

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MIKAELL DENNER OLIVEIRA BRAGA

**ESTUDO DO RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE TINTA
APLICADO NO CONCRETO**

ANÁPOLIS / GO

2018

MIKAELL DENNER OLIVEIRA BRAGA

**ESTUDO DO RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE TINTA
APLICADO NO CONCRETO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

BRAGA, MIKAELL DENNER OLIVEIRA.

Estudo do resíduo da indústria de tinta aplicado no concreto, 2018.

82 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto

2. Tinta

3. Resíduo

4. Sustentabilidade

I. ENC/UNI

II. Estudo do resíduo da indústria de tinta aplicado no concreto

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRAGA, Mikael Denner Oliveira. Estudo do resíduo da indústria de tinta aplicado no concreto. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 82 p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

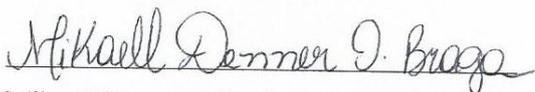
NOME DO AUTOR: Mikael Denner Oliveira Braga

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo do resíduo da indústria de tinta aplicado no concreto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Mikael Denner Oliveira Braga

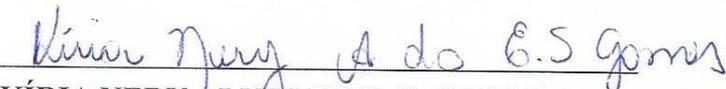
E-mail: mkdobraga@gmail.com

MIKAELL DENNER OLIVEIRA BRAGA

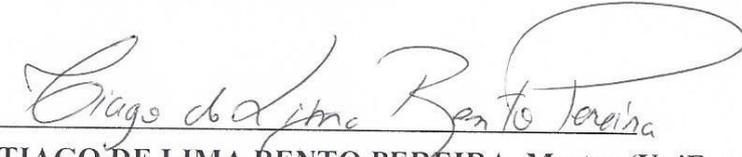
**ESTUDO DO RESÍDUO DE TINTA APLICADO NO
CONCRETO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:


KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)


ANA LÚCIA CARRIJO ADORNO, Doutora (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)


TIAGO DE LIMA BENTO PEREIRA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 11 de MAIO de 2018.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Edvaldo Oliveira Silva e Marcilene da Conceição Vilarino Braga Silva, pelo apoio financeiro e emocional. Especialmente à minha mãe, por estar me incentivando e me ajudando a superar à cada dificuldade.

À minha irmã mais nova, Rebeka Thaynara Vilarino de Oliveira Braga, por sempre confiar e acreditar em mim, me fazendo sentir a pessoa mais inteligente deste mundo.

Aos meus amigos e familiares, que contribuíram para meu crescimento pessoal e por acreditarem em mim.

A duas pessoas muito especiais, David de Souza Vasques e Jéssica Vasconcelos Bartolomeu, que me ajudaram muito, com muita paciência, no desenvolvimento deste trabalho, com dicas, ajudas de formatação. Estas foram as pessoas mais importantes para mim no desenvolvimento deste trabalho.

A minha orientadora, Kíria Nery Alves do Espírito Santo Gomes, que foi a melhor orientadora que eu podia ter, com sua calma, paciência e todo empenho em me ajudar. Graças a ela que muitas vezes eu mantive a calma em momentos críticos.

Ao professor Marcos Francisco Novaes Valentino, que me ajudou na tentativa da caracterização química do resíduo de tinta, se mostrando muito prestativo para mim.

Ao Centro tecnológico da UniEVANGÉLICA e aos técnicos do laboratório, especialmente a Rafaela e ao Héber, que me auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa e dos corpos de prova.

A JRI Max Vinil Tintas, que me ofereceu o resíduo de tinta, e se disponibilizaram a me dar informações sobre as tintas e o resíduo.

RESUMO

A sustentabilidade é um fator de grande importância na atualidade. Empresas buscam agir de forma ecologicamente correta, utilizando leis e normas que definem parâmetros visando a preservação da natureza. Em busca desse equilíbrio ecológico foi criado o conceito dos 3 R's: reduzir, reciclar e reutilizar. Devido a construção civil ser grande consumidor de insumos e gerador de resíduos, é necessário a aplicação destes conceitos nesse meio. Pesquisas acerca deste assunto vem evoluindo com o passar dos anos. A utilização de resíduos, provenientes ou não da construção civil, na produção de concreto vem sendo pesquisada há décadas, procurando quais resíduos possam adaptar-se a este tipo de produção, trazendo resultados positivos nas propriedades do concreto. O propósito deste estudo foi analisar algumas propriedades do concreto com a utilização de resíduo da indústria de tinta em sua composição. O resíduo escolhido foi em função do não aproveitamento do mesmo, sendo apenas despejados em aterros. Desta forma, foram elaborados 7 traços distintos, 1 traço sem a utilização do resíduo e os outros 6, com diferentes formas e porcentagens de utilização do mesmo. Os traços foram definidos em porcentagens de adição e substituição em relação ao peso da areia (5%, 10% e 15%). Foram estudados a trabalhabilidade e compressão à resistência axial, no intuito de analisar se é viável mais pesquisas em relação a concreto com resíduo de tinta. Nos resultados obtidos, a substituição de 5% apresentou resultados satisfatórios nas áreas de estudos aplicadas.

PALAVRAS-CHAVE:

Concreto. Tinta. Resíduo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Sustainability is an important factor. The companies pursue to act ecologically correct by using laws and standards which define patterns aiming the nature's conservation. In pursuit of this ecological balance was created the 3 R's concept: reduce, recycle and reuse. Due to the fact that the civil construction is a big consumer of inputs and a big producer of residues, it's necessary apply these concepts in this environment. Searches about this subject has been evolving over the years. The use of residues, descendant or not from civil construction, in production of concrete has been researched for decades searching which residues could adapt to this type of production, bringing positive results in the properties of concrete. Aiming these results, the purpose of this study was analyze concrete's properties using in the composition residue from paint industry. The residue was chosen due to the non-use of the same, being disposed of in landfills. Thus, were developed 7 types of concrete, 1 without the utilization of the residue and the other 6 with different percentages of the residue. The using of the residue was differentiated by percentages of addition and replacement in relation to the sand mass (5%, 10% e 15%). The study was focused on the workability and the resistance to axial compression in order to analyze the viability of more researches about concrete with paint's residue. In the results obtained, the replacement of 5% presented satisfactory results in the applied areas of the study.

KEYWORDS:

Concrete. Paint. Residue. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faturamento das vendas de tintas no Brasil em 2016.....	19
Figura 2 - Produção de tintas em litros no Brasil em 2016.....	19
Figura 3 - Composição das tintas.....	20
Figura 4 - Composição básica de várias tintas no mercado.....	21
Figura 5 - Processo de fabricação das tintas.....	23
Figura 6 - Aglomeração, dispersão e floculação do pigmento.....	24
Figura 7 - Constituição dos componentes da tinta epóxi.....	26
Figura 8 - Princípio dos 3 R's.....	31
Figura 9 - Medidas para evitar desperdícios de materiais.....	32
Figura 10 - Visão da geração e utilização de resíduos na construção civil.....	38
Figura 11 - Interação dos fatores influentes na resistência do concreto.....	43
Figura 12 - Resistência à compressão dos concretos de substituição de areia pelo resíduo.....	47
Figura 13 - Cinza de casca de arroz após o processo de moagem.....	48
Figura 14 - Resíduo de borracha de pneu.....	49
Figura 15 - Resíduo de garrafa PET.....	49
Figura 16 - Resíduo de corte de granito para aplicação no concreto.....	50
Figura 17 - Reservatório em que é utilizado o sulfato de alumínio.....	52
Figura 18 - Reservatório de decantação.....	53
Figura 19 - Resíduo de tinta na forma pastosa.....	53
Figura 20 - Resíduo de tinta na forma seca.....	53
Figura 21 - Massa retida do resíduo de tinta na peneira de 2,36mm.....	58
Figura 22 - Curva de Abrams.....	60
Figura 23 - Abatimento do primeiro traço do concreto referencial.....	64
Figura 24 - Produção de concreto na betoneira.....	65
Figura 25 - Corpos de prova do concreto com adição de 5%.....	66
Figura 26 - Cura do concreto.....	66
Figura 27 - Abatimento do concreto referencial.....	67
Figura 28 - Abatimento do concreto com adição de 5%.....	68
Figura 29 - Abatimento do concreto com adição de 10%.....	68
Figura 30 - Abatimento do concreto com adição de 15%.....	68
Figura 31 - Abatimento do concreto com substituição de 5%.....	69
Figura 32 - Abatimento do concreto com substituição de 10%.....	69

Figura 33 - Abatimento do concreto com substituição de 15%.....	69
Figura 34 - Concreto com adição de 5% para o rompimento aos 28 dias.....	71
Figura 35 - Corpo de prova rompido aos 28 dias – Traço 10% de adição.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Desenvolvimento históricos dos sistemas não poluentes.....	21
Quadro 2 - Grupos de aditivos conforme o mecanismo de atuação.....	22
Quadro 3 - Principais tintas empregadas na construção civil.....	25
Quadro 4 - Características e gestões dos resíduos sólidos.....	35
Quadro 5 - Materiais de RCD classificados conforme a NBR 15116.....	46

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Ensaio físicos do cimento Portland CP II-F-32 da Ciplan.....	55
Tabela 2 - Resultados da caracterização granulométrica do agregado miúdo.....	56
Tabela 3 - Resultados da caracterização granulométrica do agregado graúdo.....	57
Tabela 4 - Resultados da caracterização granulométrica do resíduo de tinta.....	59
Tabela 5 - Dimensões máximas e mínimas do agregado graúdo.....	61
Tabela 6 - Consumo aproximado de água.....	61
Tabela 7 - Volume compactado seco de brita por metro cúbico de concreto.....	62
Tabela 8 - Traço unitário do concreto referencial.....	64
Tabela 9 - Traço unitário dos concretos produzidos.....	65
Tabela 10 - Abatimento dos concretos.....	67
Tabela 11 - Evolução da resistência à compressão axial de todos os traços.....	70
Tabela 12 - Ensaio de resistência a compressão – Traço referencial.....	81
Tabela 13 - Ensaio de resistência a compressão – 5% de adição.....	81
Tabela 14 - Ensaio de resistência a compressão – 10% de adição.....	81
Tabela 15 - Ensaio de resistência a compressão – 15% de adição.....	81
Tabela 16 - Ensaio de resistência a compressão – 5% de substituição.....	82
Tabela 17 - Ensaio de resistência a compressão – 10% de substituição.....	82
Tabela 18 - Ensaio de resistência a compressão – 15% de substituição.....	82

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo.....	56
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo.....	57
Gráfico 3 - Curva granulométrica do resíduo de tinta.....	58
Gráfico 4 - Evolução da resistência à compressão axial de todos os traços.....	71

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAFATI	Associação Brasileira dos Fabricantes de Normas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFEA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
EDS	Educação para Desenvolvimento sustentável
GEF	Facilidade ambiental global
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial hidrogeniônico
PVA	Acetato de polivinila
PVC	Policloreto de vinila
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RCG	Resíduo de Corte de Granito
SÉC.	Século
SED	Síndrome de pontes doentes
PET	Polietileno Tereftalato
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SANEAGO	Saneamento de Goiás
UNDP	Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
UR	Umidade relativa
UV	Ultravioleta
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis

LISTA DE UNIDADE DE MEDIDA E SÍMBOLO

%	Porcentagem
a/c	Relação água/cimento
Ca	Consumo de água
C _b	Consumo de agregado graúdo
C _c	Consumo de cimento
C _m	Consumo de agregado miúdo
D _{máx}	Diâmetro máximo
f _{c28}	Resistência característica do concreto aos 28 dias
f _{ck}	Resistência característica do concreto
g	Grama
GPa	Giga Pascal
kg	Quilograma
l	Litro
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
M _u	Massa unitária compactada do agregado graúdo
s _d	Desvio padrão
V _b	Volume do agregado graúdo seco por m ³ de concreto
V _m	Volume de areia
γ _a	Massa específica da água
γ _b	Massa específica da brita
γ _c	Massa específica do cimento
γ _m	Massa específica da areia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 METODOLOGIA.....	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2 TINTAS.....	18
2.1 DEFINIÇÃO.....	20
2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	23
2.3 UTILIZAÇÃO DAS TINTAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	24
2.4 IMPACTO DA TINTA NO MEIO AMBIENTE.....	26
3 SUSTENTABILIDADE.....	29
3.1 PROGRAMAS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS.....	29
3.2 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	30
3.2.1 Sustentabilidade na indústria de tintas brasileira.....	33
3.2.2 Resíduos da construção civil.....	34
3.2.3 Utilização e reciclagem de resíduos na construção civil.....	37
4 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	40
4.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	41
4.1.1 Estado fresco do concreto.....	41
4.1.2 Estado endurecido do concreto.....	42
4.2 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS.....	44
4.2.1 Concreto com adição de RCD.....	45
4.2.2 Concreto com adição de vidro.....	46
4.2.3 Concreto com adição de cinza de casca de arroz.....	47
4.2.4 Concreto com adição de resíduos de borracha de pneu.....	48
4.2.5 Concreto com adição de garrafa PET.....	49

4.2.6	Concreto com adição de resíduo de corte de granito.....	50
5	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	52
5.1	AQUISIÇÃO DO RESÍDUO DE TINTA.....	52
5.2	ESTUDO DA DOSAGEM.....	54
5.2.1	Características dos materiais utilizados.....	55
5.2.1.1	Cimento Portland.....	55
5.2.1.2	Água.....	55
5.2.1.3	Agregado miúdo.....	55
5.2.1.4	Agregado graúdo.....	57
5.2.1.5	Resíduo de tinta.....	58
5.3	DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS.....	59
5.3.1	Determinação da relação água/cimento.....	59
5.3.2	Determinação do consumo de materiais.....	60
5.3.2.1	Determinação do consumo de água.....	60
5.3.2.2	Determinação do consumo de cimento.....	61
5.3.2.3	Determinação do consumo de agregado graúdo.....	62
5.3.2.4	Determinação do consumo de agregado miúdo.....	63
5.3.3	Apresentação do traço.....	63
5.3.4	Determinação dos traços e moldagem dos corpos de prova.....	65
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	67
6.1	TRABALHABILIDADE.....	67
6.2	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	70
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
7.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75
	APÊNDICE A - Laudos dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial.....	81

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade, por senso comum, é a busca da preservação do meio ambiente com base nas ações da população, visando o aproveitamento consciente dos recursos naturais. O desenvolvimento sustentável é um assunto bastante objetivado nas discussões sociopolíticas, com o intuito da preservação ambiental para qualidade de vida das gerações futuras.

Acerca da sustentabilidade, a alternativa mais viável na busca de equilíbrio, captação e consumo é a reciclagem. Esta consiste na utilização de resíduos, provindos de insumos já consumidos, como matéria-prima na fabricação de novos produtos. Atualmente existem diversos processos de reciclagem que são comumente realizados, dos quais se destacam papel, metal, plástico, vidro e lixo orgânico (LOMASSO *et al.*, 2015).

A construção civil é uma grande geradora de resíduos e em razão disso os conceitos de reciclagem nesse meio é de grande importância. Em busca de diminuir o impacto ambiental gerado pela construção civil foram desenvolvidas pesquisas de reciclagem dessa área em 1928. Entretanto, a aplicação de produtos reciclados de construções ocorreu com grande magnitude após a 2ª Guerra Mundial, em 1946, durante a reconstrução das cidades Europeias destruídas pela guerra (LEVY, 2010).

Devido ao avanço dos métodos de reciclagem e à necessidade de preservar o meio ambiente, condicionando o equilíbrio ecológico, a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) passou a ser uma escolha viável para o setor da construção civil. A aplicação de RCD na etapa construtiva é de suma importância por diminuir sua disposição em aterros e evitar a utilização de recursos naturais não renováveis (ANGULO & FIGUEIREDO, 2011).

Um dos resíduos da construção civil, que ainda não existem programas de reutilização, é a tinta, que tem a classificação dada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Esta caracteriza os resíduos de tintas resultantes da construção como perigosos (Classe D). Essa classificação é dada pela possibilidade de conter substâncias nocivas à saúde e ao impacto ambiental, nas quais as tintas à base de solvente são mais lesivas pela possível presença de metais pesados, que são potencialmente tóxicos (UEMOTO, 2010).

Em vista disso, a viabilidade da utilização de resíduos de tintas à base d'água é evidente, enfocando que esses tipos de tinta não possuem metais pesados em sua composição. A importância de utilizar esse resíduo é dada pela escassez de estudos acerca de utilização de resíduo de tinta no âmbito da construção civil. Essa utilização engloba conceitos de reciclagem ligados à sustentabilidade, na intenção de diminuir a quantidade de restos em aterros e na possibilidade de conseguir melhor resistência que o concreto normal.

1.1 JUSTIFICATIVA

Visando a necessidade de diminuir o volume de entulhos derivados de construções e a busca de novos recursos que possam ser mais viáveis que os convencionais, a difusão da utilização de resíduos de RCD nas dosagens de concreto é indispensável.

Atualmente alguns resíduos, de RCD ou não, são estudados para serem aplicados na dosagem de concreto, podendo ser utilizados como agregado ou aditivo. Pelo resíduo proveniente da indústria de tintas não possuir destinação final, e pelo fato da tinta à base d'água possuir menor toxicidade que as tintas à base de solvente, foi escolhido este resíduo para o estudo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver, à partir de dosagens, um traço de concreto com aplicação do resíduo de tinta, cujas características estejam no patamar das dosagens convencionais, para que possam ser utilizadas numa construção civil.

1.2.2 Objetivos específicos

Fazer dosagens com concreto convencional e concreto com diferentes quantidades de resíduo de tinta para analisar e comparar as resistências, pelo teste de compressão axial, definindo a viabilidade da utilização de concreto com a presença deste resíduo. Também realização de ensaios de *Slump Test*.

