UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANEAMENTO

JULIANA ARGENTE CAETANO

Reaproveitamento do resíduo Terra da Shredder através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland para aplicação na construção civil

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos - SP
2016

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **JULIANA ARGENTE CAETANO**.

Título da dissertação: "Reaproveitamento do resíduo Terra da Shredder através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland para aplicação na construção civil.

Data da defesa: 29/06/2016

Comissão Julgadora:	**Resultado:**
Prof. Associado **Valdir Schalch** **(Orientador)** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	APROVADO
Prof. Dr. **Javier Mazariegos Pablos** (Instituto de Arquitetura e Urbanismo/IAU-USP)	APROVADO
Prof. Dr. **Rodrigo Eduardo Cordoba** (Universidade Paulista/UNIP)	APROVADO

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:
Profa. Associada **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

JULIANA ARGENTE CAETANO

Reaproveitamento do resíduo Terra da Shredder através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland para aplicação na construção civil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Associado Valdir Schalch

São Carlos

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Argente Caetano, Juliana
A127r Reaproveitamento do resíduo Terra da Shredder através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland para aplicação na construção civil / Juliana Argente Caetano; orientador Valdir Schalch. São Carlos, 2016.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

1. Resíduos sólidos industriais. 2. Terra da Shredder. 3. Peças de concreto para pavimentação. 4. Estabilização/Solidificação. I. Título.

Dedico este trabalho à minha mãe Sandra Argente, pelo amor incondicional e apoio sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Sandra e Manuel, por sempre apoiarem com orgulho as minhas decisões.

Ao meu irmão, pelo incentivo e por ser meu exemplo de ser humano.

À minha avó por cuidar de mim com tanta dedicação e carinho e ao meu avô que agora continua cuidando de mim lá de cima.

Aos meus amigos, irmãos de coração, Luíza, Paula, Vanessa, Mariana e Gabriel, pelos momentos de alegria e pela ajuda constante.

Agradeço ao Prof. Valdir pela oportunidade, pela confiança no meu trabalho, por todas as contribuições à pesquisa e principalmente pela amizade.

Ao Prof. Javier agradeço pela generosa contribuição à pesquisa, por disponibilizar o seu laboratório para os experimentos, pela consultoria exemplar e pela amizade.

Aos técnicos do Laboratório de Construção Civil, em especial ao Paulo, agradeço pela convivência, pelo trabalho e pelo carinho com o qual fui tratada.

À Daniella Batista, pelo acompanhamento nas visitas à empresa e pela ajuda na coleta do resíduo.

Aos membros do NEPER, obrigada por tudo, por todas as dicas, por todos os conselhos, pelo excelente trabalho que fizemos juntos e por terem tornado essa caminhada mais leve.

Aos meus amigos de São Carlos, agradeço demais todo o companheirismo e toda a amizade. Vocês fizeram minha vida bem mais feliz nessa cidade nova. Vou morrer de saudades.

Agradeço à Letícia, Maiara e Luíza pela paciência de ter dividido o apartamento comigo, por terem me acolhido e me dado uma casa repleta de harmonia.

Agradeço ao meu afilhado Gabriel e a minha sobrinha Lavínia pela alegria e esperança que trazem.

Por fim, agradeço à USP e à CAPES pelo apoio financeiro durante os anos de mestrado.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 21

2. OBJETIVO 24

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL 24

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 24

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 25

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS 25

3.2 RESÍDUOS INDUSTRIAIS 27

3.3 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS 28

3.4 RESÍDUOS DA SHREDDER 29

3.4.1 Composição dos resíduos da Shredder (Auto Shredder Residue) 30

3.4.2 Tratamento dos resíduos da Shredder 32

3.5 SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS 33

3.6 CIMENTO PORTLAND 35

3.7 CONCRETO 36

3.7.1 Peças de concreto para pavimentação 37

3.7.2 Resíduos sólidos na produção de blocos de concreto para pavimentação 40

4. MATERIAIS E MÉTODOS 44

4.1 MATERIAIS 44

4.1.1 Cimento Portland 44

4.1.2 Agregado miúdo 45

4.1.3 Agregado graúdo 46

4.1.4 Resíduo Industrial 47

4.2 MÉTODOS 47

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO 49

4.3.1 Conhecimento da fonte geradora 49

4.3.2 Classificação do resíduo – análise dos extratos lixiviado e solubilizado 49

4.3.1 Análise da capacidade pozolânica 50

4.3.2 Caracterização do resíduo como agregado 50

4.4 CONSTRUÇÃO DAS MATRIZES DE CIMENTO 53

4.4.1 Estabelecimento das composições preliminares 53

4.4.2 Verificação do desempenho mecânico 55

4.4.3 Estabelecimento da composição adequada 55

4.5 PRODUÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO 56

4.5.1 Produção das peças de concreto para pavimentação 56

4.5.2 Verificação do desempenho mecânico 56

4.5.3 Verificação do desempenho físico 56

4.5.4 Verificação do desempenho químico 56

5. RESULTADOS 58

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO 58

5.1.1 Conhecimento da fonte geradora 58

5.1.2 Preparação do resíduo para sua utilização como agregado reciclado .. 59

5.1.3 Classificação do resíduo – análise do extrato lixiviado e solubilizado .. 59

5.1.4 Caracterização do resíduo como agregado 61

5.1.5 Análise da capacidade pozolânica com cimento 64

5.2 PRODUÇÃO DAS MATRIZES DE CIMENTO 65

5.2.1 Estudo das composições preliminares 65

5.2.2 Verificação do desempenho mecânico das matrizes com resíduo 67

5.2.3 Estabelecimento da composição adequada 69

5.3 PRODUÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO 69

5.3.1 Verificação do desempenho mecânico – resistência à compressão..... 73

5.3.2 Verificação do desempenho físico – absorção de água..... 74

5.3.3 Verificação do desempenho químico - eficiência de estabilização..... 74

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 76

6.1 Classificação do resíduo 76

6.2 Caracterização do resíduo como agregado 77

6.3 Potencial pozolânico..... 79

6.4 Avaliação mecânica das matrizes de concreto 80

6.5 Desempenho mecânico e físico das peças de concreto para pavimentação 80

6.6 Desempenho químico das peças de concreto para pavimentação 81

7. CONCLUSÕES 83

7.1 Objetivo específico 01 83

7.2 Objetivo específico 02 83

7.3 Objetivo específico 03 83

7.4 Objetivo específico 04 83

7.5 Objetivo específico 05 84

7.6 Objetivo específico 06 84

Outras conclusões..... 85

Sugestões para trabalhos futuros 85

8. REFERÊNCIAS 86

ANEXO A – Ensaios granulométricos..... 91

ANEXO B – Ensaios lixiviação e solubilização 95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos resíduos quanto a origem (Schalch,2010) 26
Figura 2 - Tipologias de peças de concreto intertravados (ABCP,2010) 40
Figura 3 - Resíduo Terra da Shredder (BATISTA,2014) 47
Figura 4 - Fluxograma da Estrutura Metodológica 47
Figura 5 - Determinação de finos 51
Figura 6 - Preparação do resíduo para o ensaio de solubilização 57
Figura 7- Terra da Shredder antes do peneiramento 59
Figura 8 - Material retido na peneira 59
Figura 9 - Determinação massa específica 62
Figura 10 - Ensaio para a determinação do índice de consistência 64
Figura 11- Materiais traço de referência 66
Figura 12 - Material de referência após mistura na betoneira 66
Figura 13 - Corpos de prova 66
Figura 14 - Corpos de prova confeccionados com o resíduo 67
Figura 15 - Corpos de prova em câmera úmida 68
Figura 16 - Ruptura dos blocos – 28 dias 68
Figura 17 - Correia transportadora – Fábrica de blocos 70
Figura 18 - Tanque de mistura 70
Figura 19 - Prensa hidráulica 71
Figura 20 - Câmara Úmida 71
Figura 21 - Peças de concreto para pavimentação fabricada com o resíduo Terra da Shredder 72
Figura 22 - Granulometria Terra da Shredder – Limites zona utilizável 79
Figura 23 - Frações do resíduo retidas nas peneiras 79
Figura 24 - Resistência média em MPa aos 28 dias – matrizes compostas com o resíduo 80
Figura 25- Desempenho mecânico das peças de concreto para pavimentação confeccionas com o resíduo sólido Terra da Shredder 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Compatibilidade entre categorias específicas de resíduos e as técnicas S/S (MELCHERT, 2012; WILES,1989; OLIVEIRA ,2003) 34
Tabela 2- Estudo da utilização de resíduos na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (SANTOS, 2012) 41
Tabela 3– Especificações Cimento CP V ARI 44
Tabela 4– Granulometria da areia comum 46
Tabela 5- Granulometria do pedrisco 46
Tabela 6-Ensaios e normas ABNT para ensaios 48
Tabela 7– Quantidade de material, em massa, para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos 50
Tabela 8- Fator X (água/ cimento) em função da resistência 54
Tabela 9- Relação Y para concreto, em função do diâmetro máximo dos agregados 54
Tabela 10– Teor de substituição – quantidade de materiais 55
Tabela 11- Quantidade total dos materiais 55
Tabela 12- Resultados – lixiviação – Terra da Shredder 60
Tabela 13 -Resultados – lixiviação – Terra da Shredder 60
Tabela 14 -Resultados – solubilização – Terra da Shredder 61
Tabela 15– Massa unitária do resíduo 63
Tabela 16- Análise granulométrica do resíduo 63
Tabela 17– Resultado do ensaio de pozolanicidade do resíduo com o cimento 65
Tabela 18 - Resultados – resistência à compressão traço de referência 67
Tabela 19– Resultados – resistência à compressão – matriz com resíduo 69
Tabela 20- Traço utilizado na confecção das peças de concreto para pavimentação 71
Tabela 21- Resultado resistência à compressão – 9 dias 73
Tabela 22– Resultado resistência à compressão 28 dias 73
Tabela 23– Resultado ensaio absorção de água 74
Tabela 24– Resultado solubilização peças de concreto resíduo 74
Tabela 25– Eficiência estabilização 75
Tabela 26– Resultado solubilização peças de concreto confeccionadas pela fábrica 75
Tabela 27– Classificação dos tipos de um material quanto ao seu módulo de finura 78

RESUMO

CAETANO, A.J. **Reaproveitamento do resíduo Terra da Shredder através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland para aplicação na construção civil**. 2016. 102f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos,2016.

A Shredder é o equipamento para a trituração da sucata ferrosa que permite a reciclagem do aço nas siderúrgicas. A sucata é em sua maioria procedente da reciclagem de veículos de fim de vida. Por isso, esse resíduo é conhecido como ASR (Automotive Shredder Residue). A Terra da Shredder é a fração do ASR de pequena granulometria (<2mm) apresentando o aspecto de solo. Esse resíduo é tratado como rejeito e em sua totalidade destinado aos aterros industriais. O grande volume de resíduo gerado contribui para a saturação dos aterros, provoca impactos ambientais, despende um alto custo de disposição e assim exige o desenvolvimento de tecnologias para seu reaproveitamento. Este trabalho propõe utilizar a Terra da Shredder, resíduo sólido gerado na Shredder localizada em Iracemápolis-SP-BR, em peças de concreto para pavimentação através da técnica de solidificação/estabilização (S/S) em matrizes de cimento Portland. Na primeira etapa do experimento, o resíduo foi classificado como Classe IIA. A segunda etapa consistiu na produção de matrizes compostas com cimento, agregados e água, foram produzidos corpos de prova com os seguintes teores de substituição, em massa, da areia natural pelo resíduo:5%,10%,15% e 20%. A matriz com o teor de substituição de 20% apresentou uma resistência mecânica compatível com a norma ABNT NBR 9781, por isso foram fabricadas peças de concreto com esse teor de substituição. As peças de concreto apresentaram bom desempenho mecânico, físico e, com exceção do alumínio, fenóis totais e cádmio, as outras substâncias que ultrapassaram os limites de solubilização (ferro total, fluoretos, manganês, selênio, surfactantes) foram encapsuladas pelo cimento, sendo que o cádmio também estava presente em peças de concreto para pavimentação fabricadas apenas com os materiais convencionais, sem o resíduo. Dessa forma, conclui-se que os blocos podem ser utilizados na construção civil.

Palavras-chave: Resíduos industriais; Terra da Shredder; Estabilização/Solidificação; Peças de concreto para pavimentação.

ABSTRACT

CAETANO, A.J. **Shredder´s soil recycling by solidification/ stabilization (S/S) technique in Portland cement matrices for application in construction**. 2016. 102f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos,2016.

The Shredder is the equipment for the processing of ferrous scrap which allows the recycling of steel. Scrap is in its majority coming from the recycling of end of life vehicles. Therefore, the residue formed in this grinding process is known as ASR (Automotive Shredder Residue). The fine fraction of the ASR has soil aspect so will be called Shredder´s soil. This residue is treated as waste and in its entirety for the landfills. It is estimated that for each ton of metallic material separated in Shredders approximately 227 kg of waste are produced. This large volume of waste generated contributes to the saturation of landfills,causes environmental impacts , expends a high cost of disposal and thus requires the development of technologies for its reuse. This paper proposes to use the fine fraction (<2mm) of the solid waste generated in a shredder in the city of Iracemápolis-SP-BR in concrete paving blocks through the techinique of solidification/stabilization (S/S) in Portland cement matrix. The experimental research began with completion of leaching tests and solubilization for the classification of waste – class IIA , substances that exceeded solubility limits were total phenols, total iron, fluoride, manganese, selenium, aluminum, cadmium and surfactants. The second stage was the production of cement matrix that is composed by cement, aggregates and water they were produced matrices with the following replacement levels of natural sand by the waste: 5%, 10%, 15% and 20%. The matrice with the 20% replacement level, showed a consistent resistance to compatible with standard ABNT NBR 9781, therefore concrete paving blocks were manufactured content this level of replacement. The blocks had good mechanical, physical and with the exception of aluminum and cadmium, other substances that exceeded solubility limits were encapsulated. Cadmium also appear in paving blocks manufactured with conventional materials, without residue. Thus, it is concluded that the concrete paving blocks can be used in construction.

Keywords: Shredder Residue, Industrial Waste, Concrete Paving Blocks.

x

1. INTRODUÇÃO

O triturador de sucatas Shredder é o equipamento para a trituração da sucata ferrosa que permite a reciclagem do aço nas siderúrgicas. O aço é totalmente reciclável, sem perda de qualidade. A indústria siderúrgica semi-integrada utiliza a sucata para fazer um novo aço, por isso, cada usina siderúrgica pode ser considerada uma planta de reciclagem.

Na Shredder, a sucata é triturada através de martelos fixos em um rotor horizontal e reduzida a um tamanho que permita sua passagem em grelhas em torno de 150 mm. Além da trituração, a Shredder conta com esteiras e rolos magnéticos que fazem a separação dos metais ferrosos. A sucata triturada e não ferrosa é enviada por correias transportadoras, para uma outra separação no equipamento denominado de Eddy Current. O Eddy Current utiliza energia elétrica para a criação de um campo magnético que separa o material não ferroso das impurezas presentes na sucata. As impurezas separadas nesse processo constituem os resíduos da Shredder.

A sucata alimentada na Shredder é procedente de qualquer utensílio que contenha metais combinados com outros materiais (como geladeiras, aparelhos de ar condicionado, lavadoras), porém, a sucata é em sua maioria procedente da reciclagem de veículos de fim de vida. Por isso, o resíduo formado nesse processo de trituração é conhecido como ASR (Automotive Shredder Residue).

Segundo Péra et al. (2003), na União Europeia, 3 milhões de toneladas do ASR são enviadas aos aterros todos os anos. Nos Estados Unidos, o processamento de metais obsoletos gera, anualmente 5 milhões de toneladas de resíduos. No Japão, são geradas 800.000 toneladas por ano, mas somente 1% é destinado aos aterros (BATISTA, 2014). Na América Latina, a Gerdau é a maior recicladora de sucata ferrosa. Possui 10 Shredders e recicla por volta de 2 milhões de toneladas por ano. Assim, estima-se a geração de 540.000 toneladas de resíduos (CIUCCIO,2004).

Há diferentes abordagens de classificação desse resíduo entre os autores, assim como a composição do resíduo pode variar de acordo com a alimentação da Shredder. Se o veículo de fim de vida não receber um tratamento adequado de despoluição, compostos classificados como perigosos poderão permanecer no resíduo. Batista (2014) classifica esse resíduo em duas frações de materiais de acordo com sua aparência e granulometria: o Fluf da Shredder e a Terra da Shredder. O Fluf da Shredder inclui a fração do ASR com grande proporção de materiais leves como plástico, borracha, tecidos e espuma. São os resíduos de maior granulometria (> 2mm) com aparência de resíduo sólido urbano. A Terra da Shredder inclui

uma grande proporção de vidros e materiais de pequena granulometria (<2mm), apresentando o aspecto de solo.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010, ampliou de maneira significativa o elenco de atores e de ações que envolvem o manejo adequado de resíduos sólidos. Consagrou o conceito da responsabilidade compartilhada envolvendo toda a sociedade e estabeleceu a diferença entre resíduo e rejeito: resíduos devem ser reaproveitados e reciclados e apenas os rejeitos devem ter disposição final.

