

Figura 40 – Teor de água e ar

Abatimento	Água (L/m ³ de concreto para o ϕ máximo indicado do agregado)							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
Sem ar incorporado								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
Ar aprisionado (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Com ar incorporado								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
Teor recomendável total de ar em função do grau de exposição								
Exposição fraca (%)	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposição moderada (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposição severa (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Fonte: ACI, 2000

4º Estimativa de relação Água/Cimento:

Figura 41 – Relação Água/Cimento

fcj ₂₈ (MPa)	Relação água/cimento		
	Mehta & Monteiro		Ciminas
	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado	
41	0,41	-	0,44
34	0,48	0,40	0,50
28	0,57	0,48	0,58
21	0,68	0,59	0,68
14	0,82	0,74	-

Fonte: ACI, 2000

5º Cálculo do teor de cimento:

O teor de cimento é encontrado através do teor de água encontrado no item 3º em relação ao fator água/cimento encontrado no item 4º.

$$\text{Teor de Cimento} = \frac{\text{Teor de água}}{\text{Fator a/c}}$$

6º Cálculo do teor de agregado graúdo:

Figura 42 – Teor de agregado graúdo

φ _{máximo}	Volume de agregado graúdo / unid. de volume do concreto									
	Módulo de finura da areia									
	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65
38	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81

Fonte: ACI, 2000

7º Cálculo do teor de agregado miúdo:

$$1000 = \frac{M_{cimento}}{M_{especifica}} + \frac{M_{ag\ grau\ do}}{M_{especifica}} + \frac{M_{ag\ mi\ udo}}{M_{especifica}} + M_{\acute{a}gua} + Teor\ de\ Ar$$

Em seguida o traço é determinado dividindo-se todas as quantidades de material encontradas pela quantidade de cimento.

ANEXOS

Dosagem pelo método ACI

TRAÇO REFERÊNCIA

1° Slump, pavimentos e lajes: 75 – 25mm

2° Diâmetro máximo do agregado: 12,5mm

3° Água: 216L/m³ ; Ar aprisionado= 2,5%

4° F_{cj}= 35 + (1,65x4) = 41,6MPa ; F_{a/c}= 0,404

5°

$$\text{Teor de Cimento} = \frac{216}{0,404} = 534,65 \text{kg/m}^3$$

6° Ag. Graúdo= 864,06kg/m³

7° Ag. Miúdo= 694,26kg/m³

Traço em massa

1 : 1,3 : 1,62 f_{a/c}= 0,404

Traço em volume

1 : 1,54 : 1,93 f_{a/c}= 0,404

TRAÇO 5% RCC

Traço referência em volume

1 : 1,54 : 1,93 f_{a/c}= 0,404

Ag. Miúdo: 1,54 – 5% = 1,463

Resíduo: 1,54 – 1,463 = 0,077

1 : 1,463 : 0,077 : 1,93 f_{a/c}= 0,404

Multiplicado pela massa específica e dividido pela quantidade de cimento

Traço em massa

$$1 : 1,24 : 0,059 : 1,62 \text{ f a/c} = 0,404$$

TRAÇO 10% RCC

Traço referência em volume

$$1 : 1,54 : 1,93 \text{ f a/c} = 0,404$$

$$\text{Ag. Miúdo: } 1,54 - 10\% = 1,386$$

$$\text{Resíduo: } 1,54 - 1,386 = 0,154$$

$$1 : 1,386 : 0,154 : 1,93 \text{ f a/c} = 0,404$$

Multiplicado pela massa específica e dividido pela quantidade de cimento

Traço em massa

$$1 : 1,17 : 0,12 : 1,62 \text{ f a/c} = 0,404$$

TRAÇO 20% RCC

Traço referência em volume

$$1 : 1,54 : 1,93 \text{ f a/c} = 0,404$$

$$\text{Ag. Miúdo: } 1,54 - 20\% = 1,232$$

$$\text{Resíduo: } 1,54 - 1,232 = 0,308$$

$$1 : 1,232 : 0,308 : 1,93 \text{ f a/c} = 0,404$$

Multiplicado pela massa específica e dividido pela quantidade de cimento

Traço em massa

$$1 : 1,04 : 0,23 : 1,62 \text{ f a/c} = 0,404$$