1.3 METODOLOGIA

Para a fundamentação teórica deste trabalho foram utilizados livros e pesquisas na *Internet*, em busca de teses, artigos, congressos e revistas, nas áreas de tintas, sustentabilidade, resíduos e concreto. Também foram utilizados normas técnicas para melhor compreensão do assunto. Em relação à parte experimental, o trabalho foi constituído em:

- Aquisição do material de pesquisa em uma indústria de tintas;
- Desenvolvimento dos traços para produção de concretos, seguindo o método de dosagem ABCP;
- Realização dos ensaios de trabalhabilidade, conforme a prescrição da norma NBR NM 67 (ABNT, 1998);
- Elaboração e moldagem dos corpos-de-prova de acordo os padrões determinados pela NBR 5738 (ABNT, 2003);
- Realização dos ensaios de compressão axial conforme o método estabelecido pela NBR 5739 (ABNT, 1994);
- Resultados e análise dos resultados obtidos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em 7 capítulos, sendo este primeiro introdutório, abordando sobre o tema, objetivo, justificativa e metodologia.

O capítulo 2 apresenta a definição, processo de fabricação e aplicação da tinta, dissertando também sobre os impactos ambientais causados pela mesma.

No capítulo 3 é descrito o conceito de sustentabilidade, incluindo impacto ambiental, reciclagem e são citados os programas pioneiros acerca da sustentabilidade. Também é apresentado a sustentabilidade na construção civil, discorrendo sobre classificação, programas de disposição e utilização de resíduos provindos desta primeira.

No capítulo 4 é retratado sobre o concreto e suas propriedades, nos estados fresco e endurecido. Também é apresentado concreto com adição de resíduos e alguns destes tipos de concreto.

O capítulo 5 relata o programa experimental, especificando o desenvolvimento do traço referencial, determinação dos traços com o resíduo de tinta e a cura do concreto.

O capítulo 6 apresenta as análises dos resultados obtidos, acerca da trabalhabilidade e da resistência à compressão axial.

O capítulo 7 engloba as considerações finais, a respeito da utilização do resíduo de tinta na produção de concretos, e sugestões para futuros trabalhos, objetivando um melhor uso deste resíduo neste tipo de produção.

2 TINTAS

Segundo Fazenda e Diniz (2009), a tinta por um longo tempo foi uma arte passada de geração à geração, em que era utilizada apenas como aspecto estético, cuja produção era pequena e sigilosa, sendo adquirida apenas por famílias abonadas. Foi por volta de 8000 a 5800 a.C., no Egito Antigo, que surgiram os primeiros pigmentos sintéticos cuja, consistência é uma mistura de óxido de cálcio, alumina, sílica, resíduos de soda e óxidos de cobre, conhecido como Azul do Egito, que é um antecessor dos vernizes atuais. O surgimento das indústrias de tintas ocorreu no séc. XIX.

No séc. XIX, a erudição de novos pigmentos, de uma vasta quantidade de agentes modificadores, de óleos secativos e de resinas celulósicas e sintéticas, geraram um avanço científico e tecnológico em grande escala na área de produção de tintas. Entretanto, seu impacto ocorreu significativamente apenas no séc. XX, pelo avanço da ciência e tecnologia em utilizar uma grande variedade de materiais efetivamente aplicados como componentes básicos da tinta. Um exemplo deste avanço são as emulsões alquídicas, que proporcionaram um aumento na resistência à água e durabilidade das tintas que levaram a criação das tintas látex, que são dominantes no mercado das tintas à base de água até os dias atuais (UEMOTO, 1993; FAZENDA; DINIZ, 2009).

Com essa evolução a função da tinta deixou de ser apenas estética sendo utilizada em áreas de proteção da base, na qual sua popularização começou na América do Norte e Europa pelos seus climas severos, de reflexão ou difusão da luz, identificação de tubulações, de sinalização e de segurança do trabalho (FAZENDA; DINIZ, 2009).

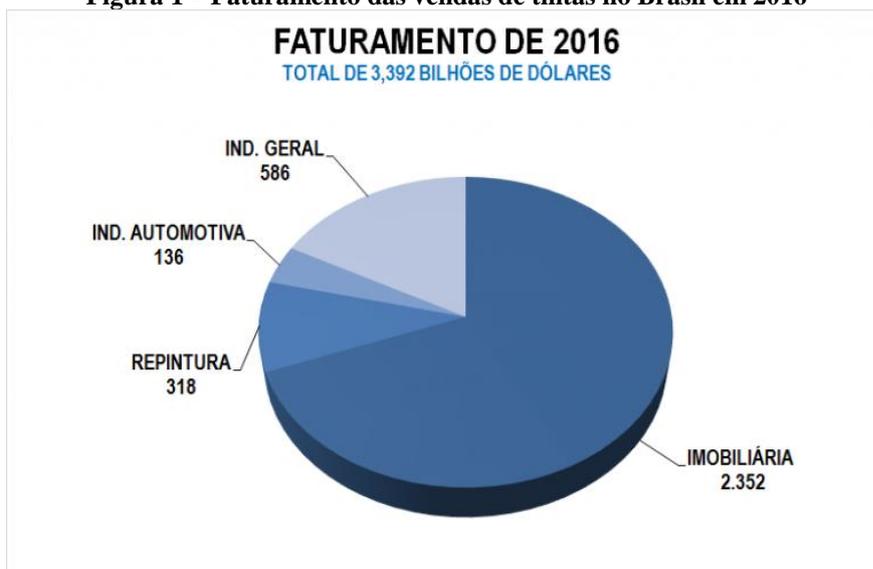
Com a necessidade de redução do impacto ambiental, influenciada pela globalização, a indústria de tintas no mundo inteiro busca a obtenção de tintas amigáveis ao meio ambiente, na qual a tecnologia é aplicada visando essa sustentabilidade. A formulação de tintas com baixos teores ou isentas de compostos orgânicos voláteis (VOC, na sigla em inglês) é a principal linha de pesquisa, embora é um fator complexo pelo número exorbitante de matérias-primas utilizadas (UEMOTO, 2010).

Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas - ABRAFATI (2016), o Brasil é um dos seis maiores mercados mundiais no ramo de tinta, possuindo tecnologia de ponta e nível de competência técnica símil à dos centros de produção mais modernos. No país fabrica-se tintas de todo tipo de aplicações, onde os dez maiores fabricantes correspondem a 75% das vendas totais com existência de centenas de fabricantes. Em 2016, o faturamento no mercado de tintas brasileiro gerou um total de 3,392 bilhões de dólares, com uma produção de

1,506 bilhões de litros de tinta. Dos tipos de tintas no mercado, a imobiliária é a de maior influência.

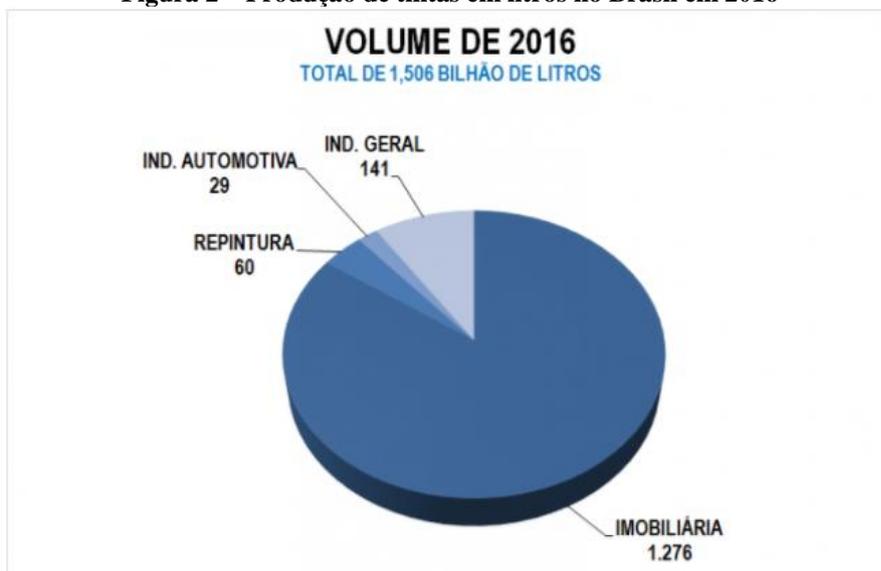
Na Figura 1 é apresentada a renda líquida do setor de tintas no ano de 2016, em dólares, e na Figura 2, é apresentado o volume em litros das tintas produzidas neste mesmo ano, dividindo-as pelos setores de aplicação.

Figura 1 – Faturamento das vendas de tintas no Brasil em 2016



Fonte: ABRAFATI, 2016

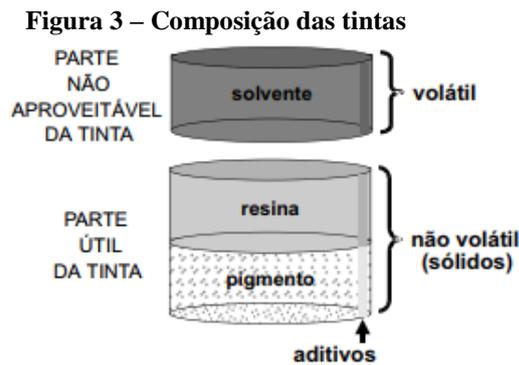
Figura 2 – Produção de tintas em litros no Brasil em 2016



Fonte: ABRAFATI, 2016

2.1 DEFINIÇÃO

Em termos inteligíveis, a tinta é um composto líquido que forma um filme que protege e embeleza as superfícies pintadas, sendo uma mistura cujos constituintes básicos são resina, solvente, pigmento e aditivo (Figura 3), embora nem sempre estão simultaneamente presentes (FAZENDA; DINIZ, 2009).



Fonte: GNECCO; MARIANO; FERNANDES, (2003)

Na construção civil, as tintas são classificadas em duas formas: à base de solvente e à base de água. O que difere estes dois tipos é sua porção líquida, em que destilados de petróleo são utilizados na tinta à base de solvente e na tinta látex, é utilizado água e uma pequena porcentagem de VOC (UEMOTO, 2010).

O uso de tintas hidrossolúveis na indústria brasileira ocorreu no final da década de 1960, mesma época em que foi introduzida nos Estados Unidos e na Europa. Tal utilização deu-se a partir de julho de 1966, com a implementação de um decreto em Los Angeles, que regulamenta a emissão de compostos orgânicos no ar, denominado *Rule 66* (DEUSTCH; CANABRAVA, 2009).

Este decreto impulsionou o desenvolvimento de tecnologias para produção de tintas à base de água, por atender as exigências do mesmo. Desde então houve desenvolvimento contínuo e acelerado deste tipo de tinta. No Brasil não há regulamentações muito rígidas, porém, a preocupação ambiental de algumas indústrias resultou na adoção destes sistemas menos poluentes. No Quadro 1 observa-se o desenvolvimento histórico das tintas à base de água, incluindo progressos anteriores e posteriores a *Rule 66* (DEUSTCH; CANABRAVA, 2009).

De acordo com Gnecco, Mariano e Fernandes (2009), além das tintas hidrossolúveis e convencionais, a tinta de altos sólidos (*HS-high solids*) também tem seu espaço no mercado por sua formulação ser ecologicamente correta, por conter menos VOC em sua composição. Na

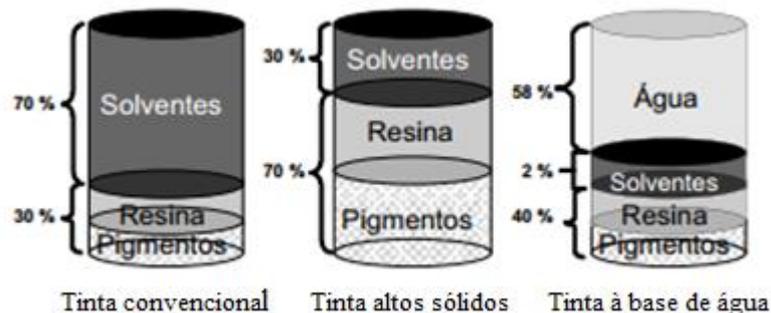
Figura 4 é apresentado as composições básica de várias tintas que marcam presença no mercado.

Quadro 1 – Desenvolvimento históricos dos sistemas não poluentes

Ano	Fatos e etapas	País de origem
1865	Primeira patente solúvel em água	EUA
1930	Tinta à base de caseína	EUA
1948	Látex interior à base de estireno-butadieno	EUA
1953	Incêndio na GM	LIVÔNIA
1957	Látex acrílico estireno	EUA
1960	Anódico – Patentes Ford	EUA
1963/64	Tanques cataforéticos	EUA/GRÃ-BRETANHA
1965	Produção de pó epóxi	GRÃ-BRETANHA
1966	<i>Rule 66</i>	EUA
1968	Cura por radiação	EUA/EUROPA
1970	Catiônico – Patentes	EUA
1975	Tanques cataforéticos	EUA/EUROPA/JAPÃO
1975	Sistemas híbridos pó (epóxi – poliéster)	EUROPA
1980	Alta camada/ <i>Low bake</i> – KTL/ <i>high solids</i>	-
1985	Microgéis	-
1988	Substituição de pigmentos anticorrosivos (chumbo, zinco, cromo e cádmio)	EUROPA/EUA
1990	Polímeros para sistemas aquosos	EUA/EUROPA
1991	Aditivos para sistemas aquosos	EUA/EUROPA
1992	Polímeros aquosos para manutenção	EUA/EUROPA

Fonte: DEUSTCH; CANABRAVA, 2009 (adaptado)

Figura 4 – Composição básica de várias tintas no mercado.



Fonte: GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003

De acordo com os componentes básicos será apresentado brevemente as características destes elementos:

Resina: é o veículo volátil da tinta cuja função é formar filme que ocorre com o processo de aglutinação dos pigmentos, na qual há variâncias de acordo com o tipo e teor de pigmento aplicado. Atualmente as resinas deixaram de ser obtidas por compostos animais, naturais ou

vegetais, em circunstância das resinas provindas da indústria petroquímica, pela durabilidade e propriedades dos polímeros destas últimas serem superiores. Suas principais funções são propriedades mecânicas (tração e elasticidade), resistência a intemperismo (poluentes, radiação ultravioleta - UV - e água), resistência química (alcalinidade da argamassa), aderência e outros (UEMOTO, 2010);

Pigmentos: são pequenas partículas cristalinas, cuja função é a coloração e opacidade da película, tendo que ser insolúveis nos outros componentes da tinta. As principais propriedades que uma pigmentação deve conter são: absorção e reflexão de radiações luminosas (cor), capacidade de obliteração do fundo (poder de cobertura), característicos de escoamento e absorção de óleo. O tipo e quantidade de pigmento utilizado modifica suas características, aumentando a dureza, reduzindo a flexibilidade e também podendo afetar a resistência do filme. Em muitos pigmentos são usados compostos inorgânicos, porém com a visão na sustentabilidade do âmbito da construção civil, a utilização de compostos orgânicos tem-se intensificado (NINA, 2012);

Aditivos: são substâncias químicas que são adicionadas geralmente em teores entre 0,1% a 2% na tinta, possibilitando, mesmo em pequenas frações, melhorias significativas ou características especiais em sua composição. No Quadro 2 observa-se as diferentes classificações de aditivos e suas funções (FONSECA, 2010);

Quadro 2 – Grupos de aditivos conforme o mecanismo de atuação

Aditivo	Função
Fotoiniciadores	Formação de radicais livres quando submetidos à ação da radiação UV iniciando a cura das tintas de cura por UV.
Secantes	Catalisadores de secagem oxidativa de resinas alquídicas e óleos vegetais polimerizados.
Agentes reológicos	Modificam a reologia das tintas (aquosas e sintéticas), modificação esta necessária para se conseguir nivelamento, diminuição do escorrimento, etc.
Inibidores de corrosão	Conferem propriedades anti-corrosivas ao revestimento.
Dispersantes	Melhoram a dispersão dos pigmentos na tinta.
Umectante	Nos sistemas aquosos aumentam a molhabilidade de cargas e pigmentos, facilitando sua distorção.
Bactericida	Evitam a degradação do filme da tinta devido a ação de bactérias, fungos e algas.
Coalescentes	Facilitam a formação de um filme contínuo na secagem de tintas à base d'água unindo as partículas do látex.

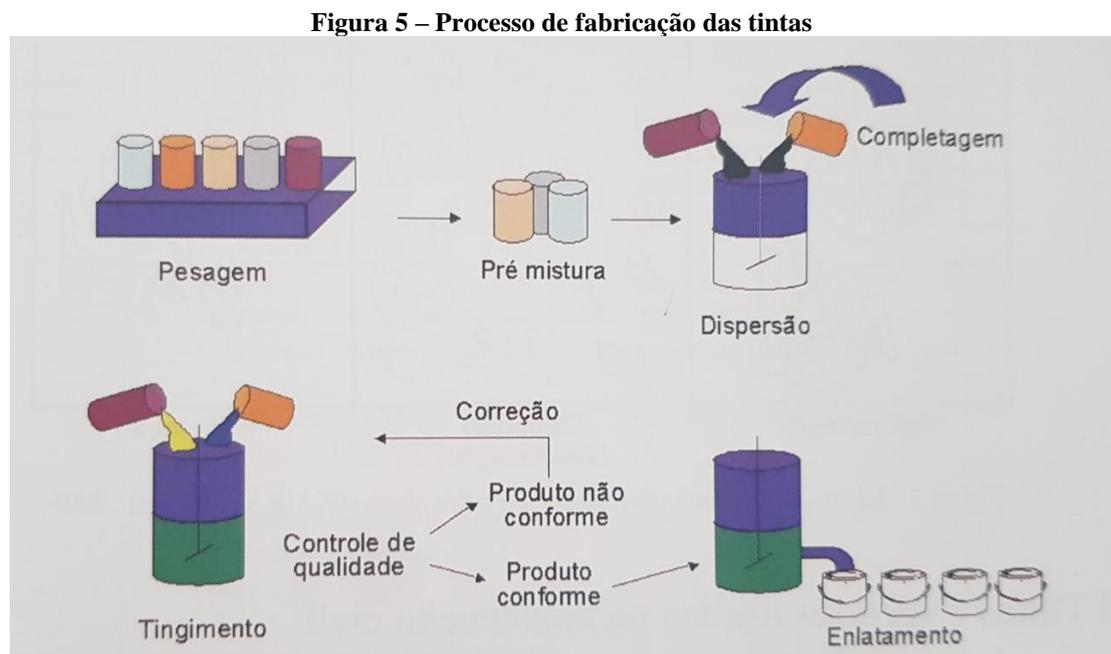
Fonte: FONSECA, 2010 (adaptado)

Solvente: quando utilizado como base da composição da tinta, desempenha um importante papel nas etapas de aplicação, desempenho e durabilidade, mesmo que após a evaporação deixe

de fazer parte da pintura. Sua função é dissolver a resina e atuar na aplicação do filme, tais quais se incluem: viscosidade adequada para aplicação, secagem, espessura, nivelamento e outros. Momentos antes da aplicação do solvente é necessário corrigir o seu teor, de acordo com a necessidade da tinta, pois de acordo com a má escolha desencadeará em defeitos no filme. (UEMOTO, 2010).