Para os resíduos industrias, a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu que as indústrias são as responsáveis por todo os resíduos que geram, constituindo um desafio para o setor industrial brasileiro.

Atualmente, no Brasil, os resíduos da Shredder são tratados como rejeitos e em sua totalidade destinados aos aterros industriais. Estima-se que para cada tonelada de material metálico separado nas Shredders, aproximadamente 227 quilos de resíduos são produzidos (HOFFMAN,1993). Esse grande volume de material gerado nas siderúrgicas contribui para a saturação dos aterros, provoca impactos ambientais, despende um alto custo de disposição, vai na contramão do que estabelece a Política Nacional e assim exige alternativas para seu reaproveitamento.

No Brasil, Reckziegel (2012) caracterizou o resíduo gerado por esse triturador de sucatas proveniente de uma empresa siderúrgica na região do Vale dos Sinos, Rio Grande do Sul. Batista (2014) caracterizou o resíduo gerado por uma empresa localizada em Iracemápolis, São Paulo.

Batista (2014) classificou a Terra da Shredder como resíduo classe IIA – não perigoso e não inerte e concluiu que o Ferro é o metal encontrado em maior concentração (14%), seguido do Cálcio (2,15%), Alumínio (1,196%) e Zinco (1,04%). Concluiu também, que a geração média mensal desses resíduos na Shredder de Iracemápolis estudada, pode variar de 3697,96t a 6158,67t. Deste total, 50% compõe a Terra da Shredder e 50% o Fluf da Shredder.

Reckziegel (2012) não emprega o termo Terra da Shredder e nomeou as frações do resíduo como sendo fração <2mm e fração >2mm.A fração com granulometria < 2mm, que nessa pesquisa será chamada de Terra da Shredder, foi classificada por Reckziegel (2012) também como sendo classe IIA e concluiu, que nessa fração, predominam grãos de origem mineral e os elementos mais abundantes são: Fe (25%), Si (16%), Cu (0,2%), Cr (0,2%), Ni (0,02%), Zn (1,3%) e Pb (0,22%).

Considerando a necessidade de propor tecnologias para o tratamento desse resíduo no Brasil, o objetivo geral desse trabalho será estudo da viabilidade de se introduzir a Terra da Shredder no setor da construção civil, através da técnica de estabilização por solidificação em matrizes de cimento Portland.

Segundo Péra et al. (2003), para a Terra da Shredder, a investigação que se mostra mais promissora é a sua utilização como agregado no concreto para preparação de matrizes de cimento. Rossetti et al (2006), destaca que esta é uma alternativa a ser considerada devido à crescente dificuldade em encontrar agregados naturais.

O trabalho foi organizado em sete capítulos: Introdução, Objetivos, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados, Discussão dos Resultados e Conclusões.

2. OBJETIVO

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Estudo sobre a viabilidade técnica do reaproveitamento do resíduo Terra da Shredder no setor da construção civil, através do processo de estabilização/solidificação em matrizes de cimento Portland.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a classificação do resíduo reciclado quanto ao seu potencial de contaminação (lixiviação e solubilização)
- Determinar o comportamento mecânico de matrizes de concreto compostas com o resíduo;
- Definição da composição adequada das peças de concreto para pavimentação confeccionadas com o resíduo;
- Determinar o comportamento mecânico das peças de concreto para pavimentação compostas com o resíduo;
- Determinar o comportamento físico das peças de concreto para pavimentação compostas com o resíduo;
- Determinar o desempenho químico das peças de concreto para pavimentação compostas com o resíduo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída em 2010, define resíduos sólidos:

> Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (Lei nº 12305, 2010.Inciso II, Art. 3º, parágrafo XVI)

Os resíduos sólidos podem alterar o meio ambiente de diversas formas. Pode haver alteração da paisagem pela poluição visual, a liberação de maus odores ou substâncias químicas voláteis pela decomposição dos resíduos, materiais particulados podem ser dispersos pela ação do vento ou serem liberados juntos com gases tóxicos quando queimados. Substâncias podem ser liberadas pela lixiviação provocando a infiltração no solo e nos aquíferos subterrâneos ou o carreamento durante o escoamento superficial de águas pluviais, atingindo os corpos d'água. Os nutrientes, como nitrogênio e fósforo, podem causar a eutrofização e outras substâncias químicas podem ser tóxicas ou bioacumulativas na cadeia alimentar (CASTILHOJR et al., 2006). Por isso, é imprescindível sua correta gestão e gerenciamento para que a sua disposição seja adequada.

Reflexo dessa demanda, em dezembro de 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi sancionada e deve ser entendida como um instrumento indutor do desenvolvimento social, econômico e ambiental à medida que reúne o conjunto de diretrizes e ações a ser adotado com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos no Brasil.

A PNRS (2010) inovou ao estabelecer a obrigatoriedade da seguinte ordem de prioridade na gestão e no gerenciamento dos resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Definiu como rejeitos os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição ambientalmente adequada. Dessa forma, através dessa diretriz e de outros instrumentos, estimula a recuperação dos resíduos.

No artigo 13 da PNRS (2010) são estabelecidas as formas de classificação dos resíduos quanto à sua origem e sua periculosidade, o que facilita a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos. Quanto à origem, os resíduos sóldios são classificados em resíduos domiciliares, resíduos de limpeza urbana, resíduos sólidos urbanos, resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração (Figura 1). Quanto à periculosidade, os resíduos são classificados em resíduos perigosos e resíduos não perigosos.

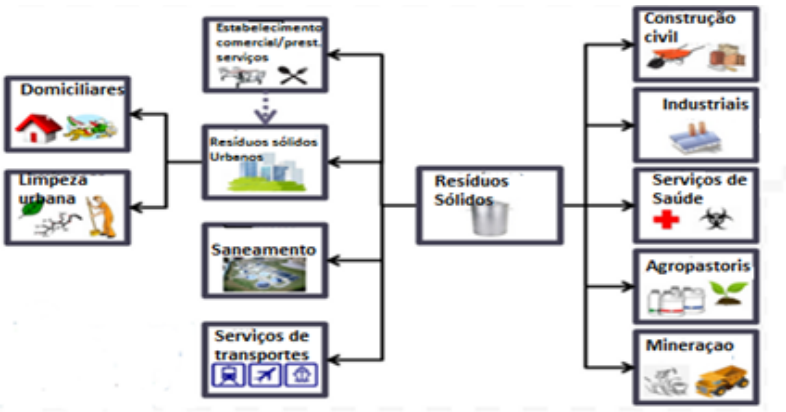


Figura 1 - Classificação dos resíduos quanto a origem (Schalch[1],2010)

Para alguns resíduos, como os resíduos de serviços de saúde e os resíduos da construção civil, existem legislações específicas de classificação que determinam as regras de gerenciamento. Mas na ausência de legislação especifica, a classificação dos resíduos deve ser feita por norma técnica de aplicabilidade geral para todos os resíduos. Atualmente, utiliza-se como referência a norma ABNT NBR 10004 (2004). Segundo essa norma os resíduos podem ser divididos em duas classes: Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos). Os resíduos Classe II, são subdivididos em Classe IIA (não inertes) e Classe IIB (inertes).

Para o estudo de novas tecnologias de aplicação de resíduos sólidos não basta o conhecimento somente da classificação. Outras propriedades físicas e químicas, bem como o volume gerado também devem ser levantadas. Esses aspectos juntamente com os impactos ao meio ambiente e à saúde humana decorrentes da liberação de gases, materiais particulados e

[1] Diagrama apresentado nas aulas do curso de Gerenciamento de Resíduos Sólidos pelo Prof. Dr.Valdir Schalch

do lixiviado são avaliados para a escolha estratégica de gerenciamento que priorizem a prevenção da poluição (CASTILHOJR et al., 2006).

3.2 RESÍDUOS INDUSTRIAIS

A atual Política Nacional de Resíduos Sólidos define os resíduos industriais como sendo os resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais. (Lei nº 12305, 2010.Inciso II, Art. 7º, parágrafo VI). Com a instauração da PNRS (2010), o gerenciamento de resíduos industriais tornou-se um dos principais desafios para o setor industrial brasileiro, pois foi estabelecido que as indústrias são as responsáveis por todo os resíduos que geram.

Anterior a PNRS (2010), a resolução CONAMA nº 313/2002 instituiu o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais com o objetivo de conhecer a situação nacional desses resíduos e assim elaborar programas para sua gestão e gerenciamento. Essa informação é divulgada pela própria empresa e repassada ao órgão estadual competente. Esse órgão deve apresentar ao IBAMA as informações levantadas. Em 2010, o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos foi somado ao SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos.

Em 2011, o SINIR divulgou a versão preliminar do Caderno de Diagnóstico dos resíduos sólidos industriais, elaborado pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), e conduzido pelo Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos, com o objetivo de identificar a quantidade de resíduos sólidos industriais gerados no país e avaliar as alternativas bem sucedias de gestão dos resíduos, com vistas à resolução dos impactos relacionados à geração dessa classe de resíduos. Porém, nesse diagnóstico foram encontradas informações de apenas 10 estados brasileiros (GO, AM, CE, MG, PA, PR, PE, RS e RN) e que não estavam atualizadas, sendo os dados mais recentes divulgados pelo estado do Paraná e Goiás relativos ao ano de 2009. Por isso, não foi possível a quantificação de resíduos gerados por tipologia industrial no país e a consolidação da elaboração de um cenário nacional. A falta dessa informação prejudica o desenvolvimento de pesquisas e estratégias para gerenciar os resíduos industrias.

Uma iniciativa interessante que surgiu para evitar o desperdício, reduzir os custos e o impacto ambiental dos resíduos sólidos gerados pelo setor industrial foi a criação do Sistema Integrado de Bolsas de Resíduos gerido pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI). As bolsas de resíduos são ambientes na internet que permitem a compra, a venda, a troca ou a

doação de sobras de processos industriais, o que evita o desperdício, reduz os custos e o impacto ambiental da atividade.

As empresas podem adotar três tipos de conduta frente à gestão ambiental: negligente, cautelosa e responsável. As empresas negligentes não se preocupam com o assunto, as cautelosas são passivas, procuram não descumprir a lei e as responsáveis adotam a qualidade ambiental como valor ou objetivo e buscam melhores práticas continuamente. (PRICEWHATERHATERHOUSECOOPER,2006). Um dos grandes desafios é o de estimular a mudança de cultura das empresas para que todas adotem uma conduta responsável.

3.3 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

A PNRS (2010) define reciclagem como sendo um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes. Define reutilização como um processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes.

Um de seus princípios é fazer com que aconteça o reconhecimento do resíduo sólido como um bem econômico e de valor social, através da sua reciclagem ou reutilização (Lei nº 12305,2010. Inciso II, Art. 6º, parágrafo VII). Estabelece como objetivo o incentivo à indústria de reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; a prioridade nas aquisições e contratações governamentais para produtos reciclados e recicláveis e para bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões ambientalmente sustentáveis.

Alguns instrumentos foram propostos para que a reciclagem dos resíduos seja estimulada como: a) a coleta seletiva; b) os sistemas de logística reversa; c) o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; d) a cooperação técnica e financeira entre os setores públicos e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão , reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; e) a pesquisa científica e tecnológica; f) a educação ambiental; g) os incentivos fiscais, financeiros e creditícios; h) os acordos setoriais; e i) os planos de resíduos sólidos que devem estabelecer metas de reutilização e reciclagem.

Esses instrumentos estão todos à disposição das autoridades responsáveis, mas ainda falta vontade política, recursos e capacitação técnica para uma gestão eficiente dos resíduos sólidos, o que tem inviabilizado avanços. A ABRELPE (2014), através da edição do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2014, destaca que ao se comparar os dados publicados nas edições do Panorama, de 2010 a 2014, nota-se que a evolução na gestão de resíduos sólidos no país tem sido bastante lenta. A geração de resíduos vem crescendo a cada ano e apresentou um crescimento de 29% de 2010 a 2014. No entanto, destaca também, que o grau de conscientização dos munícipios para com os termos da PNRS (2010) já atingiu um nível de maturidade bastante elevado.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos brasileira está em concordância com a Política de Resíduos Sólidos do Governo Federal alemão. A Alemanha assumiu um papel pioneiro ao introduzir a gestão sustentável dos resíduos e a política alemã é particularmente marcada pelo entendimento de que os resíduos sólidos se constituem de recursos. A hierarquia da política determina que o reaproveitamento e a reciclagem tenham preferência sobre o aproveitamento térmico e a destinação para fins de aterramento.

Algumas pesquisas brasileiras já se destacaram e obtiveram resultados satisfatórios ao incorporar resíduos sólidos para a confecção de um novo produto. Como por exemplo, a pesquisa de Pablos (2008) e Nogueira (2011) que desenvolveram peças de concreto com aplicação na construção civil, a partir da estabilização e solidificação de um resíduo industrial oriundo de aciarias, visando a diminuição dos passivos gerados por estas indústrias.

Diante do exposto na Lei e os bons resultados obtidos na reciclagem de resíduos em pesquisas, cabe aos poderes públicos credenciar os sistemas que empregam os materiais produzidos com adição de resíduos. Só assim, tais produtos poderão ser consumidos, não só através de obras e serviços públicos, mas também pela sociedade em geral (NOGUEIRA, 2011).

3.4 RESÍDUOS DA SHREDDER

Na produção do aço em uma usina siderúrgica semi integrada, utiliza-se pelo menos 70% de sucata de ferro e aço como matéria-prima. Essa sucata é alimentada em um equipamento denominado de Shredder para que ocorra sua trituração e a separação da fração metálica. Grande parte das sucatas processadas na Shredder são provenientes de Veículos em Fim de Vida (VFV), por isso os resíduos desse processamento são conhecidos como ASR (Auto Shredder Residue).

Estima-se, que na União Europeia, a quantidade de veículos em fim de vida atingiu mais de 40 milhões de unidades no ano de 2010 (SAKAI et al.,2014). E sua gestão está cada vez mais orientada para que sejam avaliados também o aspecto social e ambiental da sua disposição, além dos aspectos econômicos e tecnológicos. (ORSATO; WELLS,2007; SEURING; MULLER,2008).

Atualmente, os resíduos da Shredder têm como destinação final mais comum os aterros industriais e essa disposição pode significar uma ameaça potencial ao meio ambiente. (STAUDINGER; KEOLEINA,2001; DURANCEU; SPANGENBERRGUER,2011). O lixiviado do ASR é caracterizado pela presença significativa de compostos orgânicos e metais pesados, enquanto o biogás é caracterizado pela presença de compostos orgânicos voláteis (VOCs) e de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs). Um estudo recente sobre a qualidade do biogás produzido por um aterro de ASR tem evidenciado a presença de 16 PAHs e 35 VOCs. (FIORE et al.,2012; COSSU; LAI,2013; RABONI et al., 2015).

Segundo Péra et al. (2003), na União Europeia, 3 milhões de toneladas do ASR são enviadas aos aterros todos os anos. Nos Estados Unidos, o processamento de metais obsoletos gera, anualmente 5 milhões de toneladas de resíduos. No Japão, são geradas 800.000 toneladas por ano, mas somente 1% é destinado aos aterros (BATISTA, 2014).

Na América Latina, a Gerdau é a maior recicladora de sucata ferrosa. Possui, 10 Shredders e recicla por volta 2 milhões de toneladas de sucata por ano. Assim, estima-se a geração de 540.000 toneladas de resíduos (CIUCCIO,2004).

3.4.1 Composição dos resíduos da Shredder (Auto Shredder Residue)

O Auto Shredder Residue (ASR) pode ser dividido em duas frações:

- Fração leve (Fluf da Shredder): inclui uma grande proporção de materiais leves como plástico, borracha, tecidos e espuma.

- Fração pesada (Terra da Shredder): inclui uma grande proporção de vidros e materiais de pequena granulometria, apresentando o aspecto de solo.

A composição do resíduo pode variar de acordo com a alimentação da Shredder. Se o veículo de fim de vida não receber um tratamento adequado de despoluição, compostos classificados como perigosos poderão permanecer no resíduo. Uma vez entregue a um centro de reciclagem, deve ser realizada a despoluição do veículo, removendo-se fluidos combustível, óleo lubrificante do motor, fluido de freio, líquido de refrigeração, líquido do

reservatório do lavador de para-brisas, combustível no reservatório de partida a frio, gás do sistema de ar condicionado e óleo dos amortecedores. Ainda nesta etapa, devem ser removidos a bateria, pneus, os filtros de ar e os metais nobres presentes em componentes como catalizador e radiador.

Batista (2014) caracterizou o resíduo gerado por uma empresa localizada em Iracemápolis, São Paulo. Batista (2014) concluiu que a geração média mensal desses resíduos pode variar de 3697,96t a 6158,67t. Deste total, 50% compõe a Terra da Shredder e 50% o Fluf da Shredder.

Na análise realizada para classificação do Fluf da Shredder, na pesquisa anterior, das 13 amostras, 10 amostras foram classificadas como resíduo Classe IIA (não perigoso e não inerte) ,1 amostras foi classificada como resíduo Classe IIB (não perigoso e inerte) e 2 amostras foram classificadas como Classe I (perigoso). Em ambas amostras classificadas como resíduo perigoso, o chumbo foi o parâmetro que ultrapassou o padrão permitido para o extrato lixiviado. Esse resultado evidencia que o Fluf da Shredder, em sua maioria, é classificado como não perigoso e não inerte, porém deve ser dada atenção para evitar a inclusão de produtos perigosos nesse resíduo, devendo-se intensificar a separação das baterias e acumuladores de energia as sucatas beneficiadas.

Batista (2014), conclui também, que o material Fluf da Shredder é composto por 48% de plástico e borracha, 5,6% de espuma e isopor e 45,1% de materiais diversos como madeira, tecido, pedra, metais, solo.

Para a Terra da Shredder, Batista (2014) concluiu que o Ferro é o metal encontrado em maior concentração (14%), seguido do Cálcio (2,15%), Alumínio (1,196%) e Zinco (1,04%). Das 13 amostras analisadas, todas foram classificadas como resíduo Classe IIA, isto é, não perigoso e não inerte. Não houve resultados acima dos padrões estabelecidos para massa bruta e lixiviado. Para o solubilizado, os seguintes elementos apareceram acima do padrão estabelecido pela NBR 10006 (2004): Alumínio, Ferro, Manganês, Fluoreto, 2,4-D e Chumbo. Sendo que o 2,4-D (0,04381 mg/L) e Chumbo (0,015 mg/L) apareceram acima do padrão somente na 11º amostra. Nas outras amostras apareceram em concentração abaixo do limite de detecção.

Reckziegel (2012), caracterizou o resíduo gerado pela Shredder proveniente de uma empresa siderúrgica na região do Vale dos Sinos, Rio Grande do Sul. Esse triturador foi dimensionado para processar 2.100.000 toneladas anuais de sucata para ser usada em fornos de aciaria. Reckziegel (2012) concluiu que foram gerados 244kg de resíduos por tonelada de

sucata processada. Essa pesquisadora, separa o material pela sua granulometria, não empregando o termo Fluf da Shredder e Terra da Shredder. Nos ensaios de lixiviação e solubilização as três amostras com granulometria < 2mm foram classificadas como resíduo não perigoso – Classe IIA. O material não foi considerado inerte por exceder no ensaio de solubilização as concentrações de Fe e Mn. Concluiu, que nessa fração, predominam grãos de origem mineral e os elementos mais abundantes são: Fe (25%), Si (16%), Cu (0,2%), Cr (0,2%), Ni (0,02%), Zn (1,3%) e Pb (0,22%). Assim como Batista (2014), foi verificado nessa pesquisa, que as amostras com granulométrica > 2mm são compostas de borracha, papel, tecidos e plástico, mas apresentou ainda componentes eletrônicos, vidros e pedregulhos.

3.4.2 Tratamento dos resíduos da Shredder

Vários processos para o tratamento dos resíduos da Shredder têm sido desenvolvidos com o objetivo de aumentar a recuperação de materiais e energia do ASR. As tecnologias aplicadas estão baseadas na triagem mecânica para a concentração de materiais passíveis de reciclagem, no tratamento térmico para geração de energia e na recuperação de metais presentes no resíduo sólido, além de sua utilização com agregado em concreto.

Atualmente, o Fluf da Shredder, tem obtido maior atenção dos pesquisadores por se tratar de um resíduo com possibilidade de recuperação energética. Como apresentado anteriormente, essa fração é formada de plástico, borracha, madeira. Batista (2014) concluiu que o poder calorífico médio encontrado para o Fluf foi de 4527, 48 (PCI E PCS), esse valor é equivalente aos combustíveis; celulose, lignina, amido/açúcar e madeira Porém, no caso do tratamento térmico, a alta concentração de policloreto de vinila (PVC) pode limitar o uso do resíduo como combustível, pois a formação de ácido clorídrico (HCl), cloro (Cl_2) e outros compostos formados por cloro podem causar a corrosão dos equipamentos de combustão e formar compostos tóxicos como dioxinas e furanos. Além disso, no caso do tratamento por pirólise a presença de PVC pode resultar em óleos com baixa qualidade.

Nas últimas décadas, inúmeros estudos têm sido feitos para identificar as condições apropriadas para a pirólise do resíduo e a obtenção de produtos de qualidade, no entanto, a heterogeneidade do ASR influência no produto final e poucas aplicações comerciais foram desenvolvidas até agora.

Kurose et. al. (2006) usou uma solução de ácido hipoclorídrico para a extração dos metais presentes na fração de menor granulometria do resíduo e o resultado demonstrou que os metais As, Se, Pb, Cr, Cd tiveram suas concentrações diminuídas no resíduo até atingirem os

critérios estabelecidos pelo Environmental Quality Standards for Soil. Shibayma et.al. (2006) transformou essa mesma fração do resíduo em cinzas e utilizou HCl como solução extratora, para a recuperação dos metais, resultando em uma alta recuperação de Cobre e Zinco (97%). Recentemente, Ferella et al. (2015) utilizou diferentes soluções extratoras para a recuperação de Cu, Zn, Fe e Pb.

O tratamento mecânico do resíduo inclui vários estágios de separação e limpeza da fração leve do resíduo para o aumento da qualidade do material a ser reciclado. O mais comum é a técnica de flutua/afunda para a separação dos plásticos de diferentes densidades.

Para a Terra da Shredder, segundo Péra (2003), a investigação que se mostra mais promissora é a sua utilização como agregado no concreto para preparação de matrizes de cimento. Rossetti et al (2006), destaca que esta é uma alternativa a ser considerada devido à crescente dificuldade em encontrar agregados naturais.

3.5 SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Solidificação/Estabilização (S/S) é um método que previne ou diminui a liberação de substâncias químicas perigosas presentes nos resíduos. Esse método normalmente não destrói o contaminante, mas imobiliza ou restringe a sua capacidade de lixiviação e solubilização, tornando-o menos tóxico ao ambiente. A contaminação ocorre quando a água da chuva ou de outras fontes dissolve os contaminantes e o carrega para as águas subterrâneas ou para as águas superficiais.

O processo de solidificação consiste em envolver o resíduo em um bloco sólido não permeável no qual permanece preso. A estabilização ocorre por meio de reações químicas que diminuem a capacidade poluidora das substâncias químicas presentes. Os dois processos ocorrem simultaneamente e é utilizando principalmente para o encapsulamento de substâncias metálicas e radioativas.

A solidificação ocorre através da mistura do resíduo com um agente de ligação (aglomerante). Os agentes de ligação mais comuns são o cimento, asfalto, cal, cinza e argila. Semelhante à solidificação, a estabilização também envolve a mistura do resíduo com o agente de ligação. Porém, o aglomerante produz uma reação química com os contaminantes que o torna menos suscetível às liberações no ambiente. Por exemplo, quando solo contaminado com metais é misturado à água e cal, uma reação transforma os metais em uma forma insolúvel em água.

Barth e Percin (1990) dividem os processos de solidificação/estabilização em dois grandes grupos: inorgânicos e orgânicos. Os principais processos inorgânicos utilizam como agente de ligação o cimento, materiais pozolânicos, a cal, o gesso e os silicatos. Nos processos orgânicos os materiais experimentalmente usados, incluem resinas epóxi, poliéster, asfalto, poliolefinas e uréia-formaldeído.

As vantagens e desvantagens dessa tecnologia variam de acordo com o tipo de processo empregado, dos aglomerantes utilizados, das características do resíduo e de condições locais específicas como clima, localização geográfica e legislação. A Tabela 1 mostra algumas características a serem consideradas no momento da definição do agente aglomerante.

Tabela 1 – Compatibilidade entre categorias específicas de resíduos e as técnicas S/S (MELCHERT, 2012; WILES,1989; OLIVEIRA ,2003)

Compostos presentes nos resíduos	**Tipos de Tratamento de Solidificação/Estabilização**			
	Baseado em cimento	**Baseado em cal**	**Termoplásticos**	**Polímeros Orgânicos**
Solventes orgânicos e óleos	Impedem a cura e podem escapar na forma de vapor	Impedem a cura e podem escapar na forma de vapor	Orgânicos podem vaporizar-se com o calor	Podem impedir ou retardar o endurecimento do polímero
Sólidos orgânicos (plásticos, resinas e alcatrão)	Bom- em geral aumentam a durabilidade	Bom – Em geral aumentam a durabilidade	Possível uso como agente ligante	Podem impedir ou retardar o endurecimento do polímero
Resíduos ácidos	Ácidos são neutralizados	Compatível	Pode ser neutralizado antes da incorporação	Compatível
Oxidantes	Compatível	Compatível	Pode causar colapso na matriz	Pode causar colapso na matriz
Sulfatos	Pode retardar a cura do cimento	Compatível	Pode desidratar causando defeitos	Compatível
Halogênios	Facilmente lixiviado do cimento	Facilmente lixiviado do cimento	Podem ocorrer reações indesejáveis	Compatível
Metais pesados	Compatível	Compatível	Compatível	pH ácido solubiliza os metais
Materias radioativos	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível

A técnica S/S baseada em cimento Portland é uma técnica simples, de fácil aplicação, e utiliza o cimento, um material acessível. Chandler et al (1997), apresenta as seguintes vantagens dessa técnica: a) amplamente disponível a um custo razoável; b) técnicas de

mistura e manuseio bem desenvolvidas; c) equipamentos necessários disponíveis; d) tolerante a variações químicas do resíduo; e) resistência do produto final pode ser controlada pela quantidade de cimento adicionada ao processo.

3.6 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é definido como sendo um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente em silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição. Os clínqueres são nódulos de 5 a 25mm de diâmetro de um material sintetizado, produzido quando uma mistura de matérias primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas (METHA; MONTEIRO, 1994).

As matérias primas usadas na fabricação do cimento Portland se constituem, principalmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. Essas substâncias reagem entre si no forno, dando origem a uma série de produtos mais complexos. Seu processo de fabricação consiste em moer as matérias primas, misturá-las nas proporções adequadas e queimar essas misturas em grandes fornos rotativos até uma temperatura de cerca de 1450 ^{o}C. Nessa temperatura, o material sofre uma fusão incipiente precipitando-se em pelotas, o chamado clínquer. O clínquer é resfriado e moído até um pó bem fino e então adiciona-se uma pequena quantidade de gesso, para evitar uma pega rápida do cimento ao se hidratar. (NEVILLE,1982).

Algumas adições podem ser incorporadas ao clínquer durante a moagem, para a obtenção de cimentos com propriedades específicas. Entre essas adições, destacam-se os materiais pozolânicos. As pozolanas são materiais naturais ou artificiais contendo sílica ativa, a qual, na presença de água e cal, formam silicatos de cálcio que apresentam propriedades aglomerantes.

O cimento Portland anidro não aglomera areia e agregado graúdo, ele só adquire a propriedade adesiva quando misturado à água, em um processo chamado de hidratação do cimento. Os principais compostos químicos do cimento são os silicatos e aluminatos, que não se hidratam à mesma velocidade. Os aluminatos hidratam mais rapidamente, fazendo com que os silicatos tenham um papel importante na determinação das características de endurecimento (taxa de desenvolvimento da resistência).

Existem diversos tipos de cimento Portland, esses tipos se diferem de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio, material carbonático e de adições como pozolanas, escórias e calcário. O cimento CP I é o cimento comum e apresenta como variação o CP I – S

com adição de pozolana entre 1% e 5%. O CP II – E é o cimento Portland com adição de até 34% de escória, o CP II -Z é o cimento composto com até 14% de pozolana e o CP II – F é o cimento composto com filler . O CP III é o cimento Portland de alto forno com adição de até 70% de escória. O CP IV tem a adição de até 50% de pozolanas, O CP V ARI é o de alta resistência inicial e é usada para fabricação das peças de concreto para pavimentação.

O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade. O clínquer é o mesmo utilizado para a fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo mais prolongado. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto.

O CP V-ARI não contém adições (porém pode conter até 5% em massa de material carbonático). O CP V-ARI é produzido com um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila se comparado aos demais tipos de cimento e com moagem mais fina. Esta diferença de produção confere a este tipo de cimento uma alta resistência inicial do concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade. É largamente utilizado em produção industrial de artefatos, onde se exige desforma rápida, concreto protendido pré e pós-tensionado, pisos industriais e argamassa armada.

3.7 CONCRETO

O concreto é o material resultante da mistura de agregados, aglomerantes, água e em alguns casos, aditivos e adições minerais. É o material de construção mais utilizado e depois da água é o material mais consumido pelo homem (METHA; MONTEIRO, 2008).

Os agregados ajudam a aumentar a estabilidade e a resistência ao fogo e à abrasão, além de influenciar na condutividade térmica do concreto. São classificados, de maneira geral, de acordo com a dimensão das partículas, massa específica e origem. Quanto à dimensão das partículas constituintes, os agregados são divididos em dois grupos: agregados miúdos e agregados graúdos.

Segundo a ABNT NBR 7211, o agregado miúdo é definido como a areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira de 4,8mm e ficam retidos na peneira de 0,075mm. Já os agregados

graúdos correspondem ao pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152mm e ficam retidos na peneira de 4,8mm.

A água utilizada para a composição do concreto não deve conter impurezas que prejudique a qualidade do produto final. Frasson Júnior (2000) considera que não há razão direta entre aumento do consumo de água e perda da resistência mecânica. Como tais elementos são produzidos, em geral, em equipamentos de vibro-prensagem, muitas vezes um consumo maior de água pode contribuir para um melhor adensamento. Por outro lado, em excesso podem ocorrer problemas de desmoldagem e deformações. Os aglomerantes consistem essencialmente de cimento Portland e suas diversas modificações.

Aditivo é definido como um material, além da água, agregado e cimento empregado como um constituinte do concreto e adicionado à betoneira antes ou durante a mistura dos materiais. Apresentam diversas finalidades como o aumento da plasticidade do concreto, também é utilizado para retardar ou acelerar o tempo de pega, aumentar a durabilidade, entre outras.

Segundo Neville (1982) é importante que o concreto apresente plasticidade e coesão suficiente para seu manuseio, seja de forma manual ou por máquinas, adquirindo resistência no decorrer do tempo. Essa resistência é em função da reação química do cimento com a água, que oferece forte ligação com os agregados.

De acordo com Petrucci (1981), para a obtenção de um concreto durável, resistente, econômico e de bom aspecto, é importante os estudos:

- Das propriedades de cada um dos materiais componentes;
- Das propriedades do concreto e dos fatores suscetíveis de alterá-las;
- Do proporcionamento correto e da execução cuidadosa da mistura;
- Dos meios de transporte, lançamento e adensamento compatíveis com a obra;
- Do modo de executar o controle do concreto durante a preparação e após o endurecimento.

3.7.1 Peças de concreto para pavimentação

A norma ABNT NBR 9781 (2013) define peça de concreto como componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado. As peças (ou blocos) de concreto para pavimentação intertravados (pavers) constituem uma eficaz solução para uso em ruas, calçadas, calçadões e praças.

Intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos. Para que se consiga o intertravamento duas condições são necessárias: contenção lateral e junta preenchida com areia. A contenção lateral impede o deslocamento lateral dos blocos da camada de rolamento, a areia de selagem proporciona a transferência de esforços entre os blocos de concreto, permitindo que eles trabalhem juntos e surportem as cargas solicitantes.

Os pavimentos intertravados têm sua origem nos pavimentos revestidos com pedras, executados na Mesopotâmia há quase 5000 anos a.C. e muito utilizados pelos romanos desde 2000 a.C. Este tipo de pavimento evoluiu, primeiro, para o uso de pedras talhadas, resultando nos paralelepípedos e mais tarde devido à falta de conforto de rolamento impulsionaram o desenvolvimento das peças de concreto pré-fabricadas. Após a Segunda Guerra Mundial, os blocos passaram a ser produzidos em fábricas, na Alemanha, tomando grande impulso na década de 70, quando chegaram ao Brasil (ABCP,2010).

Hallck (2001) pontua as vantagens dos blocos intertravados:

- Possuem o uso imediato do pavimento logo após seu assentamento;
- Possuem capacidade para manter a sequência do pavimento mesmo quando sujeitos a acomodações do subleito;
- Possibilitam fácil reparação, facilidade de acesso às instalações subterrâneas sem marcas aparentes, reutilização das peças, fácil execução, alta resistência a abrasão, resistência ao ataque de óleos combustíveis, baixa manutenção;
- Não há exigência de mão-de-obra ou equipamentos especiais, facilidade na incorporação de sinalização horizontal em função das peças coloridas;
- Apresentam menor absorção solar;
- Pavimento mais permeável, que proporciona a micro drenagem das águas pluviais.