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

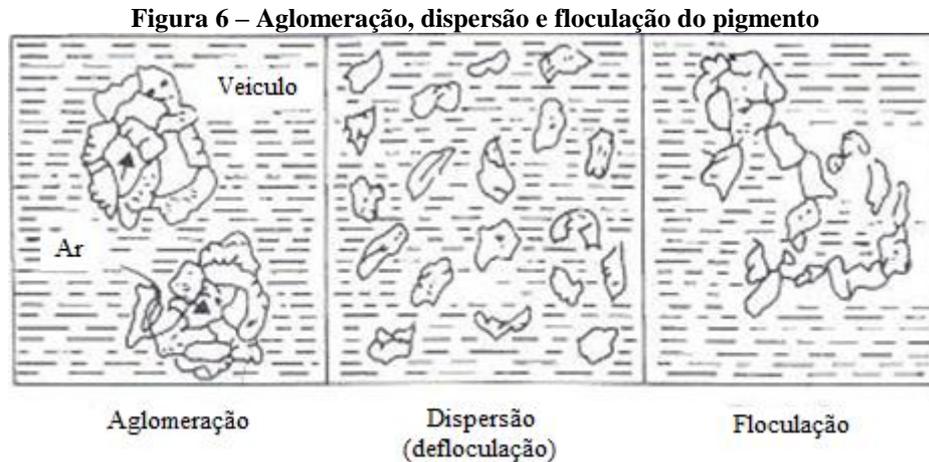
De forma rudimentar, as principais fases da fabricação de tinta são: pesagem, dispersão, tingimento e enlatamento (Figura 5). A primeira etapa do processo de fabricação de tintas é o controle de qualidade das matérias-primas e pesagem correta de acordo com a formulação dos materiais a serem utilizados. Depois da liberação desta etapa ocorre a pré-mistura cuja função é facilitar a homogeneização dos componentes básicos na mistura (UEMOTO, 2010).



Fonte: SILVA, 2005

De acordo com Kairalla *et al.* (2009), a segunda fase é denominada dispersão, que é diferente da homogeneização, pois este primeiro processo é uma mistura em que dissipa partículas aglomeradas, com função de quebra mecânica, para sofrer o processo de umectação em suas faces internas. Esta moagem ocorre por meio de moinhos de bolas, rolos ou areia. Quando a umectação é atingida, a fase conseguinte é o cerco das partículas que previne o

contato entre elas que tendem a se reaglomerar. Se tais partículas se agregam após a umectação, ocorre o efeito de floculação. Tal processo é apresentado na Figura 6.



Fonte: KAIRALLA *et al.*, 2009.

A completagem, que é a última fase da dispersão, é a etapa em que são adicionadas as matérias primas que restam (solvente, aditivos secantes, etc.) agitando constantemente. No tingimento, que é a terceira etapa, são aplicadas as pastas de tingimento que acertam a cor da tinta. Nesta fase também ocorrem vários ensaios de rápida execução, como os de viscosidade, teor de sólido, potencial hidrogeniônico (pH), cobertura e massa específica. A tinta só é liberada pro enlatamento se seu padrão de qualidade estiver dentro de todas especificações corretas. A etapa final é o enlatamento ou envasamento, na qual é disposto o material nos recipientes para serem distribuídas no mercado (UEMOTO, 2010).

2.3 UTILIZAÇÃO DAS TINTAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Existem diversas formas de classificação das tintas. As mais comuns são pela composição, modo de cura, uso final e aspecto do acabamento final, entretanto os tecnologistas dessa área optam classificar pela composição: base de solvente (contém ou é solúvel em solventes orgânicos) e base de água (contém ou é solúvel em água) (UEMOTO, 2010).

No segmento dos sistemas de pintura de base aquosa, o principal tipo de tinta é a látex, que é comercializada de qualidade Econômica, Standard e Premium, com diferentes tipos de acabamento (acetinado, fosco ou semibrilho). Este sistema de pintura é utilizado em alvenaria interna e externa sendo subdividido em tinta látex acrílica e tinta látex de acetato de polivinila (PVA). As tintas podem ser utilizadas para cobrir uma superfície, podendo adicionar textura, e

também para corrigir imperfeições rasas no reboco (massa corrida) (ABRAFATI, 2013).

No Quadro 3 são apresentadas as principais tintas empregadas na construção, classificado pelos seus substratos (policloreto de vinila - PVC -, metálico, minerais porosos e madeiras), das quais algumas serão apresentadas neste capítulo.

Quadro 3 – Principais tintas empregadas na construção civil

Substrato	Tinta
Minerais porosos <ul style="list-style-type: none"> • Concreto • Reboco • Argamasa • Cerâmica • Gesso 	<ul style="list-style-type: none"> • Látex PVA • Látex acrílico • Látex textura • Esmalte sintético (alquídica) • Époxi • Caiação • Base de Cimento • Base de silicatos alcalinos (sódio, potássio)
Madeira e seus derivados	<ul style="list-style-type: none"> • A óleo • Esmalte sintético (resina alquídica), base solvente e base água • Impregnante (“stains), base solvente e base água
PVC	<ul style="list-style-type: none"> • A óleo • Esmalte sintético (resina alquídica), base solvente e base água
Metálicos <ul style="list-style-type: none"> • Ferrosos • Não ferrosos 	<ul style="list-style-type: none"> • A óleo • Esmalte sintético (resina alquídica), base solvente e base água • Esmalte sintético (resina alquídica), base solvente e base água, dupla ação • Époxi, base solvente e base água

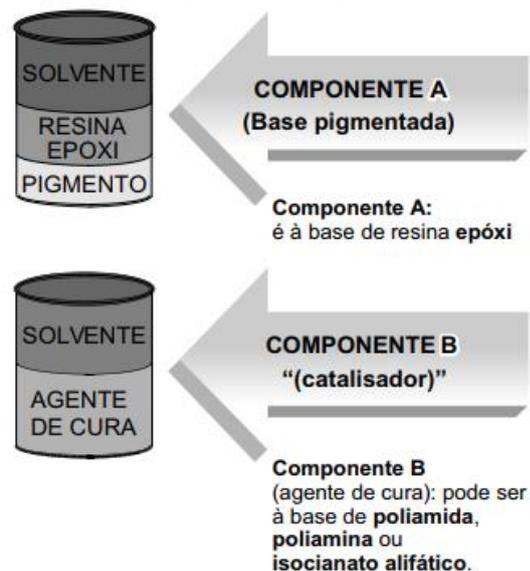
Fonte: UEMOTO, 2010 (adaptado)

Nestes segmentos de base aquosa também é encontrado massas niveladoras, que são utilizadas para corrigir superfícies irregulares da parede, subdividindo em massa corrida PVA e massa acrílica. A massa corrida e a tinta látex PVA possuem maior porosidade, enquanto as composições acrílicas (tinta látex e massa) possuem maior resistência de aderência e resistência à água e à alcalinidade, devido a diferença das resinas utilizadas em suas composições. Em geral, as tintas látex são muito utilizadas na construção civil pela facilidade do uso, por apresentar baixo odor, aplicação simples e secagem rápida – permitindo mais de uma demão, necessitando apenas cerca de 4 horas de intervalo entre elas. As massas à base de água também possuem secagem rápida, em comparação com outros tipos de massa, permitindo lixamento e pintura no mesmo dia (UEMOTO, 2010).

Nas pinturas alquídicas, os principais produtos são esmaltes sintéticos e tintas à óleo. Estas composições são aplicadas em ambientes sem poluição e possuem alta toxicidade. Sua utilização na construção civil se dá apenas na pintura de portas, esquadrias e janelas de aço ou madeira. Existem algumas tintas alquídicas a base de água no mercado, embora sua aplicação é apenas para metais (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003).

A tinta époxi encontra-se dentro dos sistemas de bicomponentes de pintura constituído por um componente A e um componente B, conforme a Figura 7. Estas pinturas possuem grande resistência à produtos químicos, mas não são indicadas para utilização em exteriores pela sensibilidade à radiação ultravioleta, perda do brilho, calcinação e amarelamento. Sua principal utilização na construção civil é em pisos. Existem tintas époxi à base de água e de solvente e suas características são as mesmas, com um desempenho mais elevado nas composições de solvente (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2009).

Figura 7 – Constituição dos componentes da tinta époxi



Fonte: GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2009

2.4 IMPACTO DA TINTA NO MEIO AMBIENTE

As tintas podem causar efeitos na saúde dos seres vivos e na degradação do meio ambiente, tanto as de finalidade decorativa, quanto as protetivas. Estes efeitos ocorrem pela aglomeração de componentes casualmente tóxicos em sua composição, tanto em sua forma líquida (pela emissão de VOC), quanto em sua forma seca (por conter metais pesados em sua composição que são iminentemente tóxicos). Em consequência desse fator é recomendável a

utilização de tintas com menores teor de elementos prejudiciais à saúde e ao ecossistema. Outros malefícios provindo tanto dos metais pesados, quanto do VOC, englobam a contribuição da poluição atmosférica, afeto na saúde do trabalhador, produção de ozônio e de resíduos perigosos (UEMOTO, 2010).

A presença de metais pesados na formulação da tinta, como pigmentos anticorrosivos, pode acompanhar na composição de algumas resinas e aditivos. Durante a fabricação da tinta, resíduos perigosos são gerados. No período de pós-consumo deste produto são gerados, comumente em aplicações industriais, três tipos de resíduos: borras de tinta, embalagens contaminadas e material contaminado diverso (RIGOLETTO, 2009).

As borras de tinta são derivadas do processo de aplicação. São porções de tinta que não aderiram à superfície e são coletadas devido a perniciosidade do resíduo, por sua composição ser basicamente a mesma da tinta original. Tais borras podem ser reaproveitadas para produção de tintas de menor qualidade. Os materiais contaminados, por sua vez, também causam impactos ambientais, os quais devem ser avaliados conforme as responsabilidades de cada tipo de resíduo gerado. Alguns exemplos destes materiais, que não são componentes da tinta, mas são gerados no processo de pintura, incluem fitas protetoras, luvas, equipamentos de proteção e entre outros. As embalagens contaminadas podem ser recuperáveis, sendo que sua limpeza e reciclagem podem gerar outros resíduos que devem ser dispostos, tratados ou reciclados apropriadamente (RIGOLETTO, 2009).

De acordo com Uemoto, Ikematsu e Agopyan (2006), a determinação do VOC é dada pelos compostos de carbono que participam de reações fotoquímicas, com exclusão de CO₂, CO, ácido carbônico, carbetos ou carbonatos metálicos e carbonatos de amônio. Por possuírem hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, as tintas – tanto à base de solvente, quanto a base de água - e os insumos utilizados na pintura contribuem para a formação de ozônio, que é o agente causador da poluição do ar.

A irradiação de VOC é iniciada na etapa construtiva final, particularmente no processo de pintura e secagem. Essa emissão ocorrerá também nos primeiros anos de ocupação do edifício, podendo se estender para todo o período de habitação. Isto decorre devido a constantes manutenções cíclicas, na qual a continuidade de tal irradiação pode levar a problemas característicos da Síndrome de Edifícios Doentes (SED). Os impactos causados, citados anteriormente, tem sido uma preocupação entre as empresas de tinta de todo o mundo, levando a criação de metas, com o objetivo da redução de VOC (UEMOTO, 2010).

Os compostos orgânicos voláteis em contato com radiação UV e calor atuam como agentes da formação de *smog*, que é uma névoa fotoquímica urbana que acarreta a produção de

compostos oxidantes e ozônio. Este, por seu modo, quando presente na troposfera, ao nível do solo, é lesivo ao ser humano e à natureza. O ozônio interfere no índice de qualidade do ar, por ser um dos maiores poluentes do mesmo, causando danificação no tecido pulmonar e, dias após o fim de sua exibição, efeitos neurotóxicos e de insalubridade (UEMOTO; IKEMATSU; AGOPYAN, 2006).

A respeito da saúde do trabalhador na produção de tintas, são exigidos das indústrias requisitos legais de monitoramento, quantitativo de agentes químicos nos ambientes de trabalho, atendendo as exigências adequadas. Para isto é necessário grande conhecimento sobre todo o processo de produção (matérias-primas utilizadas e suas importâncias, dosagens, procedimentos, frequência de utilização e entre outros) para uma supervisão adequada (RIGOLETTO, 2009).

3 SUSTENTABILIDADE

À partir da evolução das teorias sócio-econômicas surgiram diferentes visões de sustentabilidade em busca de transformação e sustentação da sociedade atual e das futuras. O crescimento econômico tornou evidente a necessidade de noções de manutenção dos ecossistemas. As necessidades ambientais e sociais não condizem com o modelo de acumulação de riquezas do capitalismo vigente. A conceito de sustentabilidade deu-se pela importância de anular esse antagonismo, criando limites ao desenvolvimento, graças aos programas mundiais de sustentabilidade, cujo impacto afetou o mundo de forma em que as leis engajassem nesse contexto. Assim, como entrou em evidência a preservação ambiental, a ciência econômica visa novos caminhos, abrindo oportunidades à novas gestões (MENDES, 2009).

3.1 PROGRAMAS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS

O impacto ambiental é uma consequência causada pela ação ambiental. De acordo com Munn (1975), ação ambiental é um processo (como a erosão do solo, a dispersão de poluentes, o deslocamento de pessoas) derivado de uma ação humana. Pequenas ações humanas podem gerar grandes consequências na qualidade do meio ambiente. Um exemplo simples disto é o cozimento de pão em forno à lenha, que pode gerar deterioração na qualidade do ar por emitir gases e partículas na atmosfera (SÁNCHEZ, 2013).

Segundo Kurz (2001), até meados do séc. XX o complexo econômico-científico utilizava apenas matérias-primas orgânicas, causando efeitos destrutivos secundários. O homem tomou consciência de que esta fonte era esgotável apenas depois da Segunda Guerra Mundial. A obsessão de produção e lucros junto à consciência dos bens naturais não-renováveis e ao progresso tecnológico e científico ocasionou na criação de matérias-primas sintéticas (energia atômica, transformações físico-químicas nas indústrias, etc.). Pela consequência das matérias inorgânicas apresentarem efeitos nocivos, não sendo contornados e neutralizados pelos processos da natureza, seus efeitos destrutivos são imensos e duram por milhares de anos.

A visão ambiental ganhou poder devido à crise gerada pelo modelo de capitalismo vigente que ameaça a natureza e a qualidade de vida. Na busca de impedir tais malefícios houve o surgimento do conceito de sustentabilidade na tentativa de mudar o pensamento coletivo (BERNARDES; FERREIRA, 2012).

A definição de sustentabilidade, ou desenvolvimento sustentável, foi criada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972 na Conferência das Nações Unidas sobre o

Ambiente Humano em Estocolmo (Suécia). O objetivo desta conferência foi a harmonização da conservação do meio ambiente com o desenvolvimento econômico embora esta visão ambiental começou, em escala global, no fim da década de 1960. Os programas implementados em 1972 não geraram os resultados almejados, assim, em 1991 foi implantado o programa de Facilidade Ambiental Global (GEF, na sigla em inglês) cujos pilares de sua realização foram a ONU, o Banco Mundial e o Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNDP, na sigla em inglês) na busca do desenvolvimento contínuo de uma consciência sustentável (ONU, s.d.).

GEF foi um financiamento direcionado aos países em desenvolvimento em ajuda aos projetos de proteção ao meio ambiente global e à implantação de sustentabilidade no meio de vida das comunidades locais. Mais de 2400 projetos foram realizados por este programa que alcançou 165 países. Entre 2005 e 2014 a Assembleia Geral, buscando de forma contínua avançar o desenvolvimento sustentável, declarou em parceria com a Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) a década das Nações Unidas para a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) (ONU, s.d.).

A preocupação ambiental difundiu-se efetivamente apenas na década de 90 em consequência deste investimento à sustentabilidade e à degradação dos ecossistemas, que gerou mudanças climáticas resultando na evolução do pensamento ecológico. A qualidade ambiental passou a ser rotina das pessoas e de muitas empresas quando o aquecimento global tornou um assunto de foco mundial. Tal evolução colocou em questão a preocupação com a racionalização do uso de energia e de matérias-primas e maior dedicação ao princípio dos 3R's: reduzir, reutilizar e reciclar (SEIFFERT, 2009).

No Brasil a UNESCO é o papel crucial para a otimização da EDS. Para alcançar tais objetivos é necessária reorientação focada no desenvolvimento de conhecimentos, valores e habilidades da população. Estes últimos são gerados à partir da inclusão de assuntos sobre mudança climática e biodiversidade, no ensino e na aprendizagem. Para atingir este desenvolvimento a UNESCO exerce atividades das quais as principais englobam a formação de professores para que utilizem a EDS em suas práticas, a mobilização aos jovens e a publicação de documentos-chave e instrumentos educativos para gerar discussões em torno da educação do desenvolvimento sustentável. (UNESCO, s.d.).