Além dessas características favoráveis ao uso dos blocos de concreto, o pavimento intertravado permite obras de manutenção sem a necessidade de quebra do piso, o que tem como consequência a não geração de resíduos sólidos e não exigir novos insumos para sua recomposição.

3.7.1.1 Características

A calçada de pavimento intertravado para ambientes externos deve levar em consideração os aspectos de uso, tais como abrasão, tráfego de pedestres, cadeirantes e intempéries. As principais características desse tipo de pavimento são (ABCP, 2010):

- Superfície antiderrapantes: o concreto proporciona segurança aos pedestres, mesmo em condições de piso molhado;
- Conforto térmico: a utilização de peças de concreto com pigmentação clara proporciona menor absorção de calor, melhorando o conforto térmico;
- Liberação de tráfego: imediato, após compactação final do pavimento;
- Resistência e durabilidade: a elevada resistência do concreto confere grande durabilidade à calçada;
- Produto ecológico: os produtos à base de cimento podem ser totalmente reciclados e reutilizados na produção de novos materiais. Isto ajuda na preservação de jazidas de calcário e evita saturação dos aterros;
- Diversidade de cores: as peças de concreto podem ser fabricadas com uma ampla variedade de cores e texturas.

São definidos três tipos básicos de formatos de blocos segundo ABNT NBR 9781 (2013) (Figura 2):

- Tipo 1: Constituído por formas retangulares, de fácil produção e colocação em obra, além de facilitar a construção de detalhes nos pavimentos. Suas faces podem ser retas, curvilíneas ou poliédricas.
- Tipo 2: Genericamente, apresenta o formato “I” e somente pode ser montado em fileiras travadas.
- Tipo 3: É o bloco que não pode ser apanhado com uma única mão devido ao seu peso e tamanho.

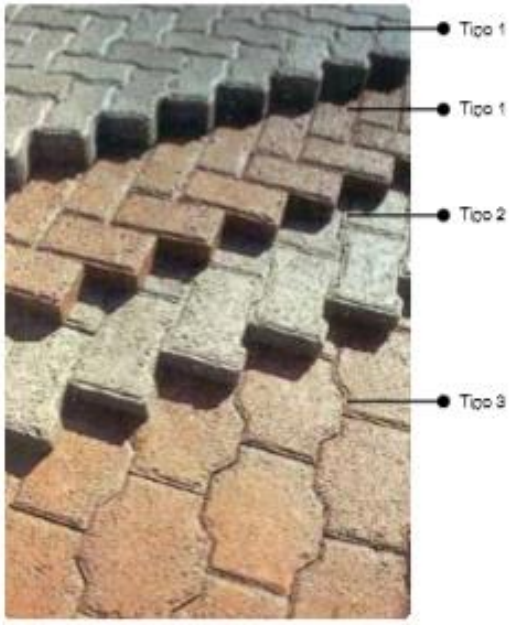


Figura 2 - Tipologias de peças de concreto intertravados (ABCP,2010)

3.7.2 Resíduos sólidos na produção de blocos de concreto para pavimentação

Diversos projetos de pesquisa foram conduzidos para avaliar ou demonstrar a viabilidade da utilização de resíduos sólidos como material de construção, a prática de emprego de resíduos como materiais alternativos têm se mostrado promissora na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (Tabela 2). Os geradores de resíduos precisam adotar a visão de produto ao invés de resíduo. E essa visão deve ser transformada em ação. Muitas barreiras devem ser superadas antes que a utilização de qualquer material seja amplamente aceita para uso na construção civil. Estas incluem considerações econômicas, institucionais (políticas governamentais) e técnicas (CHATEAU,2007).

Tabela 2- Estudo da utilização de resíduos na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (SANTOS, 2012)

Resíduo utilizado	Forma de incorporação do material ao concreto	Resultados obtidos	Autor
Pó de aciaria elétrica a arco	Adição à massa de cimento, com teores de substituição de 0, 5, 15 e 25% de substituição. Na primeira etapa do estudo foi fixada a relação água/cimento e na segunda etapa foi fixado o teor de umidade (relacionado com a capacidade de moldar os corpos-de-prova).	Nas duas etapas, os blocos contendo 15% de adição do resíduo obtiveram melhor desempenho quanto à resistência à compressão axial. Com relação aos ensaios de eflorescência e ataque de íons cloreto, os blocos produzidos com o resíduo mostraram-se com desempenho igual ou superior aos blocos referência. O resíduo retardou os tempos de início e fim de pega. O cimento agiu como formador de uma matriz para encapsular os metais pesados contidos no resíduo (Classe I – perigoso), já que o ensaio de caracterização ambiental mostrou que os blocos produzidos são classificados como Classe II (não-inerte)	Vargas (2002)
Resíduos de construção e demolição	Substituição parcial do agregado miúdo natural pelo resíduo em teores de 0%, 25%, 30%, 40%, 45% e 50% de substituição	Os resultados apontaram que o teor de 25% de substituição atingiu valores acima de 35Mpa aos 28 dias, além de apresentar valores satisfatórios nos ensaios de resistência à abrasão e absorção de água.Os índices de 30% e 35%, apesar de não atingirem a resistência determinada pela norma brasileira, apresentam resultados satisfatórios para serem empregados em locais que exijam baixas solicitações de tráfego.	Amadei (2011)
Resíduos de construção e demolição da indústria cerâmica e de pneus	Utilização de 100% de agregados reciclados originados de rejeitos de concretos das concreteiras da região metropolitana de Belo Horizonte	Os ensaios realizados para avaliação da resistência à compressão, apresentaram resultados satisfatórios, sendo que a substituição de 20% do volume de cimento por resíduo de polimento de porcelanato apresentou o melhor desempenho.	Purificação (2009)
Escória granulada de fundição de ferro	Substituição parcial do cimento e do agregado miúdo natural pelo resíduo em teores de 0 %, 10%, 30% e 50% de substituição.	O teor de 10% de substituição do cimento pelo resíduo foi o que mais se aproximou do desempenho dos blocos referência. Os resultados demonstraram que não há diferenças significativas entre os blocos referência e os blocos com resíduo com relação aos ensaios de desgaste por abrasão e absorção de água	Pagnussat (2004)
Resíduos de construção e demolição	Substituição parcial do agregado miúdo natural pelo resíduo em teores de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição	Verificou-se que o teor de 25% de substituição é passível de utilização para produção de blocos de concreto para pavimentação, enquanto que para os outros teores os resultados foram insatisfatórios	Hood (2006)

continua

Resíduo utilizado	Forma de incorporação do material ao concreto	Resultados obtidos	Autor
Resíduos de galvanoplastia (poeira de jateamento e logo)	Substituição parcial do cimento pelo resíduo em teores de 0%, 5%, 10%, 15% 20% e 25% de substituição	Os resultados dos blocos apresentaram redução na absorção de água em todas as proporções em relação aos blocos referência para todas as idades, além de aumento na resistência à compressão nos blocos em 5% de substituição.	Franco (2011)
Areia de fundição não-fenólica	Substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo em teores de 0%,13% e 25% de substituição. Os blocos foram produzidos utilizando equipamentos industriais que trabalham por vibração e por vibro-compressão.	Por vibração, e principalmente com a adição de resíduo (agregado miúdo), tem-se um aumento da área de transição pasta/agregado, resultando em um aumento de vazios e na formação de grandes cristais de $Ca(OH)_2$, diminuindo a resistência mecânica. Por vibro-compressão obteve-se um melhor empacotamento das partículas, principalmente com a adição de resíduo, e uma diminuição da distância de transição pasta/agregado, eliminando a formação de grandes precipitados de $Ca(OH)_2$ e , por consequência, aumentando a resistência mecânicas.	Watanabe (2006)
Resíduo de recauchutagem de pneus	Substituição parcial do agregado graúdo pelo resíduo em teores de 0%,8%,10% e 12% de substituição.	Os ensaios de resistência à compressão nos blocos de concreto com incorporação de resíduos de borracha apresentaram valores mais baixos em comparação com os blocos sem resíduos. Na dosagem C (10% de resíduos), os resultados da absorção dos blocos foram menores que os blocos da dosagem A (sem resíduos). Nos ensaios de resistência ao impacto, o comportamento de ruptura dos blocos de concreto com adição de resíduos de borracha foi diferente do bloco sem resíduos.	Fioriti et al. (2007)
Cinzas da incineração de resíduo sólido urbano	Substituição parcial do cimento pelo resíduo em teores de 0%, 22,3% e 55,6% de substituição.	A utilização das cinzas na fabricação de blocos de concreto para pavimentação como substituto ao cimento afetou negativamente a resistência à compressão do concreto. No entanto a redução da resistência mecânica pode ser compensada pela quantidade de cimento no traço. O concreto produzido com 55,6 % de substituição do cimento convencional pelo cimento reciclado apresentou resultados semelhantes ao do concreto confeccionado sem resíduo. Ensaios de lixiviação nos blocos de concreto apresentaram resultados satisfatórios quanto à lixiviação de contaminantes.	Tomaru (2009)

continuação

Resíduo utilizado	Forma de incorporação do material ao concreto	Resultados obtidos	Autor
Resíduos de borracha (desemborrachamento de pistas de pouso e decolagens de aeronaves)	Substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo em teores de 0%, 25%, 59%, 75% e 100% de substituição.	O resultado encontrado aponta a proporção de 25% como a melhor para se produzir os blocos, pois possui características semelhantes aos blocos que não contém resíduo na sua composição.	Sousa et al. (2010)
Rejeitos de carvão mineral	Substituição parcial do agregado miúdo natural em porcentagens de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%.	Os resultados obtidos com os blocos produzidos com 25% e 50% de substituição não apresentaram diferenças significativas em relação aos blocos referências. Os blocos produzidos não possuem característica de gerar drenagem ácida de minas devido à alta alcalinidade do cimento. O estudou demonstrou que é possível aproveitar parte dos rejeitos da mineração de carvão como agregado miúdo, reduzindo o passivo ambiental das indústrias carboníferas catarinenses.	Santos (2012)
Resíduos de areia de fundição aglomerada com argila e escória de alto-forno	Os resíduos participaram como agregados, miúdo (areia de fundição e graúdo (escórias de alto-forno). A areia natural foi substituída pela areia de fundição na porcentagem de 70%.	Os resultados obtidos superaram os 50Mpa no ensaio de resistência à compressão exigidos pela norma comprovando a viabilidade técnica do uso desses resíduos na confecção de peças de concreto para pavimentação	Pablos, Sichieri, Zago (2011)

conclusão

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Cimento Portland

Optou-se pela utilização do cimento CP-V-ARI para a fabricação dos concretos adotados na pesquisa por ser livre de adições e por sua capacidade de atingir altas resistências nos primeiros dias de aplicação, além da sua disponibilidade no mercado. A sua utilização é interessante, pois como se adquire altas resistências em baixas idades, o tempo de desforma e cura são menores do que concretos convencionais (PAGNUSSAT,2004). É o cimento utilizado pelas indústrias fabricantes de blocos para pavimentação e devido à alta resistência, apresenta maior durabilidade, sendo mais sustentável que os concretos de resistência usual. (HELENE; TUTIKIAN,2011). A composição química do cimento foi requerida à empresa fabricante, porém a empresa decidiu não fornecer essa informação.

Para o ensaio da determinação do índice de pozolanicidade com o cimento, foi utilizado o cimento CP II-F-32, exigido pela norma que discorre sobre o ensaio.

A tabela 3, mostra as especificações físicas e químicas exigidas para esse tipo de cimento.

Tabela 3– Especificações Cimento CP V ARI

CP V-ARI	**Especificações**
Blaine (cm²/g)	≥3000
Tempo de início de pega (h:min)	≥1
Tempo de fim de pega (h:min)	≤10
Finura na peneira # 200 (%)	≤6,0
Finura na peneira # 325 (%)	–
Expansibilidade à quente (mm)	≤5,0
Consistência normal (%)	–
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	≥14,0
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	≥24,0
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	≥34,0

continuação

Resistência à compressão 28 dias (MPa)	–
Perda ao fogo (%)	≤4,5
Resíduo insolúvel (%)	≤1,0
Trióxido de enxofre – SO_3 (%)	≤3,5
Óxido de cálcio livre – CaO Livre (%)	–
Óxido de magnésio – MgO (%)	≤6,5
Óxido de alumínio – Al_2O_3 (%)	–
Óxido de silício – SiO_2 (%)	–
Óxido de ferro – Fe_2O_3 (%)	–
Óxido de cálcio – CaO (%)	–
Equivalente alcalino (%)	–

conclusão

4.1.2 Agregado miúdo

Foi utilizado na pesquisa dois tipos de areia como agregado miúdo, a areia normal fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e uma areia comum. A areia do IPT foi utilizada para a realização do ensaio de determinação do índice de pozolanicidade com o cimento, sendo exigência da norma ABNT NBR 5752 (2014). A areia normal é definida como um material natural quartzoso, extraído do Rio Tietê, na cidade de São Paulo, fornecido pelo IPT, com características especificas de granulometria, material pulverulento, umidade, teor de argila, teor de feldspato, teor de mica e matéria orgânica.

Para a produção das matrizes de concreto e das peças de concreto para pavimentação, foi utilizada uma areia comum de granulometria média (Tabela 4). Essa areia foi adotada para que as granulometrias do resíduo (característica de areia fina) e da areia comum se complementassem e assim ocorresse o empacotamento, fenômeno em que os poros deixados pelos materiais de maior fração são preenchidos pelos de menor fração.

Tabela 4– Granulometria da areia comum

Peneira	M1 = 500g		M2 = 500g		Médias	
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.
9.5	0,0	0,0%	1,7	0,3%	0%	0%
6.3	0,6	0,1%	0,9	0,2%	0%	0%
4.75	0,6	0,1%	0,6	0,1%	0%	0%
2.36	12,1	2,4%	15,9	3,2%	3%	3%
1.18	50,6	10,1%	53,8	10,7%	10%	14%
0.6	165,3	33,1%	171,6	34,2%	34%	47%
0.3	203,4	40,8%	198,0	39,4%	40%	87%
0.15	63,8	12,8%	57,8	11,5%	12%	100%
Fundo	2,6	0,5%	1,9	0,4%	0%	100%
Soma	**499,0**	**100,0%**	**502,2**	**100,0%**	**100%**	**352%**
				Diâmetro máximo característico:	**2.36**	**mm**
				Módulo de finura:	**2,52**	

Fonte: Laboratório de Construção Civil – IAU / USP

4.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo adotado foi a brita zero, conhecida popularmente como pedrisco. A Tabela 5 apresenta o resultado da caracterização granulométrica da brita zero utilizada.

Tabela 5- Granulometria do pedrisco

Peneira	M1 = 500g		M2 = 500g		Médias	
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.
9.5	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%
6.3	178,9	35,9%	178,6	35,8%	36%	36%
4.75	166,0	33,3%	167,0	33,5%	33%	69%
2.36	120,0	24,1%	120,2	24,1%	24%	93%
1.18	12,3	2,5%	12,1	2,4%	2%	96%
0.6	7,5	1,5%	7,6	1,5%	2%	97%
0.3	3,7	0,7%	3,8	0,8%	1%	98%
0.15	3,2	0,6%	3,0	0,6%	1%	99%
Fundo	7,0	1,4%	6,8	1,4%	1%	100%
Soma	**498,6**	**100,0%**	**499,1**	**100,0%**	**100%**	**688%**
				Diâmetro máximo característico:	**9.5**	**mm**
				Módulo de finura:	**5,52**	

Fonte: Laboratório de Construção Civil – IAU/USP

4.1.4 Resíduo Industrial

O resíduo industrial Terra da Shredder foi coletado no pátio metálico da empresa geradora localizada em Iracemápolis -SP. Esse material tem aspecto de solo, como visto na Figura 3. Sua caracterização segue nos itens 5.1 ao 5.5 dessa pesquisa.

Figura 3 - Resíduo Terra da Shredder (BATISTA,2014)

4.2 MÉTODOS

A estrutura metodológica da pesquisa é constituída por 3 etapas principais e experimentais. Na Figura 4 estão expostas as etapas dos procedimentos experimentais através do fluxograma da Estrutura Metodológica:

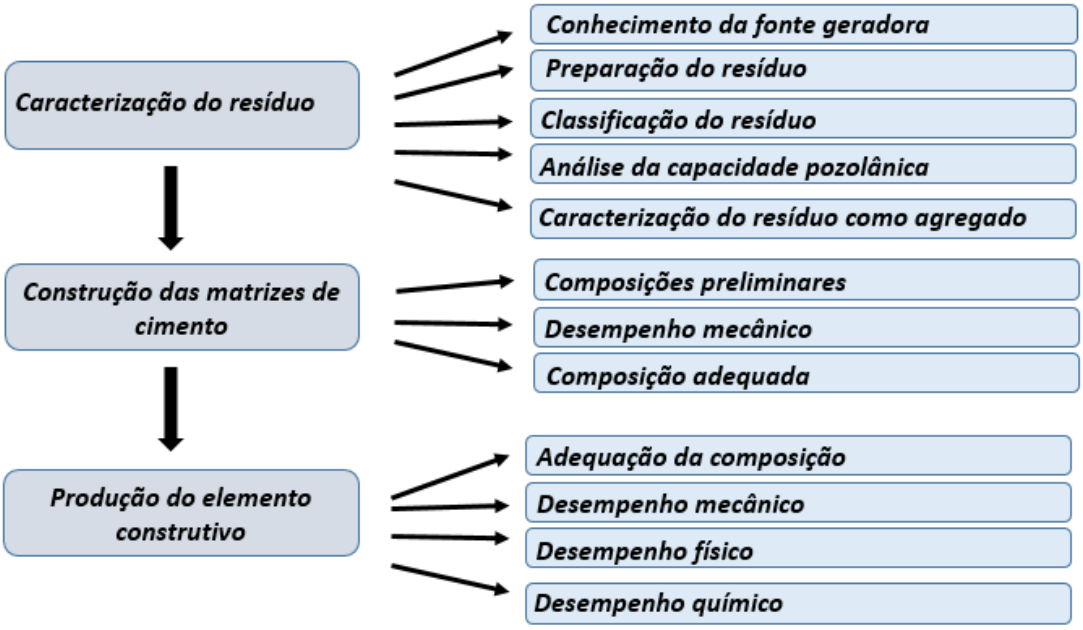


Figura 4 - Fluxograma da Estrutura Metodológica

Com base nessa estrutura metodológica, a Tabela 6 apresenta os ensaios necessárias para atingir os objetivos da pesquisa e suas respectivas normas.

Tabela 6-Ensaios e normas ABNT para ensaios

CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO	1 Coleta do resíduo	NBR 10007/2004
	2 Análise do extrato lixiviado	NBR 10005/2004
	3 Análise do extrato solubilizado	NBR 10006/2004
	4 Classificação do resíduo	NBR 10004/2004
	5 Teor de finura do material	NBR NM 46/2003
	6 Massa específica	NBR NM 23/2001
	7 Massa unitária	NBR NM 45/2006
	8 Granulometria	NBR 7211/2009
	9 Pozolanicidade com cimento	NBR 5752/2014
CONSTRUÇÃO DAS MATRIZES	10 Determinação resistência mecânica	NBR 5739/2007
PRODUCÃO PEÇAS DE CONCRETO	11 Determinação resistência mecânica	NBR 9781 /2013
	12 Absorção de água	NBR 9781/2013
	13 Análise do extrato lixiviado	NBR 10005/2004
	14 Análise do extrato solubilizado	NBR 10006/2004

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

4.3.1 Conhecimento da fonte geradora

Para o conhecimento do processo de geração do resíduo, visitas técnicas foram realizadas à área industrial da empresa geradora do resíduo. A empresa está localizada na Rodovia Laércio Corte, SP 147 (Piracicaba – Limeira), KM 127, no município de Iracemápolis, em São Paulo.

4.3.2 Classificação do resíduo – análise dos extratos lixiviado e solubilizado

A NBR 10004 (2004) – Resíduos Sólidos, Classificação – classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Os resíduos são classificados em perigosos (Classe I) ou não perigosos (Classe II). E ainda os resíduos não perigosos são classificados em não inertes (Classe II-A) ou em inertes (Classe II –B). Para isso, são utilizadas outras duas normas: a NBR 10005 (2004) – Obtenção do Extrato Lixiviado e a NBR 10006 (2004) – Obtenção do Extrato Solubilizado. São essas normas que estabelecem os procedimentos para identificar as substâncias presentes no resíduo.

Para a obtenção do extrato lixiviado, primeiramente, a amostra do resíduo passa em uma peneira de malha 9,5mm para avaliar o tamanho das partículas. Nessa condição, ela está pronta para a etapa de extração. O resíduo, então, é misturado a uma solução composta por ácidos e essa mistura é agitada mecanicamente durante 18 horas, à temperatura de 25ºC com rotação de 30 rpm em um equipamento denominado de extrator. Após esse período, a amostra é filtrada, primeiramente, por um papel filtro simples e depois em membranas mais finas com o auxílio de um compressor à vácuo. O filtrado obtido é denominado extrato lixiviado e a análise dos parâmetros desse lixiviado é realizada conforme o estabelecido pela 22ª edição da Standard Methods SW 846, de 2012 que indica vários procedimentos, dependendo do parâmetro que está sendo analisado.

Para o ensaio de solubilização, a amostra é submetida à temperatura de 42ºC para a sua secagem, utilizando uma estufa com circulação forçada de ar e exaustão. Em seguida, é adicionada à amostra 1000 ml de água destilada, desionizada e isenta de orgânicos e essa mistura é submetida a agitação manual em baixa velocidade por 5 minutos. Após essa etapa, o recipiente é fechado com filme PVC e fica em repouso por 7 dias em temperatura constante.

A filtração e a análise do solubilizado segue os mesmos procedimentos realizados para o lixiviado, sendo que a diferença é a quantidade limite para cada um dos parâmetros.

4.3.1 Análise da capacidade pozolânica

As pozolanas são materiais naturais ou artificiais contendo sílica ativa, a qual, na presença de água e cal, formam silicatos de cálcio que apresentam propriedades aglomerantes. Se o resíduo apresentar propriedades aglomerantes ele entra na matriz de concreto substituindo parte do cimento. A análise da capacidade pozolânica é realizada de acordo com a NBR 5752 (2014).

Segundo essa diretriz, é necessário para o ensaio a produção de duas argamassas: Argamassa A (padrão), composta de cimento, areia normal e água, e a Argamassa B, composta com 25 % do material a ser analisado em substituição ao cimento e as mesmas quantidades de areia e água. A quantidade de material para a produção das argamassas é especificada pela norma e está expressa na Tabela 7, abaixo:

Tabela 7– Quantidade de material, em massa, para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos

Material	**Massa (g)**	
	Argamassa A	**Argamassa B**
Cimento CP II-F-32	624	468
Material a ser analisado	-	156
Areia normal	1872	1872
Água	300	300

O resíduo não apresentou características pozolânicas e foi utilizado como agregado miúdo na matriz de concreto.

4.3.2 Caracterização do resíduo como agregado

Na técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland, aqui estudada, o resíduo sólido desempenhou o papel de agregado miúdo. A qualidade dos agregados pode ser avaliada através da sua composição, quanto a presença de substâncias nocivas, e também através de índices físicos. A caracterização do resíduo como agregado teve como referência os índices estabelecidos pela ABNT NBR 7211 (2009) – agregados para concreto especificação. E para essa caracterização os seguintes ensaios foram realizados:

4.3.2.1 Teor de finos do material

Esse ensaio é realizado com base na ABNT NBR NM 46 – Agregados, determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. O método consiste em secar a amostra de ensaio à temperatura de 110^{o}C até a massa da amostra permanecer constante. Após a secagem e a determinação da massa, a amostra é colocada em um recipiente e coberta de água, sendo vigorosamente agitada para que se obtenha a completa separação das partículas mais finas que 75 µm, que permanecem em suspensão. Em seguida, essa água de lavagem é passada pela peneira para a retirada do material fino (Figura 5). Essa operação é repetida até que a água de lavagem fique clara. O material que ficou retido na peneira é levado à estufa onde permanece em temperatura constante de 105^{o}C por 24 horas e por fim essa massa retida na peneira é determinada através de sua pesagem.

O teor de materiais finos permite prever o desempenho das pastas de cimento Portland, porque, quando presentes em grandes quantidades nos agregados podem prejudicar seu total envolvimento pela pasta de cimento. Porém, em quantidades adequadas facilitam o auto adensamento garantindo uma melhor compactação e preenchimento dos vazios existentes entre os grãos. O empacotamento pode ser otimizado, diminuindo a porosidade do sistema (CASTRO; PANDOLFELLI,2009).

Figura 5 - Determinação de finos

4.3.2.2 Massa específica

Os procedimentos para a determinação da massa específica são estabelecidos pela ABNT NBR NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó, determinação da massa específica. O ensaio é realizado por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier, preenchido com um líquido que não reaja quimicamente com o material analisado e um funil para facilitar o lançamento do material no frasco.

O frasco foi preenchido com o líquido escolhido, no caso, a água até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a zero e 1cm^3.Em seguida, o resíduo foi introduzido no frasco em pequenas porções e o frasco foi girado em posição inclinada até que as bolhas de ar pararam de subir para a superfície. Por fim, foi registrada a leitura final do nível do líquido. A determinação da massa específica deve ser a média dos resultados de duas determinações e expressos em g/cm^3 com duas casas decimais. Na unidade de volume está incluso os poros internos das partículas.

A determinação da massa específica é importante para o cálculo de dosagem dos materiais e cálculo do consumo de materiais.

4.3.2.3 Massa unitária

Massa unitária é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume, incluindo os vazios. O fenômeno da massa unitária surge porque não é possível empacotar as partículas dos agregados de tal forma que não haja espaços vazios. O conhecimento da massa unitária é necessário para a dosagem dos materiais em um traço. Para dosar em volume, a massa unitária é usada para converter quantidades expressas em massa em quantidades expressas em volume (NEVILLE, 1982).

O ensaio para a determinação da massa unitária do resíduo é realizado de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 45 2006 – Agregados, determinação da massa unitária e do volume de vazios. Para o seu cálculo, o primeiro passo é obter o volume e a massa do recipiente vazio. Em seguida, o resíduo é colocado no recipiente em três camadas, sendo que cada camada correspondente a 1/3 do volume do recipiente e é necessário que ao final da deposição de cada camada sejam executadas 25 batidas para compactação do material. Preenchido todo o volume do recipiente com o resíduo, a superfície é alisada com uma régua e a pesagem é realizada. A massa do agregado é a diferença da massa do recipiente cheio e a massa do recipiente vazio. São necessárias três determinações e o resultado é a

média dos resultados individuais obtidos, calculado pela massa do agregado dividido pelo volume do recipiente.

4.3.2.4 Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem uma amostra e no tratamento estatístico dessa informação.

Segundo Neville (1982) a granulometria é importante, pois influência em algumas características da argamassa, tal como trabalhabilidade, influência na hidratação, durabilidade e ajuda a entender como as partículas estão divididas. O ideal é que as granulometrias sejam complementares, para que os espaços vazios deixados pelas partículas de maior tamanho sejam preenchidos pelas partículas de menor tamanho. O ensaio é realizado com base na NBR 7211 (2009), no qual duas amostras de mesma massa do material são colocadas no conjunto das peneiras, que estão dispostas em ordem decrescente de tamanho, e agitadas com o auxílio do agitador mecânico. A massa do material retido em cada peneira é pesada assim como a massa retida no fundo.

4.4 CONSTRUÇÃO DAS MATRIZES DE CIMENTO

4.4.1 Estabelecimento das composições preliminares.

Para o estabelecimento das composições preliminares das matrizes utilizando o resíduo como agregado, deve-se estabelecer um traço de referência que esteja de acordo com a resistência desejável. Essa resistência é em função da finalidade da matriz de concreto. Por se tratar de um agregado reciclado, funções estruturais para o concreto desenvolvido não é desejável, optou-se, portanto, para sua utilização em peças de concreto para pavimentação. Adota-se a resistência desejável de f_{ck28}= 35Mpa, mas para um rigoroso controle de qualidade, o valor da resistência média aos 28 dias pode ser determinado por:

$$f_{cm28} = f_{ck28} + 1{,}65\ Sd = f_{ck28} + 1{,}65 \cdot 4 = 41{,}6\ Mpa \quad (1)$$

De acordo com Andolfato (2002), a massa dos agregados pode ser determinada pelas seguintes expressões:

$$A == 0{,}5.\ \frac{X}{Y} - 1, \text{ sendo A= agregado miúdo (areia)} \quad (2)$$

$$B = 0{,}5.\ \frac{X}{Y}\ , \text{ sendo B = agregado graúdo (brita)} \quad (3)$$

Os parâmetros X e Y são obtidos, respectivamente, por meio das tabelas 8 e 9 abaixo:

Tabela 8- Fator X (água/ cimento) em função da resistência

Fator água/cimento (X)	Resistência média aos 28 dias (fcm) -Mpa
0,37	45
0,40	40
0,45	35

Tabela 9- Relação Y para concreto, em função do diâmetro máximo dos agregados

Diâmetro máximo do agregado	Concreto sem aditivo	Concreto com aditivo
19mm	9 %	8 %
25mm	8,5 %	7,5 %

Interpolando os dados da Tabela 8 para um f_{cm}= 41,6 obtém-se X =0,37 e pela Tabela 9 obtém-se Y= 0, 09. Com esses dados, calcula-se os valores de A e B:

$$A = 0{,}5.\frac{0{,}37}{0{,}09} - 1 = 1{,}06 \quad (4)$$

$$B = 0{,}5\,.\frac{0{,}37}{0{,}09} = 2{,}06 \quad (5)$$

Determinou-se, assim, o traço em massa: 1: 1,06: 2,06. Porém, com a adequação da consistência em laboratório o traço de referência ficou sendo o 1: 1,2: 1,8: 0,37.

Esse método foi utilizado por Costa (2011) em sua pesquisa substituindo a areia natural por lodo de ETA em matrizes de concreto.

Obtido o traço, pode-se estimar o consumo de cimento para o volume do corpo de prova de dimensões 10x20cm através da equação:

$$C = \frac{\pi.\frac{1^2}{4}.2}{\frac{1}{\gamma_{cimento}} + \frac{1{,}2}{\gamma_{areia}} + \frac{1{,}8}{\gamma_{brita}} + X} \quad (6)$$

$\gamma_{cimento=}$ 3,15 kg/dm^3

$\gamma_{areia=}$ 2,63 kg/dm^3

$\gamma_{brita=}$ 2,65 kg/dm^3

$$C_{cimento} = \frac{1{,}57}{\frac{1}{3{,}15} + \frac{1{,}2}{2{,}63} + \frac{1{,}8}{2{,}65} + 0{,}37} = 0{,}86Kg \quad (7)$$

$$C_{areia} = 0{,}86.\ 1{,}2 = 1{,}03\ Kg \quad (8)$$

$$C_{brita} = 0{,}86.\ 1{,}8 = 1{,}55\ Kg \quad (9)$$

$$C_{água} = 0{,}86.\ 0{,}37 = 0{,}31\ Kg = 310\ mL \quad (10)$$

As massas obtidas anteriormente foram utilizadas para a confecção do traço padrão. Para os demais traços, houve a substituição da areia natural pelo resíduo Terra da Shredder, em massa, nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20%. No entanto, como forma de evitar um consumo excessivo de material, optou-se pela realização dessas substituições em corpos de prova cilíndricos de dimensão 5x 10cm.A quantidade de materiais, por corpo de prova, utilizados está exposta na tabela 10, abaixo:

Tabela 10– Teor de substituição – quantidade de materiais

Substituição	Cimento Kg	Areia Kg	Resíduo Kg	Pedrisco Kg	Água ml
5%	0,107	0,122	0,0064	0,192	39,6
10%	0,107	0,116	0,0128	0,192	39,6
15%	0,107	0,109	0,0193	0,192	39,6
20%	0,107	0,103	0,0257	0,192	39,6

4.4.2 Verificação do desempenho mecânico

Antes da execução dos ensaios de resistência à compressão, deve-se produzir os corpos de prova de acordo com o estabelece a NBR 5738 (1994). Essa norma discorre sobre as condições de moldagem, desforma, preparação de topos, transporte e cura de corpos cilíndricos de concreto. O ensaio de resistência a compressão é regido pela norma NBR 5739 (2007), é um ensaio simples e rápido em que são necessários apenas os corpos de prova e uma prensa hidráulica. Para cada traço foram fabricados 4 corpos de prova, totalizando 20 corpos de prova para esse ensaio. Na Tabela 11 a seguir, está exposto a quantidade de total materiais utilizados para a confecção de todos os corpos de prova utilizados no ensaio:

Tabela 11- Quantidade total dos materiais

Cimento (kg)	Areia (kg)	Resíduo (kg)	Brita (kg)	Água (ml)
1,288	1,482	0,0642	2,318	468,4

4.4.3 Estabelecimento da composição adequada

Após a realização do teste de resistência à compressão, a composição da matriz que apresentou desempenho mecânico satisfatório foi a composição utilizada para a fabricação das peças de concreto para pavimentação.

4.5 PRODUÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

4.5.1 Produção das peças de concreto para pavimentação

Nessa etapa, foram produzidos 40 blocos de concreto para pavimentação do tipo 1. A fôrma utilizada para a prensagem das peças foi do Tipo 1 com faces laterais curvilíneas e com 8 cm de altura. Os blocos de concreto foram produzidos em uma fábrica localizada no distrito de Água Vermelha, no município de São Carlos – SP, utilizando uma prensa eletro hidráulica com capacidade de prensagem de 5 toneladas. Foram moldados 10 blocos por vez.