3.2 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As práticas da construção civil são responsáveis por uma mudança no ambiente, o que era natural se transforma em algo construído. Tal mudança neste meio gera grandes impactos

ambientais, que variam de acordo com o espaço construído, devido a quantidade de matérias-primas, energia e água utilizadas durante o processo. A construção é um grande agente causador dos impactos ambientais por contribuir no impacto ambiental através da quantidade exorbitante de insumos, das etapas construtivas da obra (extração de matérias-primas, produção e de materiais e execução e manutenção da obra), dos resíduos gerados e do processo de demolição (AGOPYAN; JOHN, 2011).

De acordo com John (2010), todo material utilizado na construção civil causa impacto ambiental e o responsável pelo planejamento deve escolher os materiais que causem impacto mínimo que atenda o desempenho necessário e que seja economicamente viável. Os impactos ambientais causados pela construção civil englobam liberação de VOC na atmosfera, contaminação do ambiente por lixiviação e formação de resíduos. A lixiviação de compostos tóxicos, que podem ocorrer pelo contato de água com materiais, contamina o solo e lençol freático. O conhecimento sobre este processo embora seja inicial vem ganhando rápido desenvolvimento por sua importância.

A sustentabilidade no meio da construção civil engloba várias características, nas quais sua base fundamental é nivelar os ganhos econômicos com os socioambientais. É necessário políticas urbanas e práticas urbanísticas sustentáveis, inovações e, sobretudo, princípios sustentáveis nas etapas construtivas. Dentro desses princípios entra a preservação de prédios antigos (devido à nocividade das demolições), coleta de resíduos apropriada e o conceito dos 3R's (Figura 8) na qual aplicado na construção civil os objetivos são: reduzir os desperdícios no canteiro de obras, reciclar os resíduos de construção e reutilizar materiais aproveitáveis (CORRÊA, 2009).

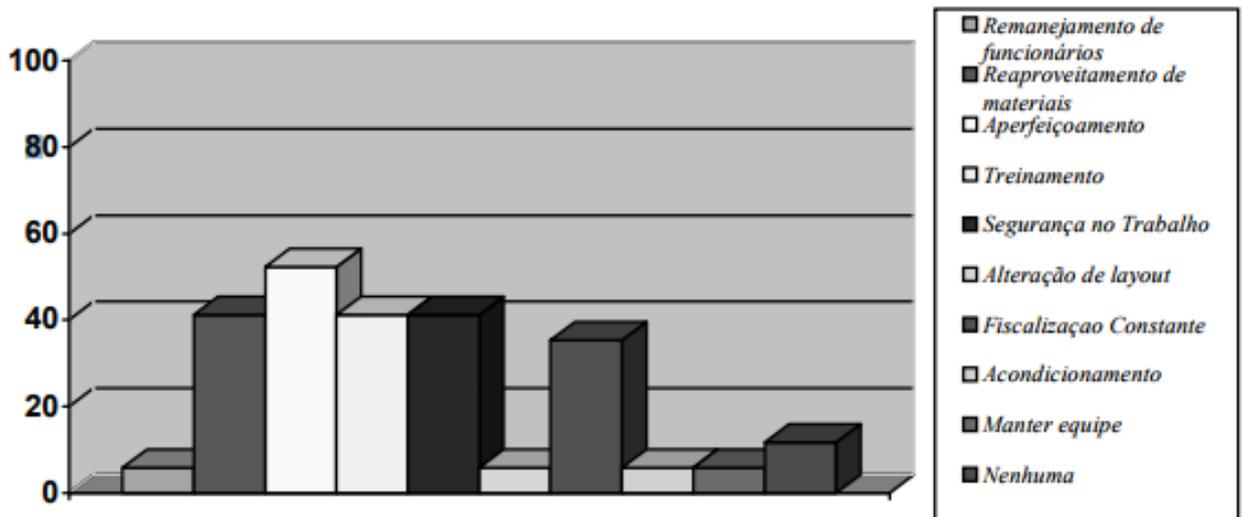
Figura 8 – Princípio dos 3R's



Fonte: CORRÊA, 2009

Conforme Grohmann (1998), não há dados confiáveis no desperdício na construção civil, embora estima-se que são 33% no qual o aperfeiçoamento técnico é responsável por mais de 50% de desperdício de materiais. Grohmann também aponta que desperdícios de mão-de-obra é o percentual mais alto dos fatores que levam ao desperdício de materiais, no qual é preciso adotar certas medidas (Figura 9). Bastos (2015), afirma que esse desperdício na obra, que chega em alguns casos a quantidades exorbitantes, provém da falta de planejamento e administração da mão-de-obra. Tal falta de elaboração também afeta o cumprimento do orçamento da obra e é necessário a implantação de melhorias pela empresa para suprir tais deficiências.

Figura 9 – Medidas para evitar desperdícios de materiais



Fonte: GROHMANN, 1998

Na questão do reuso de elementos construtivos, decorre desde as primícias das construções de alvenaria no Egito, Grécia e Roma antigos, em que os blocos de pedras sempre eram reutilizados após uma guerra ou catástrofes naturais. O reuso de materiais que podem ser aplicados em seu local original são chamados de *in loco*, sendo retirados e reinstalados de forma fácil que não os danifique. Os caixilhos de PVC ou madeira são bons exemplos pela possibilidade de retirá-los e reinstalá-los junto com o vidro. Quando não é possível o reuso do objeto em seu local de origem, são necessários processos de tratamento que variam de acordo com o tipo de material. Um exemplo de tratamento são as vigas de aço, que para reutilização podem precisar serem limpas, cortadas, protegidas contra corrosão e preparadas pra novos encaixes. (ADDIS, 2010; CORRÊA, 2009).

De acordo com Addis (2010), a reciclagem consiste em transformar materiais descartados para fazer novos produtos. Os materiais reciclados empregados na construção civil podem ser de RCD ou de materiais cujas funções primárias não são de aplicações neste meio. Exemplos comuns empregados na engenharia civil englobam chapas de aglomerado feitas a partir de serragem ou de madeiras retiradas de demolições, ralos de plástico feitos com garrafa PET (Polietileno Tereftalato), concreto feito com agregado reciclado, etc.

Devido à preocupação ambiental na construção civil o engenheiro possui deveres com o meio ambiente. Um dos principais objetivos da profissão e da atividade profissional no ramo da engenharia civil é prezar pelo bem-estar e desenvolvimento da humanidade em harmonia as suas diversificadas dimensões, nas gerações antiga, atual e futura. No Brasil o código de ética para este profissional é dado pela resolução Nº 1002 do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CONFEA). Os deveres ambientais designados ao engenheiro são dados pelo artigo 9º, inciso V, do CONFEA (2012, p.10):

- a. orientar o exercício das atividades profissionais pelos preceitos do desenvolvimento sustentável;
- b. atender, quando da elaboração de projetos, execução de obras ou criação de novos produtos, aos princípios e recomendações de conservação de energia e de minimização dos impactos ambientais;
- c. considerar em todos os planos, projetos e serviços as diretrizes e disposições concernentes à preservação e ao desenvolvimento dos patrimônios sociocultural e ambiental.

Esses deveres são importantes para o âmbito da construção civil pela necessidade de consciência das ações pessoais e profissionais do engenheiro. Este último possui diretamente grandes níveis de responsabilidade carecendo de discernimento para sua formação não ser baseada exclusivamente nas técnicas. Assim, uma das características esperadas de um engenheiro é a consciência de que suas ações pessoais, técnicas e gerenciais afetam, direta ou indiretamente, o meio ambiente e à vida da população (CREMASCO, 2009).

3.2.1 Sustentabilidade na indústria de tintas brasileira

Atualmente a sustentabilidade é um dos principais focos nas indústrias de tintas e aos seus fornecedores, que buscam oferecer produtos que contribuam para o desenvolvimento econômico e social atendendo aos requisitos ecossistêmicos. A ABRAFATI participou do Congresso Internacional de Tintas apresentando 72 palestras sobre suas pesquisas voltadas a inovações e alternativas de incorporação de sustentabilidade em seu meio de produção. Tais

pesquisas obtiveram sucesso devido a adoção de práticas sustentáveis que envolvem as seguintes perspectivas (ABRAFATI, 2015b, p.4):

- Gestão de resíduos;
- Redução do consumo de materiais;
- Uso eficiente de recursos naturais (água e energia);
- Garantia de acessibilidade universal;
- Cuidados com a saúde e segurança
- Atenção às questões de mobilidade urbana e ao uso do transporte público;
- Sensibilização do público participante em relação ao tema sustentabilidade.

No Brasil a ABRAFATI vem desempenhando um papel importante na sustentabilidade. Em abril de 2014 ganhou o prêmio Top Anamaco pela destinação devida de garrafas PET. Esta destinação é aplicada na produção de tintas imobiliárias à base de solvente, utilizando cerca de 120 garrafas em sua manufatura anual. A utilização de garrafas PET na formulação de tintas desempenha o papel de destinação adequada à 10% do total destas mesmas no Brasil e a diminuição de recursos naturais e de energia (ABRAFATI, 2015b). Outro papel importante que a ABRAFATI desempenha nesse meio é o seu código de ética em relação a sustentabilidade e leis ambientais, que põe em vigor à todas indústrias de tintas coligadas a esta associação. O código apresentado pela Associação Brasileira dos Fabricantes de tintas, na questão de sustentabilidade é apresentado como (ABRAFATI, 2015a, p. 10):

Atuamos com um olhar sistêmico para cadeia da indústria de tintas, tendo como foco a criação de valor compartilhado para toda a sociedade e a ampliação dos impactos positivos gerados pelas atividades do setor. Defendemos o respeito ao ambiente, à sociedade e a cada indivíduo, buscando contribuir com ações e apoio para o desenvolvimento social, econômico, ambiental e educacional do País.

3.2.2 Resíduos da Construção Civil

Resíduos sólidos estão comumente relacionados à lixo, que são restos das atividades humanas considerados indesejáveis. Ambos se apresentam no estado sólido ou semi-sólido. A diferença entre eles consiste na aproveitabilidade do resíduo, que pode ser utilizado como matéria-prima para outros produtos ou processos, enquanto o lixo não possui nenhuma serventia (MONTEIRO *et al.*, 2011).

Conforme descrito anteriormente, os resíduos são de grande preocupação devido ao impacto ambiental gerado, e com esta preocupação foi criado no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA (s.d.), a PNRS entrou em vigor em agosto de 2010 tendo a responsabilidade da elaboração e implementação de planos de gestão de resíduos dos sólidos. Ao setor privado foi designada a incumbência gerencialmente e ecologicamente correta dos resíduos, a reincorporação na cadeia produtiva e inovações em produtos favoráveis às questões socioambientais; e ao cidadão foi designada a gestão dos resíduos sólidos próprios.

Conforme Jacobi e Besen (2011), a PNRS é uma política inovadora que propõe ao país consciência sustentável compartilhada, implantando no caráter social princípios de redução, reutilização e reciclagem. Em termos de sustentabilidade socioambiental urbana, ocorre a implantação de mecanismos nos sistemas municipais inserindo a coleta seletiva que classifica de uma forma ampla os tratamentos e disposições finais de cada tipo de resíduo. No Quadro 4 é analisado os tipos de resíduos produzidos em diversas áreas e o destino final apropriado à eles.

Quadro 4 – Características e gestões dos resíduos sólidos

(continua)

Resíduos sólidos	Fontes geradoras	Resíduos produzidos	Responsável	Tratamento e disposição final
Domiciliar (RSD)	Residências, edifícios, empresas, escolas	Sobras de alimentos, produtos deteriorados, lixo de banheiro, embalagens de papel, vidro, metal, plásticos, isopor, longa vida, pilhas, eletrônicos, baterias, fraldas e outros	Município	1. Aterro sanitário 2. Central de triagem de recicláveis 3. Central de compostagem 4. Lixão
Comercial pequeno gerador	Comércios, bares, restaurantes, empresas	Embalagens de papel e plástico, sobras de alimentos e outros	Município define a quantidade	1. Aterro sanitário 2. Central de triagem da coleta seletiva 3. Lixão
Grande gerador (maior volume)	Comércios, bares, restaurantes, empresas	Embalagens de papel e plástico, sobras de alimentos e outros	Gerador	1. Aterro sanitário 2. Central de triagem da coleta seletiva 3. Lixão
Público	Varrição e poda	Poeira, folhas, papéis e outros	Município	1. Aterro sanitário 2. Central de compostagem 3. Lixão

Fonte: JACOBI; BENSEN (2010)

Quadro 4 – Características e gestões dos resíduos sólidos

(conclusão)

Resíduos sólidos	Fontes geradoras	Resíduos produzidos	Responsável	Tratamento e disposição final
Serviços da saúde (RSS)	Hospitais, clínicas, consultórios, laboratórios, outros	Grupo A - biológicos: sangue, tecido, vísceras, resíduos de análises clínicas e outros Grupo B - químicos: Lâmpadas, medicamentos vencidos e interditados, termômetros, objetos cortantes e outros Grupo C – radioativos Grupo D – comuns; não contaminados; papéis, plásticos, vidros, embalagens e outros	Município e gerador	1. Incineração 2. Lixão 3. Aterro sanitário 4. Vala séptica 5. Microondas 6. Autoclave 7. Central de triagem de recicláveis
Industrial	Industrial	Cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, escórias e outros	Gerador	1. Aterro industrial 2. Lixão
Portos, aeroportos, terminais	Portos, aeroportos, terminais	Resíduos sépticos, sobras de alimentos, material de higiene e asseio pessoal e outros	Gerador	1. Incineração 2. Aterro sanitário 3. Lixão
Agrícola	Agricultura	Embalagens de agrotóxicos, pneus e óleos usados, embalagens de medicamentos veterinários, plásticos e outros	Gerador	Central de embalagens vazias do Inpev
Construção Civil	Obras e reformas residenciais e comerciais	Madeira, cimento, blocos, pregos, gesso, tinta, latas, cerâmica, pedras, areia e outros	Gerador, município e gerador pequeno e grande	1. Ecoponto 2. Área de transbordo e triagem (ATT) 3. Área de reciclagem 4. Aterro de RCC 5. Lixões

Fonte: JACOBI; BENSEN (2010)

A construção civil produz quantidades excessivas de resíduos devido aos desperdícios deste meio. Anualmente a quantidade produzida destes últimos pela construção e demolição excede a 500Kg por habitante, excluindo os resíduos de extração e produção de materiais (JOHN, 2010). A definição de resíduos de construção civil é dada pela resolução 307 do CONAMA (2002, p. 1), estabelece que tais resíduos:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas,

tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliças ou metralha.

Ainda de acordo com a resolução 307 é apresentado as classificações dos resíduos provindos da construção civil, com o intuito de definir as gestões. Estas últimas são dadas pelo Programa Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil e pelos Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, desenvolvida pelos municípios e pelo Distrito Federal. Tais classes são estruturadas em (p. 1):

- I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

A disposição adequada de cada tipo de resíduo de acordo com sua classificação é importante na gestão de resíduos e também é estabelecida pela resolução 307 do CONAMA. O Art. 10 (p. 3) desta resolução diz que os resíduos devem ser destinados das seguintes formas:

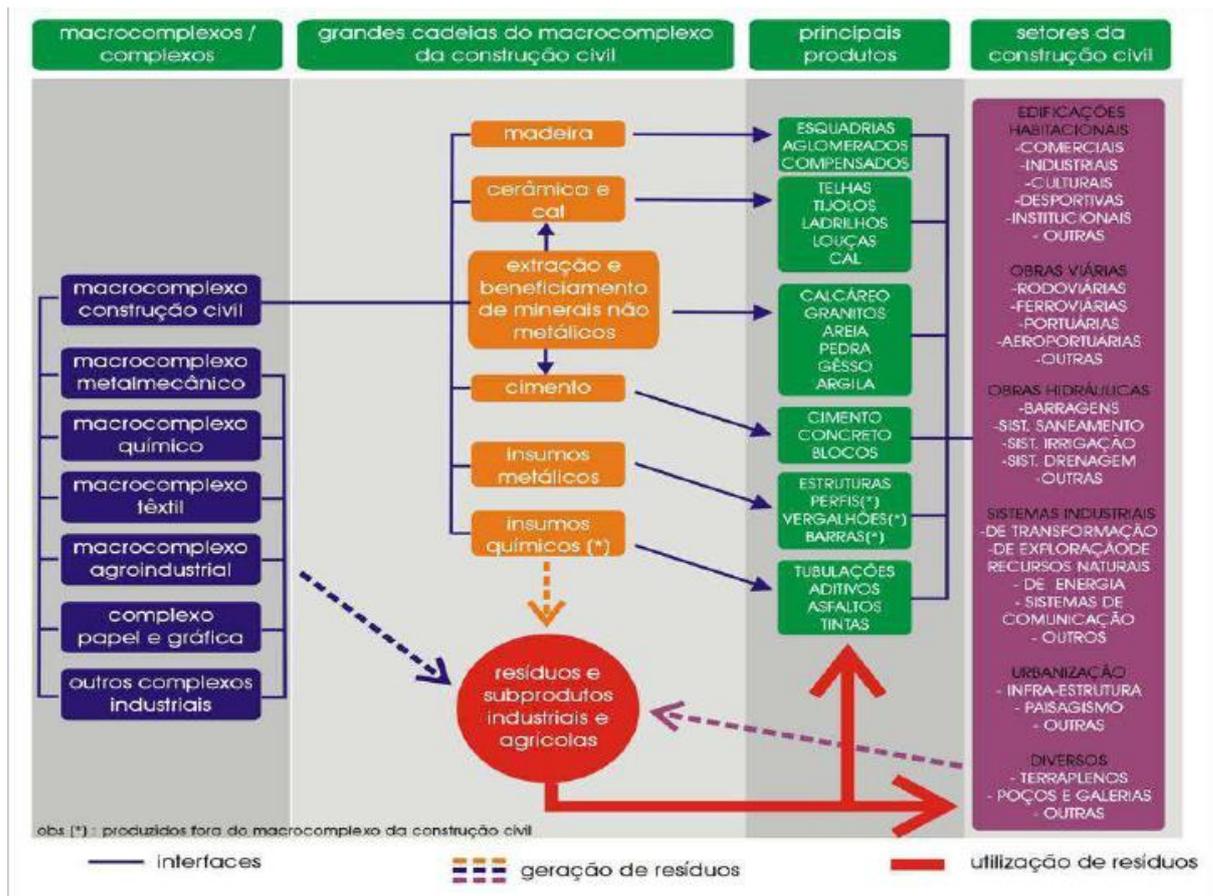
- I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
- IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

3.2.3 Utilização e reciclagem de resíduos na construção civil

Conforme Calmon (2010), a construção civil é uma grande absorvedora de resíduos de vários setores. Isto ocorre devido à visão dos macrocomplexos da economia com as amplas

redes da construção civil e seus fundamentais produtos. A busca de retornar resíduos à produtos aplicados na construção é atrativo as grandes construtoras devido a economia e à preservação do meio ambiente. Na Figura 10 e apresentado os diversos tipos de resíduos aplicados na construção civil, com ênfase nos Resíduos de construção civil (RCC), por serem deste meio e pela sua prejudicialidade.