4.5.2 Verificação do desempenho mecânico

O procedimento de ensaio de resistência à compressão deve seguir as recomendações propostas pela Anexo A da NBR 9781 (2013). Para tráfico de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, os blocos de concreto devem apresentar um f_{pk28}= 35 Mpa. Para esse ensaio foi necessária uma amostra de 6 blocos de concreto. Foram realizados ensaios nas idades de 9 e 28 dias.

4.5.3 Verificação do desempenho físico

O procedimento de ensaio de determinação da absorção de água deve seguir as recomendações propostas pelo Anexo B da NBR 9781 (2013). As amostras devem apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%. Não sendo admitido nenhum valor individual maior que 7%. Foram necessárias 3 peças para esse ensaio. Esse dado define o volume dos poros, o ensaio consiste na aferição das massas das peças para pavimentação em estado seco e em estado saturado. Na primeira etapa, os blocos foram colocados em estufa por aproximadamente 24 horas até que sua massa permaneceu constante. Após a aferição da massa no estado seco os blocos foram imersos em tanque com água durante 24 horas, e foi feita uma nova medida da massa em estado saturado. O resultado é expresso em percentual.

4.5.4 Verificação do desempenho químico

Foi realizado o ensaio de solubilização para a verificação da eficiência da técnica de estabilização/solidificação do resíduo sólido nos blocos de concreto. O ensaio de lixiviação não foi necessário, pois o resíduo foi classificado como não perigoso. É realizado de acordo com os parâmetros da NBR 10006 (2004) e analisado de acordo com os parâmetros da NBR

10004 (2004). Foram necessárias 2 peças para esse ensaio. O resultado foi comparado com o resultado da análise do resíduo in natura, determinando a eficiência de estabilização das matrizes de cimento Portland, de acordo com a equação 11:

$$Eest = \frac{C_r - C_m}{C_r} \; x \; 100 \qquad (11)$$

Onde:

E_{est} = Eficiência de estabilização na matriz (%);

C_r = Concentração do elemento no resíduo in natura (mg/L);

C_m = Concentração do elemento na matriz solidificada (mg/L).

Para esse ensaio, as peças de concreto passaram por um processo de trituração, pois o procedimento para obtenção do extrato é feito a partir de materiais que apresentam granulometria menor que 9,5mm (Figura 6).

Figura 6 - Preparação do resíduo para o ensaio de solubilização

5. RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

5.1.1 Conhecimento da fonte geradora

O resíduo sólido industrial utilizado na pesquisa é a Terra da Shredder, gerada na Shredder localizada na Rodovia Laércio Corte, SP 147 (Piracicaba – Limeira), KM 127, no município de Iracemápolis, em São Paulo.

O equipamento em questão é alimentado com sucatas provenientes de diversas fontes: a) sucata de geração interna (aço sucateado na própria usina); b) sucata gerada em indústrias transformadoras de produtos siderúrgicos; c) sucatas de bens de consumo já obsoletos pelo uso, como automóveis e eletrodomésticos e d) sucatas de bens de capital (sucatas originadas da demolição de unidades industriais e/ou da obsolescência de máquinas e equipamentos). Sendo que a maior parte das sucatas processadas na Shredder são provenientes de Veículos em Fim de Vida (VFV).

Segundo a Licença Ambiental, nº 42004381 de 28/01/2014, de Operação do Pátio Metálico onde a Shredder está localizada, a capacidade de recepção, armazenamento e beneficiamento anual de sucata é de 1.320.000 toneladas.

O abastecimento da sucata na Shredder é realizado pelo equipamento denominado E-crane. O material coletado pelo E-crane é enviado para a Shredder, através de correias transportadoras, onde é triturado até um tamanho que permita a sua passagem pelas grelhas de 150 mm acopladas ao equipamento. Além da trituração, a Shredder conta com esteiras e rolos magnéticos que fazem a separação dos metais ferrosos. A sucata triturada e não ferrosa é enviada, também por correias transportadoras, para a separação magnética no equipamento denominado de Eddy Current. O Eddy Current utiliza energia elétrica para a criação de um campo magnético que separa o material não ferroso das impurezas presentes na sucata. O material ferroso não separado na Shredder, também é separado no Eddy Current. As impurezas separadas nesse processo constituem os resíduos da Shredder. Esse resíduo se divide em duas frações de materiais, a Terra da Shredder, que recebe esse nome pela sua aparência de “terra”, e o Fluf da Shredder, material menos denso com aparência de resíduo urbano. Cada fração corresponde a 50% do resíduo total.

Juntos esses dois materiais tem uma geração média de 5000 toneladas por mês, o que corresponde a 23% de toda a sucata processada. E são enviados, em sua totalidade, ao Aterro Industrial localizado em Paulínia, no estado de São Paulo.

5.1.2 Preparação do resíduo para sua utilização como agregado reciclado

Para a utilização do resíduo sólido Terra da Shredder como agregado reciclado, o material passou por uma etapa de beneficiamento. Primeiramente, o resíduo coletado permaneceu em estufa durante o período de 24 horas com a temperatura constante de 100 ºC, para secagem. Em seguida, devido ao seu aspecto heterogêneo (Figura 7), o material passou por uma peneira com abertura de 4,8mm para a retirada do material de maior dimensão.

Figura 7- Terra da Shredder antes do peneiramento

O resíduo sólido foi pesado depois de sua secagem e a balança mediu a quantidade de 27,5 kg de material. Após a passagem pela peneira, 3,25 kg do resíduo ficou retido em sua grade (Figura 8). Dessa forma, o material utilizado como agregado miúdo corresponde a 88% da Terra da Shredder coletada.

Figura 8 - Material retido na peneira

5.1.3 Classificação do resíduo – análise do extrato lixiviado e solubilizado

Os ensaios para classificação do resíduo Terra da Shredder foram realizados no Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento – EESC- USP e no Laboratório de Química Ambiental do Departamento de Química e Física Molecular do Instituto de Química de São Carlos – IQS- USP. Nos resultados (Tabelas 12 e 13) da análise do lixiviado do resíduo em estudo, todos os elementos identificados ficaram dentro dos limites exigidos pela norma NBR 10004/2004, atendendo então ao anexo F da mesma. Sendo assim, é possível afirmar que o resíduo é classificado como Classe II, não perigoso.

Tabela 12- Resultados – lixiviação – Terra da Shredder

PARÂMETRO	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO LIXIVIADO mg/L	RESULTADO
ARSÊNIO	1,0	<LD
BÁRIO	70,0	1,18
CÁDMIO	0,5	0,072
CHUMBO	1,0	0,01
FLUORETOS	150,0	0,75
MÉRCURIO	0,1	<LD
PRATA	5,0	0,010
SELÊNIO	1,0	0,53

LD = limite de detecção

Fonte: Laboratório de Saneamento – EESC, 2015. Adaptado pela autora

Tabela 13 -Resultados – lixiviação – Terra da Shredder

PESTICIDAS		
PARÂMETRO	**LIMITE MÁXIMO NO EXTRADO LIXIVIADO mg/L**	**RESULTADO**
ALDRIN+DIELDRIN	0,003	<LD
CLORDANO	0,02	<LD
2,4-D	3	<LD
ENDRIN	0,06	<LD
HEPTACLORO E SEUS EPÓXIDOS	0,003	<LD
LINDANO	0,2	<LD
METOXICLORO	2	<LD
PENTACLOROFENOL	0,9	<LD
TOXAFENO	0,5	<LD
2,4,5-T	0,2	<LD
2,4,5-TP	1	<LD
OUTROS ORGÂNICOS		
BENZENO	0,5	<LD
BENZO(a)PIRENO	0,07	<LD
CLORETO DE VINILA	0,5	<LD
CLOROBENZENO	100	<LD
CLOROFÓRMIO	6,0	<LD
CRESOL TOTAL	200,0	<LD
1,4-DICLOROBENZENO	7,5	<LD
1,2-DICLOROETANO	1,0	<LD
1,1-DICLOROETILENO	3,0	<LD
2,4-DINITROTOLUENO	0,13	<LD
HEXACLOROBENZENO	0,1	<LD
HEXACLOROBUTADIENO	0,5	<LD
HEXACLOROETANO	3,0	<LD
METILETILCETONA	200,0	<LD
NITROBENZENO	2,0	<LD
PIRIDINA	5,0	<LD
TETRACLORETO DE CARBONO	0,2	<LD
TETRACLOROETILENO	4,0	<LD
TRICLOROETILENO	7,0	<LD
2,4,5-TRICLOROFENO	400,0	<LD
2,4,6- TRICLOROFENOL	20,0	<LD

LD = Limite de detecção

Fonte: Laboratório de Química Ambiental – IQS/USP,2015. Adaptado pela autora

Já na análise do extrato solubilizado do resíduo, foram detectados alguns elementos que ultrapassaram os limites permitidos pelo anexo G da NBR 10004/2004. Os elementos alumínio, cádmio, fenóis totais, ferro total, fluoretos, manganês, selênio e surfactantes, ultrapassaram os limites dados pela norma. Por esse motivo, o resíduo é classificado como Classe II A, não perigosos e não inerte (Tabela 14).

Tabela 14 -Resultados – solubilização – Terra da Shredder

PARÂMETRO	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO SOLUBILIZADO mg/L	RESULTADO mg/L
ALUMÍNIO	0,2	**0,82**
ARSÊNIO	0,01	<LD
BÁRIO	0,7	<LD
CÁDMIO	0,005	**0,011**
CHUMBO	0,01	<LD
CIANETOS	0,07	<LD
CLORETOS	250	22,5
COBRE	2	0,051
CROMO TOTAL	0,05	0,038
FENÓIS TOTAIS	0,01	**0,274**
FERRO TOTAL	0,3	**1,033**
FLUORETOS	1,5	**1,88**
MANGANÊS	0,1	**0,139**
MERCÚRIO	0,001	<LD
NITRATOS	10	8,62
PRATA	0,05	<LD
SELÊNIO	0,01	**0,92**
SÓDIO	200	183
SULFATOS	250	205
SURFACTANTES	0,5	**1,38**
ZINCO	5	0,415

LD = Limite de detecção

Fonte: Laboratório de Química Ambiental – IQS/USP,2015. Adaptado pela autora

Na análise de solubilização para os pesticidas e outros orgânicos realizada no Laboratório de Química Ambiental –IQS-USP, assim como no ensaio de lixiviação, todos os elementos estavam em concentração abaixo do limite de detecção.

5.1.4 Caracterização do resíduo como agregado

5.1.4.1 Teor de materiais finos

Esse ensaio é determinado pela NM 46 2003- Agregados, determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem - e o resultado é expresso em percentual. É calculado de acordo com a equação 12, abaixo. A massa inicial de resíduo utilizada para o ensaio foi de 500 g e o procedimento foi repetido duas vezes, como especificado pela norma.

$$m = \frac{mi-mf}{mi} x\ 100 \quad (12)$$

onde:

m: porcentagem de material mais fino que a peneira de 75µ por lavagem;

mi: massa original da amostra seca após a lavagem; em gramas;

mf: é a massa da amostra seca após a lavagem, em gramas.

A massa final (mf) foi de 453,6g para o primeiro procedimento e de 448,0g para o segundo procedimento. Sendo assim, pela média aritmética das duas determinações, o índice de finura encontrado para a Terra da Shredder foi de 9,85%.

5.1.4.2 Massa específica

Esse ensaio seguiu os procedimentos da NM 23 (2001), no entanto, por ser um material diferente do agregado miúdo natural, o experimento apresentou algumas dificuldades (Figura 9). Foi necessário um longo tempo para a realização da leitura, pois o material decanta mais lentamente. O resultado obtido pela média de dois ensaios consecutivos foi de 2,71g/cm^3.

Figura 9 - Determinação massa específica

5.1.4.3 Massa unitária

Esse ensaio foi determinado pela NBR NM 45 (2006) – Agregados, determinação da massa unitária e do volume de vazios. E o resultado está expresso na Tabela 15.

Tabela 15– Massa unitária do resíduo

Amostra	**Massa unitária (Kg/dm^3)**
1	1,20
2	1,22
3	1,15
Média	**1,19**

5.1.4.4 Análise granulométrica

A análise granulométrica envolve a determinação de três parâmetros relativos às partículas: composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura. A dimensão máxima característica é especificada pelo diâmetro da peneira onde 5% ou menos das partículas ficam retidas, o módulo de finura é definido pela soma das porcentagens acumuladas retidas nas peneiras e é tanto maior quanto maior o agregado. O resultado do ensaio está expresso na Tabela 16.

Tabela 16- Análise granulométrica do resíduo

Peneira	**M1 = 500g**		**M2 = 500g**	**Médias**		
# (mm)	**M. Retida**	**% Retida**	**M. Retida**	**% Retida**	**% Retida**	**% massa menor que d#.**
9.5	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	1%
6.3	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	1%
4.75	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	1%
2.36	19,2	3,9%	18,1	3,6%	4%	96%
1.18	48,1	9,7%	50,1	10,0%	10%	86%
0.6	83,4	16,8%	84,2	16,9%	17%	69%
0.3	139,9	28,1%	140,7	28,2%	28%	41%
0.15	110,0	22,1%	108,8	21,8%	22%	19%
Fundo	97,0	19,5%	97,0	19,4%	19%	0%
Soma	**497,6**	**100,0%**	**498,9**	**100,0%**	**100%**	
		Diâmetro máximo característico:			**2.36**	**mm**
				Módulo de finura:	**1,87**	

5.1.5 Análise da capacidade pozolânica com cimento

Para essa determinação é necessário o cálculo do índice de consistência, como estabelecido pela NBR 5752 (2014) – Materiais pozolânicos, determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Foram produzidas duas argamassas, a Argamassa A composta de areia normal, água e cimento CP II – F – 32 e a Argamassa B contendo 25% do resíduo no lugar no cimento, água e areia normal. O índice de consistência é a média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais do cone formado após o abatimento do material na mesa de ensaio (Figura 10). O índice de consistência da Argamassa A foi de 156mm e para a Argamassa B de 157mm. A diferença do índice para as duas argamassas não deveria ultrapassar 10mm.

Figura 10 - Ensaio para a determinação do índice de consistência

Após esse procedimento, quatro corpos de prova de 5 x 10 cm, de cada argamassa, foram produzidos e após 28 dias de cura em câmara úmida foram submetidos ao ensaio de determinação de resistência à compressão. Com o resultado médio do ensaio de resistência, conforme a Tabela 17, o índice de pozolanicidade do resíduo Terra da Shredder foi obtido.

Tabela 17– Resultado do ensaio de pozolanicidade do resíduo com o cimento

Traços	Corpo de prova	IDADE DE RUPTURA 28 dias (Mpa)
Argamassa A	1	44,6
	2	40,7
	3	44,8
	4	43,3
Média		**43,35**
Argamassa B	1	11,4
	2	14,6
	3	12,7
	4	13,4
Média		**13,02**

O índice de pozolanicidade resultante foi de 30%, ou seja, o material não é pozolânico. E foi utilizado como agregado miúdo no concreto.

5.2 PRODUÇÃO DAS MATRIZES DE CIMENTO

5.2.1 Estudo das composições preliminares

A resistência característica à compressão das peças de concreto para pavimentação deve ser de no mínimo 35MPa para áreas de tráfico de pedestres, veículos leves e veículos comerciais, e de no mínimo 50MPa para áreas de tráfico de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados. Dessa forma, foi estabelecido um traço de referência 1: 1,2: 1,8: 0,37, como visto no item 4.4.1, o traço de referência é um traço padrão, sem adição do resíduo, para efeito de comparação.

A determinação da resistência mecânica, para esse traço, foi realizada conforme a NBR 5739 (2007). Para isso, foram moldados 4 corpos de prova, conforme as Figuras 11, 12 e 13. Os resultados estão expressos em Mpa na Tabela 18.

Figura 11- Materiais traço de referência

Figura 12 - Material de referência após mistura na betoneira

Figura 13 - Corpos de prova

Tabela 18 - Resultados – resistência à compressão traço de referência

CORPO DE PROVA	Carga (TF) 28 dias	MPa
P1	49,28	62,7
P2	53,06	67,6
P3	50,38	64,1
P4	49,92	63,6
Média		**64,5**

Estabelecido o traço de referência, parte da areia natural foi substituída pelo resíduo em porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20%. Para cada porcentagem de substituição foram confeccionados 4 corpos de provas (Figura 14).

Figura 14 - Corpos de prova confeccionados com o resíduo

5.2.2 Verificação do desempenho mecânico das matrizes com resíduo

Os corpos de prova com as diferentes porcentagens de resíduo foram conservados em atmosfera úmida para a cura inicial (Figura 15), onde permaneceram por 24h com a face superior protegida por uma placa plana. Em seguida, foram desmoldados e submetidos à cura em água saturada de cal até a data da ruptura. A ruptura foi realizada 28 dias após a confecção das matrizes (Figura 16). Os resultados do ensaio estão expressos em MPa na Tabela 19.