Figura 10 – Visão da geração e utilização de resíduos na construção civil



Fonte: CALMON (2010).

Visando a redução de disposições de RCC em aterros, a tecnologia de reciclagem do entulho de construção civil vem evoluindo desde 1946 quando houve uma aplicação significativa de entulho reciclado nas obras pós Segunda Guerra Mundial. Os resíduos processados por esta área são provenientes de diversos materiais: concreto, vidro, pigmentos, asfalto, cal, cerâmicas, etc. Tais restos podem variar de acordo com a região, o que diferencia pela tecnologia, mão-de-obra e materiais utilizados nas obras. Os entulhos gerados pela construção civil totalizam em torno de 60 a 70% dos entulhos coletados nas cidades e sua maior parte pode ser reciclado para aplicação de agregados miúdos e graúdos nas obras (LEVY, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui uma Norma Brasileira (NBR) de nº 15114 que exige os requisitos mínimos para o processo de reciclagem. Esta norma classifica os resíduos na mesma forma da classificação da resolução 307 do CONAMA citada acima. De acordo com a NBR 15114 (ABNT, 2004), somente podem ser utilizados resíduos da classificação A e é necessário o conhecimento da procedência dos mesmos.

As técnicas atuais de reciclagem dos resíduos da construção civil têm evoluído, porém apenas alguns países tem esta idéia vastamente difundida. Os países com tecnologia mais avançada têm procurado um grau de padronização para produção de agregados reciclados a partir destes resíduos. A reciclagem de RCC também pode ser utilizada na fabricação de blocos de concreto para vedação e em argamassas para assentamento e vestimentos de alvenaria. No Brasil são elaboradas diversas pesquisas sobre a utilização destes agregados no concreto, sendo consideradas as aplicações ideais: pavimentos rodoviários, elementos pré-moldados e concreto (LEVY, 2010).

4 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Na era romana surgiu o primeiro concreto, diferente do concreto atual (de cimento Portland), denominado concreto romano (*opus cementicium* ou *concretus*). Os romanos utilizavam como material cimentício cal pozolânica, uma mistura de cinzas vulcânicas com cal hidratada, e como aditivos, para incorporação de ar na mistura, gordura animal, sangue e leite. Este concreto revolucionou a arquitetura da época, possibilitando grandes inovações, como fundações com plataformas de concreto. A capacidade hidráulica da cal pozolânica proporcionou a implantação de estruturas sob a água. Um exemplo destas estruturas é a cidade portuária de Roma, Ostia (KAEFER, 1998).

O concreto da era atual é o material estrutural mais significativo na construção civil, mesmo sendo o material mais recente deste âmbito. Este primeiro teve início depois da patente do cimento Portland, em 1824, na Inglaterra. O concreto revolucionou a arte de projetar e construir estruturas, atingindo seu uso demasiado no século XX, onde era considerado o material mais consumido no mundo após a água. (HELENE; ANDRADE, 2010). A NBR 12655 (ABTN, 2006, p. 2) define este concreto atual como:

Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

Conforme Lima *et al.* (2014), o concreto se tornou favorável às bases estruturais da construção civil devido à sua resistência, que é dada pela distribuição granulométrica e pela sua maleabilidade antes do endurecimento. Este primeiro sofre menor deterioração, quando exposto à água, do que os outros materiais estruturais (madeira, aço) e possui diferentes tipos, podendo atender à diversos tipos de construções (casas, rodovias, pontes, usinas hidrelétricas e nucleares, etc).

Para Isaia (2005), os romanos classificavam as propriedades do concreto visualmente devido à falta de conhecimento científico. Devido aos avanços no estudo da Ciência e Engenharia dos Materiais, o concreto de cimento Portland teve importantes evoluções nas últimas décadas. Graças aos equipamentos de estudo à pasta do concreto, com escalas microscópicas, foi possível o desenvolvimento de concretos com maiores resistências e agressividades que os anteriores.

Desde as primícias do uso contínuo do concreto, no século XX, o Brasil sobressaiu nesse âmbito em razão de projetistas e executores destacáveis, que dentre várias obras

brasileiras em concreto, elevaram o país à vanguarda mundial das construções de concreto. Tais obras incluem a Marquise da Tribuna dos Sócios do Jockey Clube do Rio de Janeiro (1926), com 22,4m em balanço; estátua do Cristo Redentor (1930), Ponte da Amizade (1962), Museu de Arte de São Paulo (1968), Ponte Rio-Nitéroi (1974), Barragem de gravidade de Itaipu (1982), e entre outros. É evidente o aproveitamento das potencialidades do concreto no Brasil. A engenharia brasileira realizou diversos tipos de obras admiráveis graças a qualificação dos engenheiros, arquitetos e demais profissionais envolvidos (VASCONCELOS; ISAIA, 2005).

4.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO

Graças ao avanço da tecnologia de materiais, durante a fase do concreto atual, que houve o desenvolvimento do concreto para diversas finalidades. Este progresso ocorreu em consequência da possibilidade de análise das características do concreto, sendo sua análise imprescindível para melhor qualidade desse material. O mesmo possui duas etapas distintas. A primeira é intitulada concreto fresco, na qual relaciona-se ao tempo necessário de mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto. Esta fase apresenta um intervalo de tempo efêmero, habitualmente de 1 a 5 horas. A segunda etapa é intitulada de concreto endurecido, na qual engloba a partir da hidratação do cimento, onde ocorre o endurecimento do concreto, perdurando por toda a vida da estrutura (HELENE; ANDRADE, 2010).

4.1.1 Estado fresco do concreto

O concreto no estado fresco deve apresentar fluidez (facilidade de mobilidade) e coesão (resistência a exsudação e segregação) durante a execução das peças estruturais, para atingir as necessidades da NBR 6118 (ABNT, 2014) no estado endurecido. Para isso é necessário que o concreto adquira a trabalhabilidade suficiente para permanecer homogêneo durante as etapas de transporte, de lançamento, de adensamento e de acabamento. O concreto deve manter essa homogeneidade até o acabamento final da peça estrutural, para evitar problemas. Para isso é necessário o adensamento correto, sem desagregar a mistura e sem ocasionar porções de ar aprisionado, pois apenas uma pequena porção resulta numa considerável perda de resistência à compressão do concreto, havendo uma maior predisposição à penetração de agentes agressivos, reduzindo a vida útil da estrutura (GUIMARÃES, 2005).

A trabalhabilidade do concreto é determinada de acordo com condições operacionais de determinadas peças estruturais. Um concreto pode ter uma boa trabalhabilidade para zona

atmosférica rural e uma má trabalhabilidade para zona litorânea. Isto é, ele é durável em um ambiente e pode não ser durável em outro (GUIMARÃES, 2005). Para Helene e Andrade (2010), esta trabalhabilidade do concreto é inspirada por fatores inerentes ao concreto e por fatores externos de influência. Em relação aos fatores inerentes inclui relação água/materiais secos, traço, tipo e consumo de cimento, textura e forma de agregados e teor de argamassa. Acerca dos fatores externos, engloba condições de transporte, esbelteza dos elementos estruturais, densidade e distribuição de armadura, dentre outras causas. Para uma boa trabalhabilidade é necessário levar em consideração todos estes fatores.

Conforme Reis (2008), inúmeras pesquisas estão em desenvolvimento acerca do estudo das propriedades do concreto fresco. Em razão do comportamento do concreto fresco, como um líquido bifásico, a reologia é um método bem presente no âmbito acadêmico deste meio por ser voltada ao estudo de deformação e fluidez, possuindo relações diretas entre tensão, deformação e tempo. Todavia, a reologia não é um método muito utilizado por consequência da sofisticação e custo elevado dos reômetros. Usualmente é utilizado como parâmetro a determinação da consistência realizada pelo ensaio de tronco de abatimento. A norma vigente para realização deste abatimento, também nomeado de *slump test*, é a NBR NM 67 (ABNT, 1998).

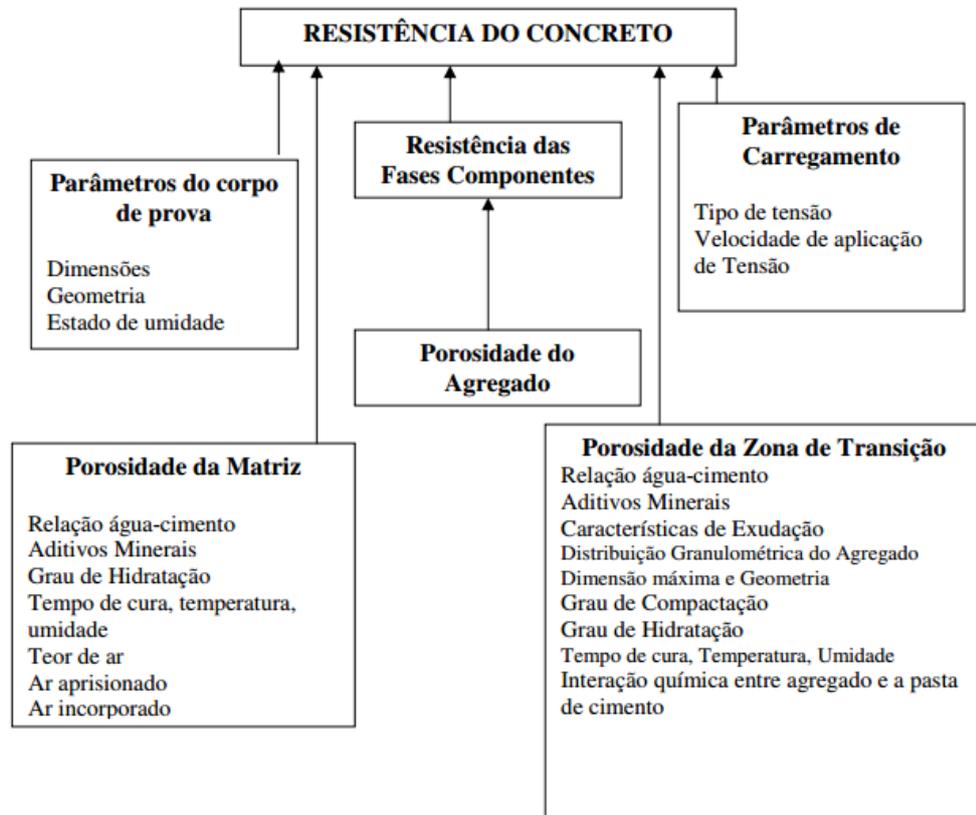
4.1.2 Estado endurecido do concreto

Para se projetar estruturas de concreto armado é necessário o conhecimento da resistência à compressão, dada durante o estado endurecido do concreto. Para atingir qualidade adequada do concreto é preciso uma trabalhabilidade com todos os processos executados corretamente. Para Mehta e Monteiro (1994), muito são os fatores que influenciam essa resistência do concreto (Figura 11). A NBR 8953 (ABNT, 2015), determina grupos de concreto (I e II) a partir da resistência do concreto. O Grupo I possui os concretos C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50, cuja resistência é a mesma do número acompanhado do “C”, e no grupo II incluem C55, C60, C70, C80, C90 e C100.

A resistência mais comumente estudada é resistência à compressão axial. Essa mesma está aplicada em todos os códigos nacionais e internacionais, para concatenar as demais resistências e propriedades, sendo considerada a propriedade mais significativa do concreto. Em consequência de muitas variáveis influentes na resistência do concreto, os valores das resistências dos corpos de prova de duas produções de concreto com o mesmo traço e o mesmo vigor de procedimento são desconformes. Na construção civil também transcorrem variações

da resistência de dosagens estudadas precedentemente. Devido à essas variações, é necessário definir uma resistência particular para que defina o material para atingir a resistência especificada (JACHINTO, GIONGO, 2005).

Figura 11 – Interação dos fatores influentes na resistência do concreto



Fonte: MEHTA; MONTEIRO (1994)

Para regularidades nos concretos, visando adquirir a resistência especificada, a NBR 5738 (ABNT, 2003) estabelece o procedimento de moldagem e cura de corpos-de-prova, cilíndrico e prismático, de concreto. Essa norma determina que os corpos-de-prova devem ter altura duas vezes maior que o diâmetro e devem ser de materiais de aço ou outro material sem absorção, sem reatividade com o cimento Portland, dentre outras especificações. Também é especificado a moldagem e cura dos corpos-de-prova.

Alguns conhecimentos sobre o concreto são de grande importância, porém pouco analisados. O módulo de elasticidade do concreto é uma dessas propriedades de grande significância e pouco estudo, pois a mesma determina os esforços solicitantes da estrutura e estados limites de serviço. Outros conhecimentos necessários que podem ser mencionados

incluem resistência no estado múltiplo de tensões e resistência à tração (JACHINTO, GIONGO, 2005).

O concreto sofre redução de volume no decorrer de seu tempo, sem ações externas. Esta redução é denominada retração, na qual ocorrem perda de água da pasta de cimento e alteração físico-química interna. A retração do concreto endurecido possui três mecanismos que podem ocasionar esta primeira (HELENE; ANDRADE, 2010):

- Retração hidráulica, que evapora a água livre ou sofre tensões capilares na pasta de cimento;
- Retração autógena, em que a soma dos volumes de água e cimento anidro é maior que o volume total dos produtos hidratados;
- Retração por carbonatação, cujos conjuntos hidratados do cimento sofrem carbonatação.

A fluência do concreto é uma deformação lenta decorrente de um carregamento constante ao longo do tempo (acima de 15 minutos). Esta propriedade engloba: fluência básica e de secagem. Fluência básica ocorre quando a deformação não sofre mudanças na UR (Umidade Relativa) ambiente, nem na temperatura, e quando há redução destas características é denominada fluência de secagem. Existem vários fatores que podem inferir nesta propriedade do concreto, tais quais englobam: características dos materiais, tipo de concreto, tempo, condições ambientais, entre outros (HASPARYK *et al.*, 2005; HELENE; ANDRADE, 2010).

O concreto sofre efeitos internos e externos de temperatura. As condições climáticas, baixa umidade do ar e ação do vento são os fatores externos que podem resultar em problemas no concreto. Aos fatores internos, o calor gerado pela hidratação do cimento é colocado em evidência, pois ocorre no estágio inicial de cura até o fim do endurecimento, sendo um dos maiores causadores de problemas patológicos. Os fatores citados anteriormente geram a retração térmica durante o resfriamento das primeiras idades. Para evitar alteração nas propriedades do concreto, em fator da temperatura, é necessário empregar corretamente medidas preventivas para garantir a durabilidade das estruturas, minimizando a retração e evitando o descontrole (GRAÇA; BITTENCOURT; SANTOS, 2005).

4.2 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS

O desenvolvimento sustentável depende dos engenheiros. Isso é devido a quantidade de resíduos produzidos pela construção civil. Para diminuir as cargas ambientais a engenharia precisa inovações (JOHN, 2010). Quando não há reuso desses resíduos, estes são depositados

em aterros, ou em ambientes não adequados. A cidade de São Paulo recebia, no ano de 2000, aproximadamente 330 mil toneladas mensalmente de entulhos de obras, que eram descarregados em locais inapropriados (ATESP, 2000 *Apud*. LEVY, 2010).

Visando a diminuição de resíduos em aterros, foram realizados estudos acerca da substituição de agregados, em parte ou totalmente, por diversos tipos de resíduos, dos quais alguns desses estudos serão discorridos a seguir.

4.2.1 Concreto com adição de RCD

O uso de RCD no concreto causa impacto, durante o estado fresco da mistura, nas condições de misturas e na trabalhabilidade do concreto, dificultando a determinação efetiva da relação água/cimento. No estado endurecido, a retração e porosidade dos concretos com agregados RCD são maiores que os com agregados convencionais. Em consequência da maior porosidade do concreto com resíduos, a resistência desse último será menor do que a mistura padrão. Acerca da resistência, esta pode ser elevada, reduzindo a relação água/cimento (ÂNGULO; FIGUEIREDO, 2011).

Cabral *et al.* (2007), estudaram a resistência à compressão de concretos com RCD utilizando, 3 tipos de RCD como agregados miúdo e graúdo: concreto, argamassa e cerâmica vermelho. Seus estudos resultaram na redução da resistência do concreto em relação ao concreto referencial, exceto com o uso da cerâmica vermelha, que resultou um pequeno aumento da resistência. O agregado de cerâmica vermelha aumentou a resistência devido ao fornecimento entre a matriz de cimento e os agregados reciclados, dada pela superfície áspera deste primeiro.

Para Ângulo e Figueiredo (2011), desde que o RCD seja adequadamente segregado ou triado eficientemente e tenha sua porosidade controlada, é possível produzir qualquer tipo de concreto com estes agregados. Entretanto é inevitável a perda de desempenho do concreto com RCD comparado ao referencial. Para isso é necessário a compatibilização da relação água/cimento com a porosidade do agregado. Para realizar este processo apropriadamente é necessário a separação dos resíduos, por suas diferentes características e ações na mistura. No Quadro 5 são apresentados os materiais de RCD, conforme a NBR 15116 (ABNT, 2004).