Figura 15 - Corpos de prova em câmera úmida

Figura 16 - Ruptura dos blocos – 28 dias

Tabela 19– Resultados – resistência à compressão – matriz com resíduo

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	CORPO DE PROVA	Carga (TF) 28 dias	Mpa
5%	P1	12,12	61,7
	P2	11,58	59
	P3	11,88	60,5
	P4	11,40	58,1
Média		**59,82**	
10%	P1	10,70	54,5
	P2	8,62	43,9
	P3	11,52	58,7
	P4	10,66	54,3
Média		**52,85**	
15%	P1	9,74	49,6
	P2	8,52	48,5
	P3	9,70	49,4
	P4	8,44	43
Média		**47,62**	
20%	P1	8,18	41,7
	P2	8,74	49,6
	P3	7,36	37,5
	P4	8,84	45
Média		**43,45**	

5.2.3 Estabelecimento da composição adequada

O corpo de prova com 20% de substituição da areia natural pelo resíduo apresentou uma resistência média maior do que o limite mínimo de 35Mpa estabelecido pela NBR 9781 (2013) para áreas de tráfico de pedestres, veículos leves e veículos comerciais. Sendo assim, esse traço foi escolhido para a produção das peças de concreto para pavimentação.

5.3 PRODUÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

As peças de concreto para pavimentação foram produzidas no distrito de Água Vermelha, no município de São Carlos, São Paulo. A fábrica produz peças de concreto para pavimentação, artigos de cimento e gesso. A área de produção conta com uma correia transportadora (Figura 17) para a alimentação do tanque de mistura (Figura 18), uma prensa hidráulica com capacidade de prensagem de 5 toneladas (Figura 19) e câmera úmida (Figura 20) para a cura inicial dos blocos.

Figura 17 - Correia transportadora – Fábrica de blocos

Figura 18 - Tanque de mistura

Figura 19 - Prensa hidráulica

Figura 20 - Câmara Úmida

A proporção dos materiais utilizados nessa etapa do experimento, seguiu o estabelecido pelo traço referência com exceção da quantidade de água (Tabela 20). A água foi adicionada aos poucos enquanto os materiais estavam no tanque de mistura, o teste feito para verificar a umidade é manual, identificando quando o concreto atinge a consistência seca, ou seja, não solta água quando pressionado na palma da mão, mas tem umidade suficiente para ser moldado.

Tabela 20- Traço utilizado na confecção das peças de concreto para pavimentação

1	**:**	**1,2**	**:**	**1,8**	**:**	**0,12**
Cimento (kg)		**Areia (kg)**	**Resíduo (kg) 20% substituição**	**Pedrisco (kg)**		**Água (kg)**

Esses materiais, com exceção da água, foram dispostos na correia transportadora e levados até o tanque de mistura. No tanque de mistura, a água foi sendo adicionada aos poucos de forma homogênea até o concreto atingir a consistência adequada para moldagem. Esse volume de material foi pequeno se comparado com as dimensões do tanque, por isso, além da mistura ter sido realizada de forma mecânica pelas pás do equipamento, enxadas foram utilizadas para a mistura mais homogênea do concreto. Posteriormente, esse material foi transportado para a prensagem. A fôrma utilizada para a prensagem das peças é do Tipo I com faces laterais curvilíneas e com 8 cm de altura. Foram fabricados um total de 40 peças de concreto para pavimentação (Figura 21). Esses blocos foram levados para a cura inicial na câmara úmida da fábrica, onde permaneceram por 7 dias até terem sido transportados para o Laboratório de Construção Civil, do Instituto de Arquitetura da USP. Os blocos passaram por capeamento e no nono dia o ensaio de resistência à compressão foi realizado. Foi realizado outro ensaio de resistência à compressão depois de 28 dias de fabricação.

Figura 21 - Peças de concreto para pavimentação fabricada com o resíduo Terra da Shredder

5.3.1 Verificação do desempenho mecânico – resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com os procedimentos do Anexo A da norma ABNT NBR 9781 (2013) – Peças de concreto para pavimentação, especificação e métodos de ensaio. Foram realizados ensaios nas idades de 9 dias e 28 dias. Para aferir à resistência à compressão são necessários 6 blocos para cada idade de ruptura. Os resultados estão expressos na Tabela 21 e Tabela 22.

Tabela 21- Resultado resistência à compressão – 9 dias

CORPO DE PROVA	**Altura (mm)**	**Massa (g)**	**Fator (p)**	**Carga de Ruptura (ton.f)**	**Resistência (Mpa)**
P1	70,77	3884,6	0,877	20,74	35,0
P2	76,55	4124,0	0,991	19,66	33,7
P3	73,40	3970,8	0,984	21,20	36,0
P4	76,33	40151,8	0,991	18,74	32,1
P5	75,87	4048,4	0,990	15,82	27,1
P6	75,75	4099,3	0,989	19,20	32,8
				Fp (Mpa)	32,8
				s (Mpa)	3,1
				Fpk(Mpa)	**29,9**

Nota-se, pela tabela, que o fator Fpk para a idade de 9 dias foi de 29,9Mpa, o que corresponde à 85% do Fpk de 35Mpa estabelecido pela NBR 9781 (2013) para tráfico de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha na idade de 28 dias. Segundo essa especificação, as peças de concreto com idade inferior a 28 dias devem apresentar no mínimo 80% do Fpk de 35Mpa, dessa forma, o resultado desse ensaio superou o parâmetro da norma.

Tabela 22– Resultado resistência à compressão 28 dias

CORPO DE PROVA	**Altura (mm)**	**Massa (g)**	**Fator (p)**	**Carga de Ruptura (ton.f)**	**Resistência (Mpa)**
P1	72,72	3848,2	0,982	18,94	32,1
P2	75,65	3974,6	0,989	21,14	36,1
P3	75,63	4217,9	0,989	24,40	41,7
P4	75,97	4177,3	0,990	21,04	36,0
P5	75,59	4033,9	0,989	23,36	39,9
P6	76,00	4103,8	0,990	21,94	37,5
				Fp (Mpa)	37,2
				s (Mpa)	3,4
				Fpk(Mpa)	**34,1**

No caso do bloco, com idade de ruptura de 28 dias, a média do resultado ficou em 34,1Mpa, resultado que apresentou resistência 0,9Mpa abaixo do estabelecido pela norma.

5.3.2 Verificação do desempenho físico – absorção de água

O ensaio de absorção de água seguiu os procedimentos do Anexo B da NBR 9781 (2003) – Peças de concreto para pavimentação, especificação e métodos de ensaio. A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%. Para esse ensaio, foi determinada a aferição da absorção em três blocos, obtendo-se assim a média dos resultados. A tabela 23 apresenta os dados de absorção de água dos blocos com idade de 90 dias. O resultado apresentou índices que atendem a norma.

Tabela 23– Resultado ensaio absorção de água

Bloco	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção %
1	3986,4	4212,3	5,67
2	3618,9	3838,8	6,05
3	3961,8	4196,4	5,92
Média			**5,88**

5.3.3 Verificação do desempenho químico - eficiência de estabilização

As peças de concreto foram submetidas ao ensaio de solubilização para verificar se o potencial poluidor encontrado no resíduo foi encapsulado pela matriz do cimento. O resultado do ensaio está disposto na Tabela 24, onde de verde estão destacados os elementos que foram estabilizados/solidificados, de cinza os elementos que tiveram suas concentrações diminuídas, mas ainda permaneceram acima dos parâmetros especificados pela NBR 10004 (2004), de azul o elemento que não foi estabilizado e de vermelho os elementos que não foram verificados no resíduo, mas apareceram na composição das peças de concreto com concentração maior do que a exigida pela norma.

Tabela 24– Resultado solubilização peças de concreto resíduo

PARÂMETRO	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO SOLUBILIZADO mg/L	RESULTADO RESÍDUO mg/L	RESULTADO ENCAPSULAMENTO mg/L
ALUMÍNIO	0,2	**0,82**	**0,30**
CÁDMIO	0,005	**0,011**	**0,013**
FENÓIS TOTAIS	0,01	**0,274**	**0,026**
FERRO TOTAL	0,3	**1,033**	**0,147**
FLUORETOS	1,5	**1,88**	**0,64**
MANGANÊS	0,1	**0,139**	**0,021**
SELÊNIO	0,01	**0,92**	**<LD**
SURFACTANTES	0,5	**1,38**	**<LD**
CHUMBO	0,01	**<LD**	**0,21**
BÁRIO	0,7	**<LD**	**0,72**

Com esses dados comparativos foi possível calcular a eficiência de estabilização das peças, conforme pode ser visto na Tabela 25.

Tabela 25– Eficiência estabilização

ELEMENTO	EFICIÊNCIA DE ESTABILIZAÇÃO (%)
ALUMÍNIO	63,5
CÁDMIO	0
FENÓIS TOTAIS	90
FERRO TOTAL	85,7
FLUORETOS	65,9
MANGANÊS	84,8
SELÊNIO	100
SURFACTANTES	100

Devido à análise do extrato solubilizado aparecer elementos que não estavam presentes no resíduo, foi realizado o ensaio de solubilização com a peças de concreto confeccionadas pela fábrica que utilizam apenas materiais convencionais. O resultado está exposto na Tabela 26.

Tabela 26– Resultado solubilização peças de concreto confeccionadas pela fábrica

PARÂMETRO	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO SOLUBILIZADO mg/L	RESULTADO
ALUMÍNIO	0,2	<LD
ARSÊNIO	0,01	<LD
BÁRIO	**0,7**	**1,98**
CÁDMIO	**0,005**	**0,010**
CHUMBO	**0,01**	**0,18**
CIANETOS	0,07	<LD
CLORETOS	250	0,1
COBRE	2	<LD
CROMO TOTAL	0,05	<LD
FENÓIS TOTAIS	0,01	<LD
FERRO TOTAL	0,3	0,171
FLUORETOS	1,5	0,01
MANGANÊS	0,1	0,007
MERCÚRIO	0,001	<LD
NITRATOS	10	0,66
PRATA	0,05	<LD
SELÊNIO	0,01	<LD
SÓDIO	200	38,5
SULFATOS	250	<LD
SURFACTANTES	0,5	<LD
ZINCO	5	0,059

Esse resultado comprova que os materiais convencionais estão contribuindo para o aumento de elementos nocivos presentes nos blocos de concreto para pavimentação. Os elementos bário, cádmio e chumbo ultrapassaram o limite máximo do solubilizado.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Classificação do resíduo

O resíduo recebeu a classificação II-A, não-perigoso e não-inerte, em decorrência das substâncias alumínio (0,82 mg/L), cádmio (0.011 mg/L), fenóis totais (0,274 mg/L), ferro (1,033 mg/L), fluoretos (1,88 mg/L), manganês (0,139 mg/L), selênio (0,92 mg/L) e surfactantes (1,38 mg/L) terem ultrapassado os limites estabelecidos pela NBR 10004 (2004) na análise do extrato solubilizado.

O alumínio é muito usado na construção civil, utensílios de cozinha, eletrodomésticos e carros, o que explica sua presença no resíduo sólido estudado. A indústria automobilística vem tentando aumentar, cada vez mais, o uso desse material na fabricação de veículos em substituição ao aço devido a sua densidade menor. É comumente encontrado no solo e somente apresenta toxicidade em grandes concentrações, em geral, consegue ser eliminado naturalmente do organismo.

O cádmio é considerado carcinogênico e seu acúmulo no organismo acarreta vários problemas de saúde, como desenvolvimento de hipertensão e doenças do coração. A acumulação de cádmio ainda é responsável pela doença Itai-Itai, essa doença produz problemas no metabolismo de cálcio, gerando complicações como descalcificações e reumatismos. Essa substância é bio-acumulativa, não sendo eliminada pelo organismo, acumulando principalmente nos rins e fígado. O cádmio é utilizado em televisores, pigmentos corante, ligas metálicas e baterias.

Entende-se por fenol total os seguintes compostos: fenol, fenóis orto e meta substituídos, sob determinadas condições de pH, e os fenóis para-substituídos, nos quais os substituintes são os grupos carboxila, haletos, metoxila ou sulfônico. Fenol e seus derivados são substâncias encontradas em diversos processos industriais. Essas substâncias causam uma constante preocupação do ponto de vista ambiental devido ao alto grau de toxicidade, bioacumulação nas diferentes cadeias alimentares, mesmo em baixas concentrações e persistência no ambiente.

O ferro, atualmente, é utilizado extensivamente para a produção de aço, liga metálica para a produção de ferramentas, máquinas, veículos de transporte, como elemento estrutural de pontes e edifícios. O ferro tem baixa toxicidade, somente é tóxico em altas concentrações, que em excesso se acumula no fígado causando danos a esse órgão.

Fluoreto se refere a forma iônica do flúor, o íon fluoreto é considerado um micronutriente essencial para a manutenção da saúde bucal e óssea e a concentração recomendada para

ingestão é de 0,05 a 0,07 mg/Kg de peso corporal. Em maior concentração pode provocar irritações gástricas e pode levar ao óbito. Na indústria, o fluoreto de potássio é utilizado como reagente no segmento de solda e fundição e na fabricação de vidrarias, o que pode explicar o aparecimento desse íon no extrato solubilizado do resíduo sólido.

A aplicação do manganês está relacionada ao uso na indústria siderúrgica para a fabricação de ligas metálicas. Aço contendo de 8 a 15% de manganês pode ter uma resistência à tração elevada , em ligas com o alumínio uma quantidade aproximada de 1,5% de manganês aumenta a resistência à corrosão , também é utilizado em aditivo para gasolina. Os efeitos da toxicidade por manganês estão sobretudo relacionados à exposição ocupacional ao metal, quando a absorção do Mn excede a taxa de eliminação por um período muito longo, causando danos neuro-motores e comportamentais.

O selênio é um micronutriente essencial para a maioria dos organismos, mas em concentrações maiores pode resultar em efeitos tóxicos. O selênio é utilizado para produção de vidros e equipamentos eletrônicos.

Os surfactantes constituem uma classe importante de compostos químicos, sintetizados a partir de derivados de petróleo, utilizados em diversos setores industriais. No setor automobilístico é utilizado em óleos lubrificantes. Apresenta pouca toxicidade, mas pode permanecer no ambiente por um longo período afetando propriedades físico-químicas do solo e causando espumas no rio.

Esse resultado se difere da pesquisa realizada por Batista (2014) com a Terra da Shredder da mesma fonte geradora quanto a presença de cádmio, fenóis, selênio e surfactantes. Porém, como visto, as utilizações industrias desses compostos explicam a sua presença em sua composição. Na análise do extrato solubilizado de Batista (2014) foi encontrado somente alumínio, ferro, manganês e fluoreto e, ainda, em uma única amostra das 13 amostras de seu estudo, foi encontrado chumbo e a substância 2,4- D (herbicida utilizado para controle de erva daninha). O que demonstra a necessidade de os veículos em fim de vida passarem por um processo de despoluição eficiente para a retirada dos seus componentes perigosos.

6.2 Caracterização do resíduo como agregado

O resíduo sólido passou a desempenhar o papel de agregado miúdo na composição do concreto, adotando a técnica de estabilização/solidificação para o tratamento dos elementos nocivos, com o intuito de torná-lo inerte. A qualidade do resíduo como agregado foi avaliada

através dos ensaios: teor de finura, massa específica, massa unitária e composição granulométrica.

O teor de finura do material é utilizado para calcular a porcentagem das partículas com dimensão menor do que 75µm.O índice de finura encontrado para a Terra da Shredder foi de 9,85%. Esse resultado mostrou-se relativamente alto, caracterizando um fator potencialmente prejudicial para o desempenho do concreto. A ABNT 7211 (2009) estabelece um limite máximo de 3% para concretos submetido a desgaste superficial e de 5% para concretos protegidos do desgaste superficial.

O resultado obtido para a massa específica foi de 2,71g/cm^3, o que pode classificar o resíduo sólido Terra da Shredder como agregado, pois esses variam entre 2 e 3 g/cm^3. A massa unitária foi de 1,19 kg/L.

Com relação a composição granulométrica do resíduo, a classificação do material quanto ao módulo de finura, segundo a NBR 7211 (1983) tem as seguintes determinações (Tabela 27):

Tabela 27– Classificação dos tipos de um material quanto ao seu módulo de finura

Classificação	**Módulo de finura (mm)**
Areia grossa	Entre 3,35 e 4,05
Areia média	Entre 2,40 e 3,35
Areia fina	Entre 1,97 e 2,40
Areia muito fina	Menor que 1,97

Assim, analisando as determinações dos ensaios de granulometria, pode-se dizer que o resíduo tem característica de areia muito fina. Analisando a curva das porcentagens, em massa, retidas acumuladas (Figura 22), observa-se que o resíduo em quase sua totalidade está na zona utilizável estabelecida pela NBR 7211 (2009) para o agregado miúdo. Em vermelho está destacada a curva referente as porcentagens retidas acumuladas do resíduo e em azul os limites inferiores e superiores da zona utilizável.