Quadro 5 – Materiais de RCD classificados conforme a NBR 15116

	<p style="text-align: center;">Cimentícios</p> <p style="text-align: center;">Fragmentos que apresentam pasta de cimento endurecida em mais de 50% do volume</p>
	<p style="text-align: center;">Rochas</p> <p style="text-align: center;">Fragmentos constituídos por rocha em mais de 50% do volume</p>
	<p style="text-align: center;">Cerâmica vermelha</p> <p style="text-align: center;">Fragmentos de cerâmica vermelha, com superfície não polida, em mais de 50% do volume</p>
	<p style="text-align: center;">Materiais indesejáveis</p> <p style="text-align: center;">Orgânicos (Madeira, papel, concreto asfáltico etc.)</p> <p style="text-align: center;">Inorgânicos (Vidrados cerâmicos, metal etc.)</p>

Fonte: ÂNGULO; FIGUEIREDO, 2011

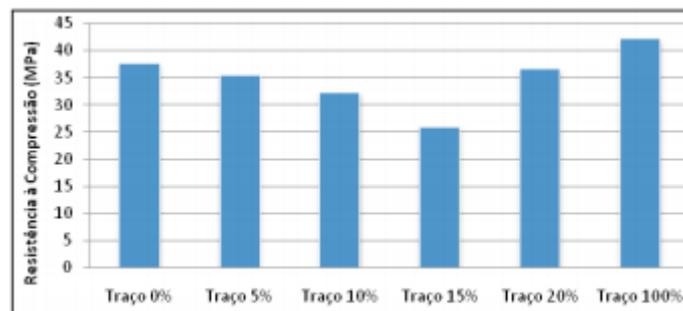
4.2.2 Concreto com adição de vidro

Lopez, Azevedo e Barbosa Neto (2005) realizaram estudos acerca do concreto com resíduos de vidro, com adição, deste último, com base no peso do agregado miúdo utilizado na

mistura e na substituição desses resíduos por parte da areia, ambas nas porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20%. A respeito da adição do agregado no concreto, todos os resultados da tensão de ruptura foram maiores em relação ao traço padrão. Na adição de 5%, o maior valor da tensão de ruptura atingiu 56,6% superior à mistura padrão. É constatado que esta adição de vidro é tecnicamente viável, embora o número de vazios nos corpos de prova sofreriam um aumento em consequência da característica hidrofóbica do vidro.

Righi *et al.* (2011) apresentaram estudos de substituição de areia pelo resíduo de vidro, com porcentagens de 5%, 10%, 15%, 20% e 100% em relação ao traço padrão (0%). Os corpos-de-prova das amostragens foram submetidas a resistência à compressão. Na Figura 12 é mostrado os resultados desta pesquisa, na qual a substituição de até 15% de vidro no concreto descreve sua resistência e a substituição total da areia pelo vidro atingiu uma resistência maior do que a da mistura padrão.

Figura 12 – Resistência à compressão dos concretos com substituição de areia pelo resíduo



Fonte: RIGHI *et al.*, 2011

4.2.3 Concreto com adição de cinza de casca de arroz

Conforme os estudos de Santos (1997), a cinza de casca de arroz é uma pozolana altamente reativa, podendo ser viavelmente utilizada na produção de argamassas e concretos, substituindo o cimento Portland. Santos empregou 4 tipos de moagem, executada a seco em moinho de bolas, com tempos distintos. Constatou-se que todas as cinzas obtiveram ótimos graus de moagem, resultando num índice máximo de atividade pozolana. O tipo de cinza com maior atividade pozolana foi produzida por processo industrializado com uma queima de 4h. Na Figura 13 é apresentado a cinza de casca de arroz após o processo de moagem.

As amostras de concreto, realizadas no estudo de Santos (1997), foram utilizadas em substituição de 15% e 40% em relação à argamassa. Até os 28 dias as amostras com os resíduos apresentaram desempenhos relativamente inferiores às amostras referências, que possuíam

sílica ativa. Após 90 dias, o concreto com o resíduo de cinza de casca de arroz tornou-se iminentemente mais resistente que o concreto de referência.

Figura 13 – Cinza de casca de arroz após o processo de moagem



Fonte: BARBOSA, 2006

4.2.4 Concreto com adição de resíduos de borracha de pneu

De acordo com os estudos Fioriti, Ino e Akasaki (2007), o concreto com adição de resíduos de pneu pode ser viável apenas para solicitações leves (calçadas, praças) devido à baixa resistência. Foram utilizadas misturas com adição de 10%, 12% e 15% de resíduo. A resistência à compressão destes concretos varia entre 19MPa a 23MPa. Também se constatou que os índices de absorção dos concretos com adição do resíduo foram inferiores em relação ao concreto sem resíduo.

Giacobbe (2008) apresentou estudos com substituição de 15% da areia pelo resíduo de pneu, conforme o traço referencial, e 7,5% e 15% em relação à areia, mas com adição de água em relação ao teor de resíduos das misturas. O concreto fresco com adição de resíduo perdeu massa específica. No concreto endurecido, a absorção e o volume de vazios aumentaram quando comparados ao traço referencial, devido à dificuldade de compactação que o resíduo de pneu (borracha) causa ao concreto. As resistências dos concretos com resíduo foram menores do que ao concreto isento de resíduo.

Apesar da resistência à compressão axial destes concretos com resíduo de borracha de pneu serem menores do que concretos sem resíduo, certas áreas da construção civil têm potencial do uso do resíduo, sem tratamento prévio. Devido à grande escala de diferentes produtos consumidos na construção civil, este resíduo pode ser incorporado a outros materiais

empregados neste meio (BOAVENTURA, 2011). Na Figura 14 é apresentado o resíduo de borracha de pneu.

Figura 14 – Resíduo de borracha de pneu



Fonte: FIORITI; INO; AKASAKI, 2007

4.2.5 Concreto com adição de garrafa PET

Candido, Barreto e Cabral (2014) apresentaram seus estudos sobre concreto com adição de garrafa PET, substituindo o agregado miúdo em 15%, 30% e 45%. Das amostras, a que houve 15% de substituição foi considerada a melhor dentre as misturas com adição do resíduo, apresentando aumento de resistência à compressão, entretanto o traço de referência apresentou maior massa seca e condutividade térmica. Na Figura 15 é apresentado o resíduo de garrafa PET utilizado na fabricação de concretos.

Figura 15 – Resíduo de garrafa PET



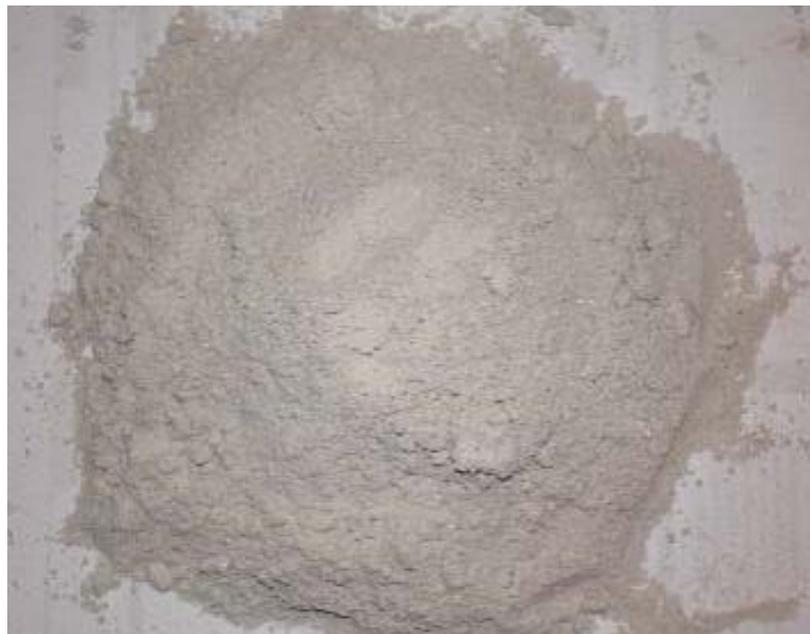
Fonte: MODRO *et al.*, 2009

Nos estudos realizados por Modro *et al.* (2009), também acerca de concreto com garrafa PET, o agregado miúdo foi substituído em 10%, 20%, 30% e 40% pelo resíduo de PET. Quanto maior a adição maior foi a perda de resistência, comparada ao traço referencial. O decréscimo da resistência ocorre devido ao polímero, a matriz cimentícia e a porosidade residual gerada possuem baixa interação química, e também pela resistência mecânica do agregado miúdo ser maior que a do resíduo. Constata-se que a utilização de concreto com garrafa PET é viável apenas para materiais não-estruturais.

4.2.6 Concreto com adição de resíduos de corte de granito

Para Gonçalves (2000), o concreto com adição de resíduos de corte de granito (RCG) é viável tecnicamente. Foram estudados concretos com teor de 10% e 20% de substituição do agregado miúdo pelo resíduo. Acerca do concreto fresco, as misturas com adição de RCG obtiveram uma consistência mais coesiva e uma menor exsudação, tendo resultados mais significativos para um maior teor do resíduo. Em relação a resistência por compressão axial, utilizando o concreto sem adição como base comparatória, a mistura com 10% de adição de RCG recebeu um aumento de 8%, e na mistura com 20%, houve um aumento de 19,6%. Na Figura 16 é apresentado o resíduo de corte de granito para aplicação no concreto.

Figura 16 – Resíduo de corte de granito para aplicação no concreto



Fonte: ALVES, 2008

Em relação à porosidade, a mistura com 10% de RCG sofreu uma diminuição de 12% da porosidade, cuja consequência disso foi um melhor preenchimento dos poros, resultando num decréscimo da taxa de absorção e acréscimo na resistência capilar. A mistura com 20% de RCG ganhou 6% de porosidade, aumentando o número de finos. A absorção por imersão está associada a absorção de água no estado endurecido do concreto. Em relação ao traço de referência, a mistura com 10% de RCG recebeu 10,2% de diminuição da taxa de absorção, enquanto a mistura com 20% ocorreu um aumento de 2,5%. A respeito do índice de vazios, o concreto com 10% de adição também apresentou melhores características do que os outros, tornando-se viável utilização de 10% de RCG (GONÇALVES, 2000).

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1 AQUISIÇÃO DO RESÍDUO DE TINTA

O resíduo de tinta foi oferecido pela indústria JRI Max Vinil Tintas, localizada em Aparecida de Goiânia – GO. O processo de obtenção do resíduo de tinta à base de água vem da lavagem dos caldeirões de tinta, na qual o líquido dessa lavagem é escoado em ralos e transportados para reservatórios.

No primeiro reservatório é adicionado sulfato de alumínio na água da lavagem para separação da borra da tinta e da água, e depois é transferido para outro reservatório, no qual ocorre a decantação. A água desse processo é canalizada para ser redistribuída nos jardins da indústria, e a borra, quando seca, é mandada para disposição final em aterro apropriado. Nas Figuras 17 e 18 são apresentadas os reservatórios.

Figura 17 – Reservatório em que é utilizado o sulfato de alumínio



Fonte: Próprio autor, 2018

Após o processo de decantação obtem-se o resíduo. O resíduo do experimento foi adquirido de duas formas, pastosa e seca, apresentados nas Figuras 19 e 20. A pastosa foi obtida antes da realização do processo de secagem. Entretanto, devido a praticidade com os experimentos, foram utilizados apenas o resíduo seco.

Para a utilização do resíduo de tinta nos traços dos concretos, o mesmo passou pela estufa e por um processo de destorroamento, para ter sua granulometria analisada. Este processo é apresentado no estudo da dosagem.

Figura 18 – Reservatório de decantação



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 19 – Resíduo de tinta na forma pastosa



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 20 – Resíduo de tinta na forma seca



Fonte: Próprio autor, 2018

De acordo com a empresa JRI Max Vinil Tintas, que forneceu o resíduo, as tintas que originam tais resíduos possuem 40% de água em sua composição. Os outros componentes são:

- Resina estirenada acrílica (sólidos);
- Propil fenil éter;
- Etileno glicol;
- Amônia (solução 25%);
- Aguarrás mineral;
- Polímeros acrílicos;
- Aquil lauril éter;
- Derivados de isotiazonas e semi-acetais;
- Dióxido de titânio;
- Silicato de alumínio;
- Carbonato de cálcio ppt;
- Carbonato de cálcio natural.

Destes componentes químicos, a toxicidade da amônia é relativamente alta, embora sua aplicação na tinta é apenas 0,5%. As substâncias etileno glicol, aguarrás mineral, dióxido de titânio e os derivados de isotiazonas e semi-acetais, possuem baixa toxicidade, embora necessitem de procedimentos conforme as normas regulamentadoras vigentes. Em vista disso, este resíduo pode ser considerado como não tóxico, mas necessita-se de pesquisas mais detalhadas sobre a composição química do resíduo.

5.2 ESTUDO DA DOSAGEM

O estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland é a metodologia necessária para a aquisição da melhor proporção dos materiais utilizados na mistura, nomeado traço. Essa simetria ideal pode ser expressa em massa ou volume, sendo a proporção em massa seca dos materiais mais rigorosa e preferível. No estudo de dosagem é visado uma mistura ideal com a opção mais econômica, buscando a obtenção de uma série de requisitos, de acordo com os materiais obtidos e à região determinada (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Conforme Tutikian e Helene (2011), no Brasil não existe uma norma ou texto padrão vigente para os procedimentos e parâmetros de dosagem do concreto, assim não há consenso em qual método deve ser utilizado no estudo. Com a ausência da estipulação de como deve ser realizado os estudos de dosagem, diversos pesquisadores desenvolveram seus próprios métodos

de dosagem.

O método de dosagem utilizado como base do trabalho foi o método experimental da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para concretos fluidos. A escolha deste método deu-se pela simplicidade e eficiência do mesmo, e pela grande utilização deste método nas concreteiras da região e em artigos acadêmicos.

5.2.1 Características dos materiais utilizados

5.2.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado nos traços foi o CP II-F-32, da marca Ciplan, produzido em Sobradinho (DF) e obtido numa loja de materiais de construção local. O armazenamento deste produto ocorreu conforme os parâmetros da NBR 11578 (ABNT, 2001), que visa a preservação da qualidade do cimento, tendo o armazenamento em locais secos e protegidos.

O cimento empregado está dentro das especificidades da norma citada acima. A empresa oferece os resultados dos ensaios físicos acerca das propriedades do concreto, conforme mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaios físicos do cimento Portland CP II-F-32 da Ciplan

Ensaios físicos						
Resistência 1 dia	Resistência 3 dias	Resistência 7 dias	Resistência 28 dias	Blaine	Início de pega	Fim de pega
15,0 MPa	23,0 MPa	28,0 MPa	33,0 MPa	5000	195 min	270 min

Fonte: CIPLAN, s. d.

5.2.1.2 Água

Empregou-se água potável oriunda da Saneago (Saneamento de Goiás), a rede de tratamento público vigente na cidade de Anápolis.

5.2.1.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo foi caracterizado conforme a norma NBR NM 248 (ABNT, 2001), para determinar a composição granulométrica do mesmo. Também foi determinada a massa

específica da areia, conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2003). Ambos apresentados na Tabela 2.

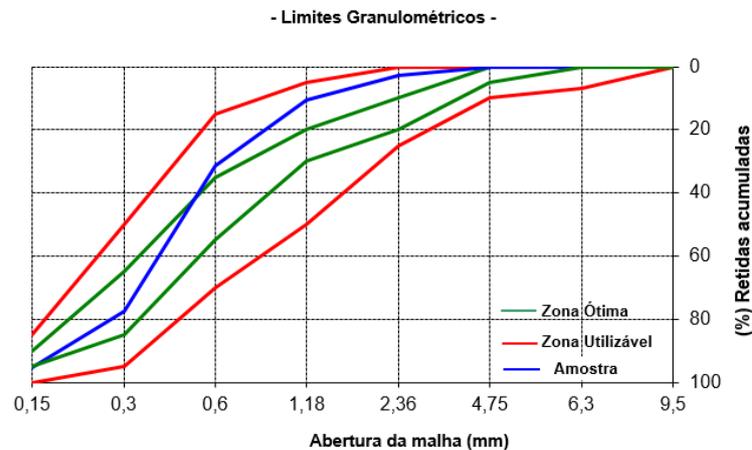
Tabela 2 – Resultados da caracterização granulométrica do agregado miúdo

Composição granulométrica	Resultados		
	Massa retida (g)	% retida	
Peneiras (mm)		Simplex	Acumulada
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,75	0	0	0
2,36	14,1	2,8	2,8
1,18	38,2	7,7	10,5
0,600	104,3	20,9	31,4
0,300	230,8	46,2	77,6
0,150	88,3	17,7	95,3
Prato	23,3	4,7	100,0
TOTAL	499	100	-
Módulo de finura		2,176	
Massa específica		2540 Kg/m ³	

Fonte: Próprio autor, 2018

No Gráfico 1 é apresentada a curva granulométrica do agregado miúdo, utilizado nesse estudo. Em conformidade com as normas NBR NM 248 (ABNT, 2001) e NBR 7211 (ABNT, 2005), o Gráfico apresenta a posição da amostra entre as zonas ótima e utilizável.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Próprio autor, 2018

5.2.1.4 Agregado graúdo

A brita 1 foi o agregado graúdo escolhido na produção do concreto, e foi caracterizado de acordo com as normas vigentes. A dimensão máxima dessa brita é 19,0 mm e suas características, em relação a granulometria, massa específica e massa unitária, estão presentes na Tabela 3.

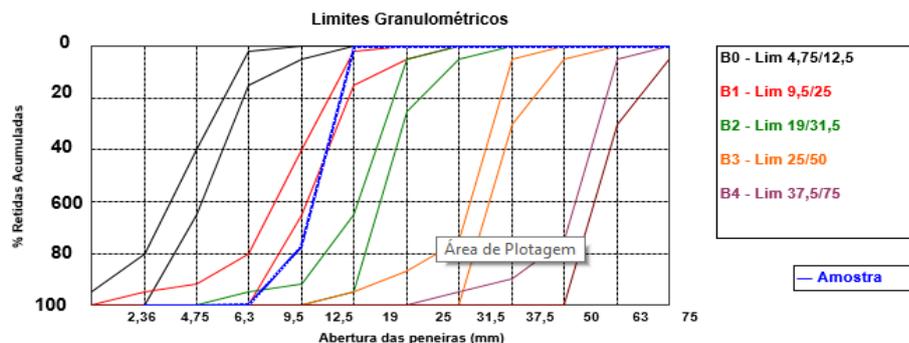
Tabela 3 – Resultados da caracterização granulométrica do agregado graúdo

Composição granulométrica	Resultados		
	Massa retida (g)	% retida	
Peneiras (mm)		Simple	Acumulada
19,0	0	0	0
12,5	2320	77,4	77,4
9,5	670	22,3	99,7
4,75	10	0,3	100
2,36	0	0	100
Prato	0	0	100
TOTAL	3000	100	-
Módulo de finura		3,768	
Massa específica		2770 Kg/m ³	
Massa unitária		1515 Kg/m ³	

Fonte: Próprio autor, 2018

No Gráfico 2 é apresentada a curva granulométrica do agregado graúdo em conformidade com as informações acima. O Gráfico apresenta os limites inferiores e superiores para os agregados graúdos, em conformidade com as normas vigorantes.

Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Próprio autor, 2018

5.2.1.5 Resíduo de Tinta

O resíduo de tinta foi caracterizado conforme as normas atuais para agregado miúdo, devido a finura deste material, para determinações da composição granulométrica e da massa específica. Os resultados desta caracterização são apresentados na Tabela 4.

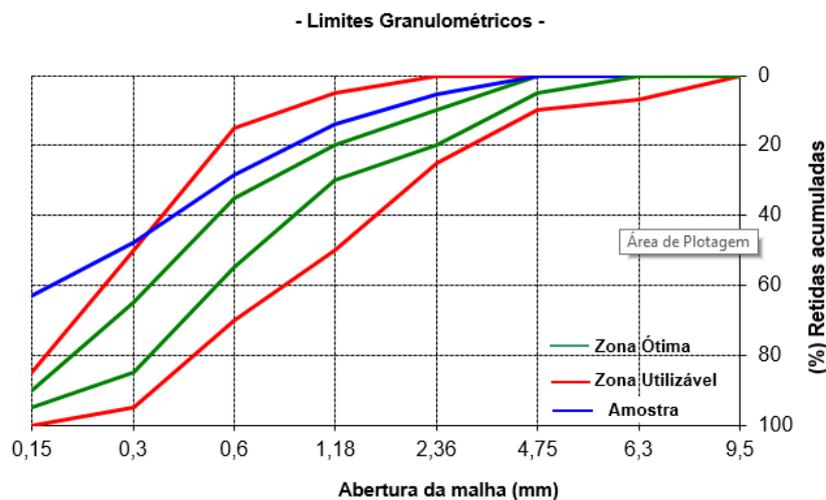
Conforme a granulometria do resíduo de tinta ser baseado na do agregado miúdo, esta primeira se encontra em conformidade com as normas NBR NM 248 (ABNT, 2001) e NBR 7211 (ABTN, 2005). O Gráfico 3 apresenta a posição da amostra do resíduo entre as zonas ótima e utilizável a partir de sua curva granulométrica. Na Figura 21 é apresentada a massa retida do resíduo na peneira de 2,36mm

Figura 21 – Massa retida do resíduo de tinta na peneira de 2,36mm



Fonte: Próprio autor, 2018

Gráfico 3 – Curva granulométrica do resíduo de tinta



Fonte: Próprio autor, 2018

Tabela 4 – Resultados da caracterização granulométrica do resíduo de tinta

Composição granulométrica	Resultados		
	Massa retida (g)	% retida	
Peneiras (mm)			Simples
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,75	0	0	0
2,36	27	5,4	5,4
1,18	42	8,4	13,8
0,600	72	14,5	28,3
0,300	97	19,4	47,7
0,150	76	15,2	62,9
Prato	185	37,1	100,0
TOTAL	499	100	-
Módulo de finura		1,581	
Massa específica		2140 Kg/m ³	
Massa unitária		1540 Kg/m ³	

Fonte: Próprio autor, 2018

5.3 DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS

5.3.1 Determinação da relação água/cimento

Para determinação da relação água/cimento (a/c) é necessário a obtenção da resistência média à compressão do concreto prevista para 28 dias (f_{c28}). De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006), é necessária a utilização de variabilidade para determinação obtenção do f_{c28} , devido as inconstâncias predominantes nas construções. De acordo com essa mesma NBR, o desvio padrão adotado é 4,0, pelo preparo de concreto atender a condição A do item 5.6.3.1. Na Equação 1 é adotado essas informações.

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 * S_d \quad (1)$$

Onde:

f_{c28} = resistência do concreto requerida aos 28 dias;

f_{ck} = resistência característica do concreto;

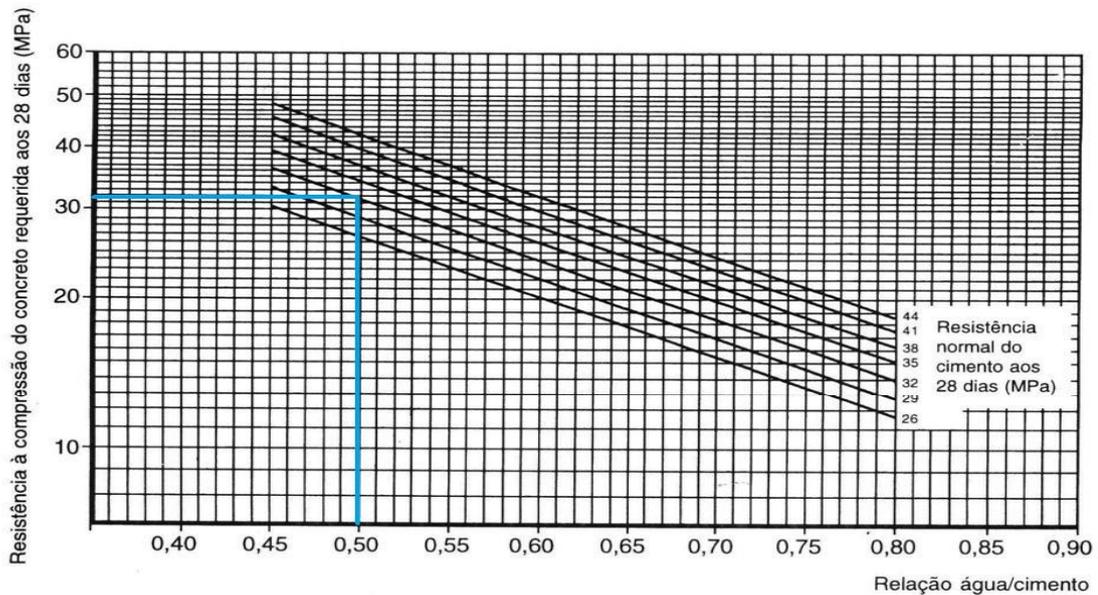
S_d = desvio padrão.

$$f_{c28} = 25 + 1,65 * 4$$

$$f_{c28} = 31,6 \text{ MPa}$$

Com a determinação da resistência média do concreto aos 28 dias é possível encontrar a relação água/cimento a partir das curvas Abrams de cimento (Figura 22).

Figura 22 – Curva de Abrams



Fonte: RODRIGUES, 1998 (adaptado)

Conforme analisado na Figura 22, a relação a/c do traço é 0,5.

5.3.2 Determinação do consumo de materiais

5.3.2.1 Determinação do consumo de água

Para determinação do consumo de água é preciso escolher a brita e o abatimento desejados. Foram escolhidos brita 1 e abatimento de 80 a 100 mm, para o desenvolvimento do traço. Por meio da Tabela 5 é definido o diâmetro máximo do agregado graúdo, que em relação com o abatimento é encontrado o consumo de água (C_a), na Tabela 6.

Tabela 5 – Dimensões máximas e mínimas do agregado graúdo

Malha de peneira (mm)		
Número	Mínima	Máxima
Brita 0	2,4	9,5
Brita 1	4,8	19,0
Brita 2	9,5	25,0
Brita 3	19,0	50,0

Fonte: RODRIGUES, 1998

Tabela 6 – Consumo aproximado de água

Consumo de água aproximado (l/m³)					
Abatimento (mm)	Diâmetro máximo do agregado graúdo				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: RODRIGUES, 1998

Portanto o consumo aproximado de água é de 205 litros.

5.3.2.2 Determinação do consumo de cimento

O consumo de cimento (C_c) está correlacionado diretamente ao consumo de água, conforme é mostrado na Equação 2:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

$$C_c = \frac{205}{0,5}$$

$$C_c = 410,00 \text{ kg/m}^3$$

Logo o consumo do cimento é de 410,00 kg/m³

5.3.2.3 Determinação do consumo de agregado graúdo

A determinação do agregado graúdo (C_b) é dada a partir da relação entre o módulo de finura da areia e da dimensão máxima característica do agregado, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Volume compactado seco de brita por metro cúbico de concreto

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: RODRIGUES, 1998

O valor obtido na caracterização do módulo de finura da areia foi 1,8 e o agregado graúdo escolhido foi brita 1, com dimensão máxima de 19,0 mm, portanto $V_b = 0,770$. Para definição do agregado graúdo em metro cúbico de concreto também é necessário a massa unitária do mesmo. A Equação 3 representa o cálculo do C_b .

$$C_b = V_b * M_u \quad (4)$$

Onde:

C_b = volume compactado seco de brita por m^3 de concreto;

M_u = massa unitária da brita.

$$C_b = 0,770 * 1515$$

$$C_b = 1166,55 \text{ kg/m}^3$$

Portanto o consumo de agregado graúdo é de $1166,55 \text{ kg/m}^3$.

5.3.2.4 Determinação do consumo de agregado miúdo

A determinação do volume do agregado miúdo (V_m) em metros cúbicos é dado por uma correlação entre a soma do consumo volumétrico de cimento, areia e brita sobre suas respectivas massas específicas, dada pela Equação 4.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (5)$$

Onde:

γ_c = massa específica do cimento;

γ_b = massa específica da brita;

γ_a = massa específica da areia.

$$V_m = 1 - \left(\frac{410}{3100} + \frac{1166,55}{2770} + \frac{205}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,242$$

Com base na obtenção do volume de areia, em metros cúbicos, é necessário encontrar o consumo de agregado miúdo (C_m) à partir da Equação 5.

$$C_m = V_m * \gamma_m \quad (6)$$

Onde:

V_m = volume de areia;

γ_m = massa específica da areia.

$$C_m = 0,242 * 2540$$

$$C_m = 614,68 \text{ Kg/m}^3$$

Portanto, o consumo de agregado miúdo é de 614,68 kg/m³.

5.3.3 Apresentação do traço

A apresentação do traço é dada pela Equação 6.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (7)$$

Onde:

C_c = consumo de cimento;

C_m = consumo de agregado miúdo;

C_b = consumo de agregado graúdo;

C_a = consumo de água.

$$\frac{410}{410} : \frac{614,68}{410} : \frac{1166,55}{410} : \frac{205}{410} \rightarrow 1 : 1,49 : 2,85 : 0,5$$

Devido a baixa trabalhabilidade desse traço, com um *slump test* de 20mm. conforme a Figura 23, o traço foi corrigido adicionando cimento, água e areia, seguindo a relação água/cimento (0,5) para não afetar a resistência do concreto. O traço utilizado nas amostras é apresentado na Tabela 8.

Figura 23 – Abatimento do primeiro traço do concreto referencial



Fonte: Próprio autor, 2018

Tabela 8 – Traço unitário do concreto referencial

Traço unitário (Kg)			
Cimento	Areia	Brita	Água
1	1,22	1,97	0,5

Fonte: Próprio autor, 2018

5.3.4 Determinação dos traços e moldagem dos corpos de prova

Com o intuito de uma avaliação para determinar se é viável ou não a produção de concreto com resíduo de tintas, foram feitos traços com adição de 5%, 10% e 15% de resíduo com base no agregado miúdo e traços com substituição de areia pelo resíduo, nas mesmas porcentagens acima para melhor análise da viabilidade de utilização desse resíduo no concreto. Na Tabela 9 é apresentado a quantidade unitária dos materiais de cada traço.

Tabela 9 – Traço unitário dos concretos produzidos

Traço unitário dos concretos					
Traço	Cimento	Areia	Brita	Água	Resíduo
Referencial	1,000	1,220	1,970	0,500	0,00
Adição de 5%	1,000	1,220	1,970	0,500	0,061
Adição de 10%	1,000	1,220	1,970	0,500	0,122
Adição de 15%	1,000	1,220	1,970	0,500	0,183
Substituição de 5%	1,000	1,159	1,970	0,500	0,061
Substituição de 10%	1,000	1,098	1,970	0,500	0,122
Substituição de 15%	1,000	1,037	1,970	0,500	0,183

Fonte: Próprio autor, 2018

Foram moldados 60 corpos de provas, 6 para o traço referencial (com rompimento de 7 e 28 dias) e 9 para os traços com o resíduo de tinta (com rompimento de 3, 7 e 28 dias). Os corpos de prova utilizados possuem a dimensão de 10x20 cm² e as moldagens foram em conformidade com a NBR 5738 (ABTN, 2003). Na Figura 24 é apresentado a produção de concreto na betoneira e na Figura 25 é mostrado alguns corpos de prova.

Figura 24 – Produção de concreto na betoneira



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 25 – Corpos de prova do concreto com adição de 5%



Fonte: Próprio autor, 2018

Acerca do procedimento de cura do concreto, o processo foi condizente com as exigências da NBR 5738 (ABNT, 2003), sendo armazenados numa solução saturada de hidróxido de cálcio, como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Cura do concreto



Fonte: Próprio autor, 2018

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

6.1 TRABALHABILIDADE

Como dito anteriormente, a trabalhabilidade seguiu os padrões da NBR NM 67 (ABNT, 1998). Os resultados dos abatimentos obtidos podem ser observados na Tabela 10, e os registros fotográficos dos mesmos nas Figuras 27 a 33.

Tabela 10 – Abatimento dos concretos

Traço	Abatimento (mm)
Referencial	60
Adição de 5%	70
Adição de 10%	55
Adição de 15%	55
Substituição de 5%	70
Substituição de 10%	60
Substituição de 15%	50

Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 27 – Abatimento do concreto referencial



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 28 – Abatimento do concreto com adição de 5%



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 29 – Abatimento do concreto com adição de 10%



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 30 – Abatimento do concreto com adição de 15%



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 31 – Abatimento do concreto com substituição de 5%



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 32 – Abatimento do concreto com substituição de 10%



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 33 – Abatimento do concreto com substituição de 15%



Fonte: Próprio autor, 2018

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 10, é possível chegar as seguintes conclusões:

- O concreto com porcentagem de 5%, tanto de adição quanto de substituição, alcançou a maior trabalhabilidade;
- O concreto com 10% de substituição apresenta a mesma trabalhabilidade do concreto referencial;
- Os concretos com 10% de adição e 15% de adição e de substituição obtiveram uma trabalhabilidade levemente menor do que o concreto sem resíduo;
- Pode-se deduzir que a partir de 10% de utilização do resíduo em relação a areia, quanto maior a utilização de resíduo de tinta na mistura, menor será a trabalhabilidade.

6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Na Tabela 11 é apresentado as médias da resistência a compressão axial de todos os traços em todas as datas de rompimento.

Tabela 11 – Evolução da resistência à compressão axial de todos os traços

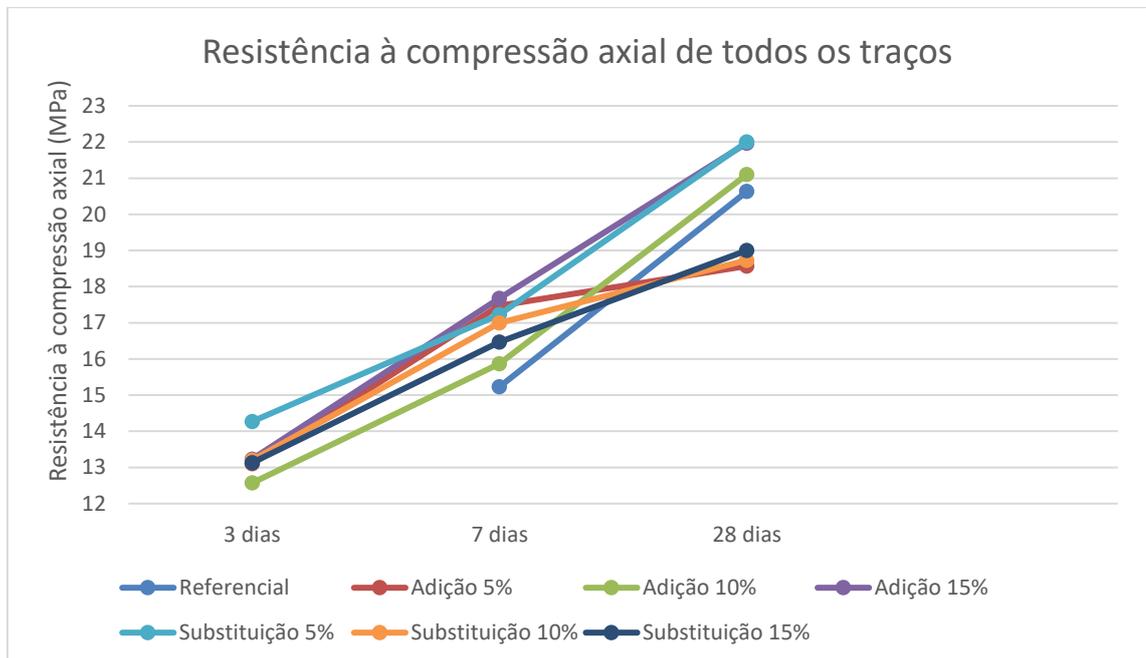
Traço	Resistência média à compressão axial (MPa)		
	3 dias	7 dias	28 dias
Referencial	-	15,23	20,63
Adição 5%	13,10	17,47	18,57
Adição 10%	12,57	15,87	21,10
Adição 15%	13,23	17,63	21,97
Substituição 5%	14,27	17,23	22,00
Substituição 10%	13,20	17,00	18,73
Substituição 15%	13,13	16,47	19,00

Fonte : Próprio autor, 2018

Visando uma complementação para a análise comparativa entre os resultados obtidos em todos os traços, foi desenvolvido o Gráfico 11, que apresenta o conjunto das evoluções das resistências à compressão axial.

As três amostras de 5% de adição aos 28 dias apresentaram falhas de adensamento, por isso suas resistências aos 28 dias não apresentaram resultados melhores. Na Figura 34 é apresentado um desses corpos de prova com este tipo de falha.

Gráfico 4 – Evolução da resistência à compressão axial de todos os traços



Fonte: Próprio autor, 2018

Figura 34 – Concreto com adição de 5% para o rompimento aos 28 dias



Fonte: Próprio autor, 2018

Com a análise da Tabela 11, do Gráfico 4 e da Figura 34, é possível fazer as seguintes considerações:

- Nenhum resultado foi significativamente maior que o do concreto referencial;
- Quanto maior a porcentagem de adição do resíduo de tinta, maior a resistência aos 28 dias;

- O concreto com substituição de 5% da areia pelo resíduo de tinta apresentou maior resistência a compressão axial;
- Todos os traços com adição de resíduo apresentaram resistências um pouco maiores que a do concreto referencial, aos 7 dias;
- Os traços de substituição acima de 10% apresentaram variações grandes entre cada corpo de prova, e suas resistências à compressão média aos 28 dias foram abaixo, em comparação ao traço referencial;
- O traço de adição de 5% de resíduo em relação a massa da areia apresentou bons resultados aos 7 dias, mas devido a falhas de adensamento, suas resistências aos 28 dias foram as mais baixas;
- O resíduo apresenta resultado positivo na resistência à compressão axial do concreto quando utilizado como aditivo, e como substituição por parte da areia, 10% é uma porcentagem que começa a agir negativamente nessa propriedade.

Prosseguindo acerca da análise do comportamento característico das rupturas do concreto, a Figura 35 apresenta um dos rompimentos por compressão axial aos 28 dias, especificamente do traço de adição de 10%.

Figura 35 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Traço 10 % de adição



Fonte: Próprio autor, 2018

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho constituiu-se na aplicabilidade do resíduo de tinta à base de água no concreto, verificando a viabilidade, trabalhabilidade e resistência à compressão axial. Devido à classificação do resíduo de tinta, não há registros de reutilização do mesmo, apesar da composição da tinta não possuir metais pesados e ter apenas 0,5% de amônia em sua composição. Para mais estudos acerca deste assunto é viável um estudo da composição química do resíduo.

As considerações expostas aqui são de acordo com o desenvolvimento deste trabalho, então devido a diversas variáveis é necessário outros estudos acerca deste resíduo de tinta e de concreto fabricado com ele, para melhores e mais ricas avaliações precisas da viabilidade do uso, devido à falta de estudos acerca desse tema.

A substituição e adição de resíduo de tinta pode impactar positivamente ou negativamente na resistência à compressão axial. A adição obteve resultados positivos, onde que as porcentagens de 10% e 15% tiveram resistência superior ao referencial, e provavelmente o de 5% teve resistência inferior devido à falha de adensamento.

Acerca dos concretos com substituição da areia pelo resíduo, apenas 5% de substituição gerou impacto positivo, sendo um pouco mais resistente que as amostras, e as amostras com 10% e 15% geraram impactos negativos. Entretanto, a amostra com 15% de substituição teve resistência irrelevantemente superior à de 10%, indicando que possivelmente quanto maior a substituição de areia pelo resíduo, maior a resistência, quando comparado ao concreto referencial.

A respeito da consistência do concreto, o ensaio de abatimento do tronco de cone constatou que a utilização de 5%, tanto de adição, quanto de substituição, apresentaram uma pequena melhoria na trabalhabilidade em comparação à mistura de referência. Em relação as porcentagens de 10%, a mistura de substituição teve o mesmo abatimento que o referencial, e a de adição, obteve resultado inferior e as porcentagens de 15% apresentaram decréscimo no abatimento.

Dentre os concretos com utilização de resíduo de tinta, o concreto com 5% de substituição possui o melhor desempenho, tendo melhores trabalhabilidade e resistência à compressão axial. Quanto a utilização do concreto na construção civil, é inviável a utilização em elementos estruturais dos traços de substituição de 10% e 15%. As outras amostras podem ser viáveis nesta mesma área, porém é necessário mais estudos acerca das propriedades destes tipos de concreto.

7.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A seguir são apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos relacionados à produção de concreto com resíduo de tinta à base de água:

- Análise da composição química e pozolanicidade do resíduo da indústria de tintas;
- Avaliação da massa unitária, índice de vazios e teste de absorção desse tipo de concreto;
- Estudo de outras propriedades mecânicas desse concreto, como resistência à tração, reologia, dentre outras;
- Estudo do comportamento acústico e térmico para esse concreto;
- Estudo por meio de outros métodos de dosagem;
- Estudo do concreto com resíduo de tinta utilizando aditivo plastificante.

REFERÊNCIAS

ADDIS, B. **Reúso de materiais e elementos de construção**. São Paulo – Oficina de textos, 2010.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

ALVES, J. O. **Processo da reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando a produção de lã mineral**. Rede Temática em Engenharia de Materiais, 2008. Dissertação - mestrado.

ÂNGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D. D. **Concreto com agregados reciclados**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2011. v2. p.1731-1768.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578: Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro: 1991.

_____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento**. Rio de Janeiro: 2006.

_____. **NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro: 2004.

_____. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. Rio de Janeiro: 2004.

_____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: 2003.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro: 2014.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: 2005.

_____. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro: 2015.

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: 2003.

_____. **NBR NM 67: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: 1998.

_____. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS. **Indicadores do mercado e Números do setor**. 2016. Disponível em: <<https://www.abrafati.com.br/indicadores-do-mercado/numeros-do-setor/>>. Acesso em: 25 out. 2017.

_____. **Código de ética abrafati**. 2015a. p.10. Disponível em: <<https://www.abrafati.com.br/wp-content/uploads/2015/10/codigo-de-etica-abrafati-2015.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2017

_____. **Os tipos de tintas e suas aplicações**. 2013. Disponível em: <<https://www.abrafati.com.br/informacoes-uteis/os-tipos-de-tintas-e-suas-aplicacoes/>>. Acesso em: 30 out. 2017.

_____. **Sustentabilidade é prioridade nº 1**. São Paulo: Maio, ano 29, n. 103, maio 2015b. Disponível em: <<https://www.abrafati.com.br/wp-content/uploads/2015/05/revista-abrafati-103-site.pdf>>. Acesso em: 30 out 2017.

BARBOSA, M. B. **Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho**. Universidade Estadual Paulista: Faculdade de engenharia de Ilha Solteira, 2006. Dissertação – mestrado

BASTOS, L. W. **Análise de custos e desperdícios na construção civil**. Universidade Federal de Santa Maria: Centro Tecnológico, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

BERNARDES, J. A.; FERREIRA, F. P. D. M. **Sociedade e Natureza**. In: CUNHA, S. B. D.; GUERRA, A. J. T. (Org.). *A Questão Ambiental – Diferentes Abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

BOAVENTURA, M. C. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos Produzidos com Resíduos de Pneus**. Monografia, Universidade Estadual de Feira de Santana do Curso de Engenharia Civil, Feira de Santana/BA, 2011. Trabalho de conclusão de curso – TCC.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D. **Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD**. São Carlos: Revista Minerva - Pesquisa e Tecnologia, 2007. v. 4, n. 1, p. 75-84.

CALMON, J. L. **Resíduos industriais e agrícolas para a construção civil**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010. V2. p.1651-1688.

CANDIDO, L. F.; BARRETO, J. M. L.; CABRAL, A. E. B. **Avaliação de blocos de concreto produzidos com pet reciclado**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 15., 2014, Maceió. p.2423-2432.

CIPLAN. **Produtos**. s. d. Disponível em: <<http://www.ciplan.com.br/pt-br/produtos>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA. **Resolução CONFEA Nº 1.002**: Código de ética profissional. Brasília. 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Publicado no DOU nº136, 2002.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. Universidade Federal de Minas Gerais: Escola de Engenharia, 2009. Monografia.

CREMASCO, M. A. **A responsabilidade social na formação de engenheiros**. 2009. Artigo de pesquisa. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~rtkishi.dhs/TH045/TH045_02_Cremasco.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2018.

DEUSTCH, P.; CANABRAVA, W. M. **Tintas e vernizes aquosos**. In: FAZENDA, J. M. R. (Ed.). Tintas – ciência e tecnologia. São Paulo: Editora Blucher, 2009. p.875-884.

FAZENDA, J. M. R.; DINIZ, F. D. **Introdução, história e composição básica**. In: FAZENDA, J. M. R. (Ed.). Tintas – ciência e tecnologia. São Paulo: Editora Blucher, 2009. p.4-10.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus**. Ambiente construído: Porto Alegre, 2007. v. 7, n. 4, p. 43-54.

FONSECA, A. D. S. D. **Tintas e correlatos**. Universidade Federal de Santa Maria: Departamento de química, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneus**. Departamento de Engenharia Civil, 2008. Dissertação – Mestrado

GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. **Pintura de manutenção industrial**. In: FAZENDA, J. M. R. (Ed.). Tintas – ciência e tecnologia. São Paulo: Editora Blucher, 2009. p.798-873.

GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. **Tratamento de superfície e pintura**. Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003.

GONÇALVES, J. P. **Utilização dos resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Escola de Engenharia, 2000. Dissertação - mestrado.

GRAÇA, N. G.; BITTENCOURT, R. M.; SANTOS, S. B. **Efeitos da temperatura sobre o concreto**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2005. V2. p.828-855.

GROHMANN, M. Z. **Redução do desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria**. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998, Niterói. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1998_art302.pdf> . Acesso em 10 nov. 2017.

GUIMARÃES, A. T. D. C. **Propriedades do concreto fresco**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2005. V1. p.473-494.

HASPARYK, N. P.; LOPES, A. N. M.; ANDRADE, M. A. S.; SANTOS, S. B. D. **Deformações por retração e fluência**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2005. V1. p.655-686.

HELENE, P.; ANDRADE T. **Concreto de cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010. v2. p.954-988.

ISAIA, G. C. **O concreto: da era clássica à contemporânea**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2005. V1. p.01-44.

JACINTHO, A. E. P. G. D. A.; GIONGO J. **Resistência mecânica do concreto**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2005. V1. p.605-632.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. In: Estudos avançados. São Paulo: USP, 2011. V. 25, n. 71. P. 135-158. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v25n71/10>>. Acesso em: 14. nov.

JOHN, V. M. **Materiais de construção e o meio ambiente**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010. v1. p.92-122.

KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado**. 1998. Disponível em: <<http://www.lem.ep.usp.br/pef605/Historiadoconcreto.pdf>>. Acesso em 20 fev. 2018.

KAIRALLA, R. B.; GIANFARDONI, A. L. C.; PRADO, P. S.; TIANO, P. C. M. **Princípios de formulação**. In: FAZENDA, J. M. R. (Ed.). Tintas – ciência e tecnologia. São Paulo: Editora Blucher, 2009. p.582-625.

KURZ, R. **Natureza em ruínas**. São Paulo: Folha de São Paulo, 17 de junho de 2001. Disponível em: <<http://obeco.planetaclix.pt/rkurz81.htm>>. Acesso em: 06 nov. 2017.

LEVY, S. M. **Materiais reciclados na construção civil**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010. V2. p.1689-1710.

LIMA, C. I. V.; COUTINHO, C. O. D.; AZEVEDO G. G. C.; BARROS, T. Y. G.; TAUBER, T. C.; LIMA, S. F. D. **Concreto e suas inovações**. Caderno de graduação - Ciências exatas e tecnológicas. Maceió: Universidade Tiradentes, v. 1, pg 31-40, maio 2014.

LOMASSO, A. L.; SANTOS, B. R. D.; ANJOS, F. A. D. S.; ANDRADE, J. C. D.; SILVA, L. A. D.; SANTOS, Q. R. D.; CARVALHO, A. C. M. D. **Benefícios e desafios na implementação de reciclagem: Um estudo de caso no Centro Mineiro de Referência em Resíduos (CMRR)**. Revista Pensar Gestão e Administração [Online]. 2015. v. 3, n. 2.

LOPEZ, D. A. R.; AZEVEDO C. A. P. D.; BARBOSA NETO, E. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino**. Cerâmica [Online]. 2005. vol.51, n.320, pp.318-324. ISSN 0366-6913.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades, materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MENDES, J. M. G. **Dimensões da sustentabilidade**. Revista das Faculdades Santa Cruz, Paraná: 2009. v. 7, n. 2. P. 49-59.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resíduos sólidos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F. D.; BRITO, J. C. X. D.; ALMEIDA, T. P. F. D.; MANSUR, G. L. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, 2011. Disponível em: <<http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/573/1/manual.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

MODRO, N. L. R.; MODRO, N. R.; MODRO, N. R.; OLIVEIRA, A. P. N. **Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET**. Florianópolis. 2014. Revista Matéria, v. 14, n. 1, p. 725 – 736.

NINA, G. D. **Tintas, vernizes, lacas e esmaltes**. In: BAUER, L. A. F. (Co.). Materiais de construção. Rio de Janeiro: LTC, 2012. P.659-685.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>> . Acesso em: 06 nov. 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA. **Educação para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/education/education-for-sustainable-development/>>. Acesso em: 06 nov. 2017.

REIS, J. F. A. **Determinação de parâmetros reológicos de concretos através do ensaio de abatimento de tronco de cone modificado: estudo de caso**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira: Materiais e Processos de Fabricação, 2008. Dissertação - mestrado.

RIGHI, D.; KÖHLER, L.; KIRCHHOF, L.; LIMA, R. **Efeitos da Substituição de Areia por Vidro Moído no Comportamento de Concretos em Elevadas Temperaturas**. In: Engenharia Estudo e Pesquisa [Online]. v. 11 - n. 2 - p. 28-35 - jul./dez. 2011.

RIGOLETTO, I. D. P. **Meio ambiente, saúde e segurança na indústria de tintas**. In: FAZENDA, J. M. R. (Ed.). Tintas – ciência e tecnologia. São Paulo: Editora Blucher, 2009. p.1084-1118.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental – conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. Dissertação - mestrado.

SEIFFERT, M. E. B. **Gestão ambiental – Instrumentos, esferas de ação e educação ambiental**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2009.

SILVA, J. M. **Caracterização de tinta látex para construção civil: diagnóstico no mercado do Estado de São Paulo**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Departamento de Engenharia Civil, 2005. Dissertação – Mestrado

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. In: Geraldo C. Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 1, p. 415-451.

UEMOTO, K. L.; IKEMATSU, P.; AGOPYAN N. V. **Impacto ambiental das tintas imobiliárias**. Coletânea Habitare, v.7. Construção e Meio Ambiente. Porto Alegre: Habitare, 2006.

UEMOTO, K. L. **Pintura a base de cal**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: Associação dos Produtores de Cal, 1993.

_____. **Tintas e vernizes na construção civil**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010. v2. p.1523-1564.

VASCONCELOS, A. C.; ISAIA, G. C. **O concreto: da era clássica à contemporânea**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2005. V1. p.45-74.

APÊNDICE A – Laudos dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial

Tabela 12 – Ensaio de resistência a compressão – Traço referencial

Traço referencial	Tensão de ruptura (MPa)	
Amostra	7 dias	28 dias
1	15,20	21,10
2	13,50	20,50
3	17,00	20,30
Média	15,23	20,63

Fonte: Próprio autor, 2018

Tabela 13 – Ensaio de resistência a compressão – 5% de adição

Traço referencial	Tensão de ruptura (MPa)		
Amostra	3 dias	7 dias	28 dias
1	14,40	15,90	18,90
2	12,60	17,50	19,30
3	12,30	19,00	17,50
Média	13,10	17,47	18,57

Fonte: Próprio autor, 2018

Tabela 14 – Ensaio de resistência a compressão – 10% de adição

Traço referencial	Tensão de ruptura (MPa)		
Amostra	3 dias	7 dias	28 dias
1	10,10	15,40	22,20
2	13,80	16,70	19,00
3	13,80	15,50	22,10
Média	12,57	15,87	21,10

Fonte: Próprio autor, 2018

Tabela 15 – Ensaio de resistência a compressão – 15% de adição

Traço referencial	Tensão de ruptura (MPa)		
Amostra	3 dias	7 dias	28 dias
1	12,60	17,70	20,90
2	14,80	18,60	22,60
3	12,30	16,60	22,40
Média	13,23	17,68	21,97

Fonte: Próprio autor, 2018

Tabela 16 – Ensaio de resistência a compressão – 5% de substituição

Traço referencial	Tensão de ruptura (MPa)		
Amostra	3 dias	7 dias	28 dias
1	13,60	17,40	22,90
2	14,40	16,50	20,60
3	14,80	17,80	22,50
Média	14,27	17,23	22,00

Fonte: Próprio autor, 2018

Tabela 17 – Ensaio de resistência a compressão – 10% de substituição

Traço referencial	Tensão de ruptura (MPa)		
Amostra	3 dias	7 dias	28 dias
1	11,80	15,40	19,0
2	14,30	17,40	20,60
3	13,50	18,20	16,60
Média	13,20	17,00	18,73

Fonte: Próprio autor, 2018

Tabela 18 – Ensaio de resistência a compressão – 15% de substituição

Traço referencial	Tensão de ruptura (MPa)		
Amostra	3 dias	7 dias	28 dias
1	13,20	16,60	16,50
2	12,60	16,80	19,30
3	13,60	16,00	21,20
Média	13,13	16,47	19,00

Fonte: Próprio autor, 2018