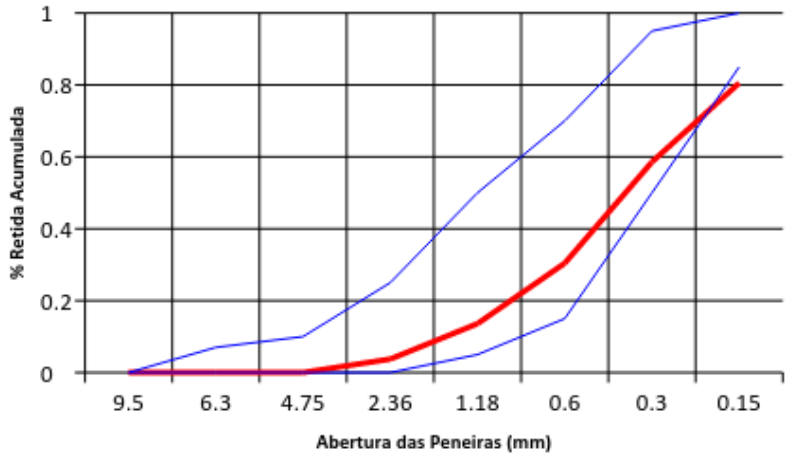


Figura 22 - Granulometria Terra da Shredder – Limites zona utilizável

É possível analisar, também, pela curva e pela Figura 23, que o resíduo está bem graduado sem apresentar descontinuidades no conjunto. Apresenta granulometrias complementares o que pode favorecer o empacotamento.

Figura 23 - Frações do resíduo retidas nas peneiras

6.3 Potencial pozolânico

O índice de pozolanicidade resultante foi de apenas 30%, o mínimo estabelecido pela NBR 12653 (2014) é de 75% de atividade pozolânica com cimento aos 28 dias, o que não caracteriza a amostra do resíduo sólido Terra da Shredder como material pozolânico, ou seja, o material não possui características aglomerantes.

6.4 Avaliação mecânica das matrizes de concreto

A partir dos ensaios mecânicos preliminares realizados com as matrizes de concreto utilizando o resíduo sólido Terra da Shredder, é possível verificar que o resíduo ocasionou uma queda na resistência mecânica do concreto, como demonstrado na Figura 24.

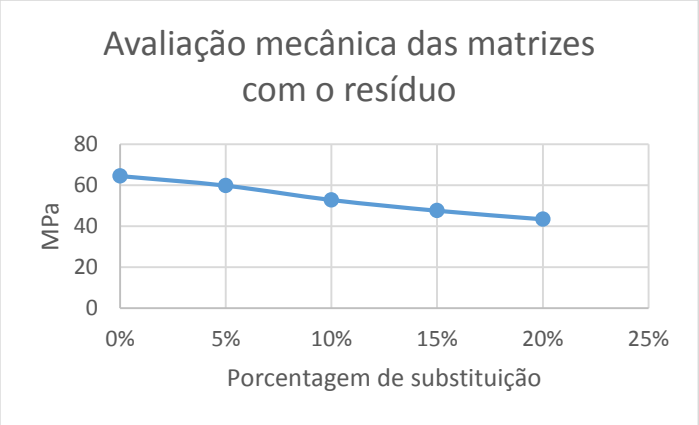


Figura 24 - Resistência média em MPa aos 28 dias – matrizes compostas com o resíduo

A adição de 20% de resíduo, como parte do agregado miúdo na matriz de concreto, ocasionou uma queda na resistência de quase 33% em relação ao concreto referência. Porém, mesmo com essa queda na resistência, o índice se manteve de acordo com o estabelecido pela norma vigente e essa porcentagem de substituição foi utilizada para a confecção das peças de concreto na tentativa de tratar a máxima quantidade de resíduo possível.

6.5 Desempenho mecânico e físico das peças de concreto para pavimentação

As peças de concreto para pavimentação produzidas apresentaram bom desempenho físico e mecânico. Na avaliação física, por meio do ensaio de absorção de água, o resultado ficou dentro do parâmetro da norma. Na avaliação mecânica, por meio do ensaio de resistência à compressão, o resultado com a idade de 9 dias está acima do valor de resistência exigido pela norma. Na avaliação de resistência à compressão na idade de 28 dias, o resultado ficou fora do estabelecido pela norma, mas com uma pequena alteração de 0,9 MPa. Por isso, é sugerido a confecção das peças de concreto com uma substituição entre 15% e 20% da areia natural pelo resíduo.

O desempenho mecânico dos blocos, nas idades de 9 dias e 28 dias, está expresso na Figura 25. O ganho de resistência foi de 14% de uma idade para outra.

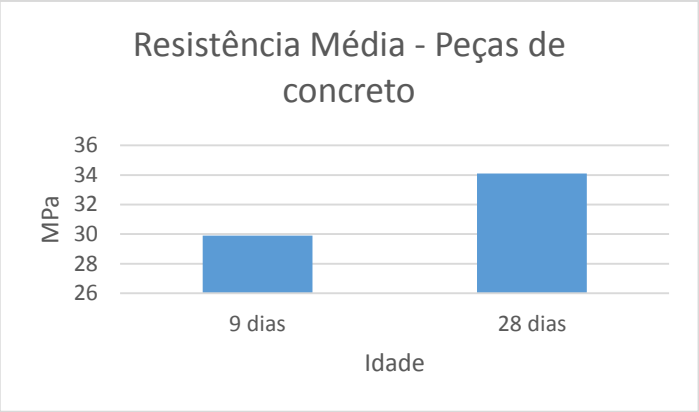


Figura 25- Desempenho mecânico das peças de concreto para pavimentação confeccionas com o resíduo sólido Terra da Shredder

Para a avaliação das matrizes de cimento e das peças de concreto para pavimentação confeccionadas com o resíduo sólido industrial Terra da Shredder produzidas para o experimento, foram empregadas normas e especificações que foram elaboradas para os materiais convencionais. No entanto, os resíduos sólidos não são matérias-primas convencionais e carece de normas e critérios que avaliem as tecnologias empregadas para o seu tratamento, assim como diretrizes para disposição e o uso seguro dos produtos finais obtidos. Essa demanda se tornou maior com a valorização dos resíduos sólidos como bem econômico e social pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

6.6 Desempenho químico das peças de concreto para pavimentação

O bloco de concreto para pavimentação produzido com o resíduo foi classificado como sendo de classe IIA – não perigoso e não inerte. Após o processo de solidificação/estabilização, apenas três dos oito elementos nocivos encontrados no resíduo apresentaram resultados acima do limite máximo exigido pela norma para o extrato solubilizado. O Alumínio teve sua concentração diminuída em 63,5% e a concentração dos fenóis totais diminuída em 90%, apesar de atingirem índices bem próximos ao exigido, ainda não atingiram a concentração estabelecida pela norma. Para o cádmio não houve encapsulamento, a sua concentração se manteve praticamente a mesma. Todos os outros elementos – ferro total, fluoretos, manganês, selênio e surfactantes foram estabilizados de forma eficiente e suas concentrações não ultrapassaram os limites da norma. As matrizes apresentaram grande capacidade em manter os elementos nocivos presos na sua matriz endurecida.

Os elementos chumbo e bário, que antes não apareceram no resultado de solubilização do resíduo in natura, passaram a aparecer no resultado de solubilização das peças de concreto para pavimentação produzidas. Por isso, foi realizada uma investigação experimental com as peças de concreto produzidas pela fábrica que utiliza materiais convencionais. Esses dois elementos aparecerem no resultado do ensaio de solubilização para as peças de concreto convencionais e também se verificou a presença do elemento cádmio.

Como visto, o cádmio é considerado carcinogênico e se acumula no organismo, não sendo eliminado por ele. A toxicidade do chumbo provoca efeitos neurológicos, anemia, efeitos renais, efeitos sobre o crescimento, efeitos cardiovasculares, carcinogênicos e gastrintestinais. O chumbo afeta vários órgãos e sistemas e, assim como o cádmio, se acumula no organismo. A presença do bário no sangue diminui a concentração de potássio, podendo resultar em taquicardia ventricular, hipertensão ou hipotensão arterial, fraqueza muscular e paralisia. Podem ocorrer também efeitos gastrointestinais e cardiovascular.

Nogueira (2011), em sua pesquisa sobre a reciclagem do cinza volante residual de um reator de leito fluidizado em matriz cimentícia, também encontrou contaminações originadas dos materiais convencionais. Analisou duas marcas de cimento do tipo CP III, que chamou de marcas A e B. A marca A, também apresentou contaminações por chumbo e bário, além do alumínio e a marca B, apresentou contaminações por chumbo, cádmio, alumínio e ferro total.

O cimento possui pequena quantidade de metais em sua composição, chamados de elementos-traços que tem origem nas impurezas dos combustíveis e das matérias-primas. Entretanto, estudos mostram que a queima de resíduos industriais tende a aumentar a concentração desses materiais no cimento (MILANEZ, 2007). Mostra-se necessário, portanto, um maior controle de qualidade dos materiais utilizados na construção civil, principalmente do cimento.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados nessa pesquisa, foi possível delinear as seguintes conclusões para os objetivos propostos:

7.1 Objetivo específico 01

- Verificar a classificação do resíduo Terra da Shredder quanto ao seu potencial de contaminação (lixiviação e solubilização)

Conclusão: Quanto ao potencial de contaminação, o resíduo sólido industrial Terra da Shredder foi classificado como classe IIA - não perigoso e não inerte. As substâncias alumínio, cádmio, fenóis totais, ferro, fluoretos, manganês, selênio e surfactantes ultrapassaram os limites estabelecidos pela NBR 10004 (2004) na análise do extrato solubilizado.

7.2 Objetivo específico 02

- Determinar o comportamento mecânico das matrizes de concreto compostas com o resíduo

Conclusão: A adição do resíduo na matriz de concreto ocasionou uma queda na resistência mecânica do concreto. A adição de 20% de resíduo, como parte do agregado miúdo ocasionou uma queda na resistência de quase 33% em relação ao concreto referência.

7.3 Objetivo específico 03

- Definição da composição adequada das peças de concreto para pavimentação confeccionadas com o resíduo

Conclusão: Definiu-se em 20% o teor de substituição da areia natural pelo resíduo na produção das peças de concreto para pavimentação.

7.4 Objetivo específico 04

- Determinar o comportamento mecânico das peças de concreto para pavimentação composto com o resíduo

Conclusão: Na avaliação mecânica, por meio do ensaio de resistência à compressão, o resultado com a idade de 9 dias está acima do valor de resistência exigido pela norma. Na avaliação de resistência à compressão na idade de 28 dias, o resultado ficou fora do estabelecido pela norma com uma alteração de apenas 0,9 MPa. Por não se tratar de um material convencional, a resistência mecânica obtida foi considerada satisfatória, porém é necessária uma nova confecção das peças de concreto para pavimentação com uma porcentagem menor de substituição da areia natural pelo resíduo, entre 15% e 20%, para que o parâmetro estabelecido pela norma seja atingido.

7.5 Objetivo específico 05

- Determinar o comportamento físico das peças de concreto para pavimentação composto com o resíduo

Conclusão: Os blocos produzidos apresentaram um bom desempenho físico no ensaio de absorção de água, atendendo as exigências estabelecidas pela norma.

7.6 Objetivo específico 06

- Determinar o desempenho químico das peças de concreto para pavimentação composta com o resíduo

Conclusão: As peças de concreto para pavimentação produzidas com o resíduo apresentaram alta eficiência de estabilização quanto aos elementos nocivos. Foram encapsulados cinco dos oito contaminantes encontrados no resíduo. As substâncias alumínio e fenóis totais, apesar de apresentarem um alto índice de estabilização, não atingiram as concentrações exigidas pela norma e permaneceram com concentração um pouco acima do limite estabelecido. O cádmio não foi encapsulado.

- Os resultados obtidos comprovam a viabilidade técnica do reaproveitamento do resíduo sólido industrial Terra da Shredder para a fabricação de peças de concreto para pavimentação.

Outras conclusões

Elementos nocivos que não estavam presentes no resíduo sólido in natura foram constatados nas peças de concreto produzidas. Com a investigação realizada com as peças de concreto produzidas pela fábrica, sem o resíduo, conclui-se que os materiais convencionais estão contribuindo com essas contaminações, principalmente o cimento.

Sugestões para trabalhos futuros

Realizar os ensaios mecânicos, físicos e químicos após 1 ano da confecção das peças de concreto com o resíduo para verificar se não houve perda da qualidade.

Fabricar peças de concreto para pavimentação com a substituição da areia natural pelo resíduo em porcentagens entre 15% e 20% para tentar encapsular o alumínio e fenóis totais na concentração exigida pela norma e aumentar a resistência.

Investigar as contaminações presentes nos materiais convencionais, principalmente no cimento.

Adição de sílica ativa ou matacaulim na composição do concreto visando uma maior resistência mecânica das peças de concreto produzidas.

8. REFERÊNCIAS

AMADEI,D.I.B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição no município de Juranda/PR.2011**.Dissertação Mestrado (Engenharia Urbana)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá, Maringá,2011.

ANDOLFATO, R. P. Controle Tecnológico Básico do Concreto. Apostila. Universidade Estadual Paulista –UNESP, Ilha Solteira, SP,2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014. São Paulo,2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Manual de Pavimento Intertravado.São Paulo,2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.NBR 5738. Modelagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.1994.

_____. NBR 5739.**Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**.2007

_____. NBR 5752. **Materiais pozolânicos, determinação de atividade pozolânica com cimento Portland, índice de atividade pozolânica com cimento**. 2014

_____. NBR 7211. **Agregados para concreto- Especificação**.2009

_____. NBR 9781. **Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio.**2013

_____. NBR 10004. **Resíduos sólidos – classificação**. 2004

_____. NBR 10005. **Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.**2004

_____. NBR 10006. **Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**.2004

_____. NBR 10007.**Amostragens de resíduos sólidos**.2004

_____. NBR 12653. **Materiais pozolânicos – requisitos**. 2014

_____. NM 23. **Cimento Portland e outros materiais em pó– Determinação da massa específica .**2001

_____. NM 45. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.**2006

_____. NM 46. **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem .**2003

BARTH,E.F.;PERCIN,P. Stabilization and Solidification of hazardous wastes – Pollution technology review.V. Park Ridge, Noyes Data,1990.

BATISTA, C.D. **Classificação e caracterização dos resíduos do beneficiamento da sucata de ferro e aço utilizada no processo siderúrgico para identificação de viabilidade de aplicações**.2014.115 f. Dissertação Mestrado (Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos ,2014.

BRASIL. República Federativa do Brasil. LEI Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.**Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010.

CASTILHOSJR.,A.B. et al. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d`água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários**. Prosab-Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Florianópolis, Santa Catarina, 2006,1ª edição, editora Sermograf Artes Gráficas e Editora Ltda.475p.

CASTRO, A.L. de; PANDOLFELLI V.C. Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil.IN: **Cerâmica** ,n.55,p.18-32,2009.

CHANDLER,A.J. et al. **Studies in Environmmental Science**. Volume 67.Municipal Solid Waste Incinerator Residues.974p.1997.

CHATEAU,L. Environmental acceptability of beneficial use of waste as construction material – State of knowledge, current practices and future developmentes in Europe and in France. **Journal of Hazardous Materials**, Vol. 139, No 3, p. 556-562,2007.

CIUCCIO, M.T.P. **Estudo de tendências e oportunidades no desenvolvimento sustentável para reciclagem de veículos e seus materiais**. 2004.191 f. Dissertação Mestrado (Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade de São Carlos,2004.

COSTA, C.J.A. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas**.2011.140 f. Dissertação Mestrado (Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos,2001.

COSSU,R.;LAI,T.Washing treatment of automotive shredder residue (ASR).Waste Manage,Italy,v.33,n.8,p.1770-1775,2013.

DURANCEAU, C.;SPANGENBERGER,J. All auto shredding:evaluation of automotive shredder residue generated by shredding only vehicles.Argonne National Laboratory,2011. Disponível em: < https://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/Auto-Only_ASR-Evaluation_Report_JPM_8_2_13.pdf > Acesso em 28 out.2015.

FERELLA,F., DE MICHELIS,I.,SCOCCHERA,A.,PELINO,M. VEGLIÒ,F.,2015.Extraction of metals from automotive shredder residue : preliminar results of diferente leaching systems.Chin. J. Chem.Eng. 23 (2), 417-424. 2015.

FIORE,S. et al. Automobile shredder residues in Italy: characterization and valorization opportunities. **Waste Manage**, Italy,v.32,n.8,p.1548-1559,2012.

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. **Revista Ambiente Construído**,v.7,n.4,p.43-54,2007.

FRANCO,J.M. **Produção de blocos de concreto para pavimentação (BCP) utilizando resíduos de galvanoplastia**. 2006. Dissertação Mestrado (Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenheira Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá,2011.

FRASSON JÚNIOR,A. **Proposta de Metodologia de Dosagem e Controle no Processo Produtivo de Blocos de Concreto para Alvenaria Estrutural**.2000.Dissertação.Mestrado (Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,2000.

HELENE, P.; TUTIKIAN,F.B. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In ISAIA,C.G. **Concreto: Ciência e Tecnologia**.IBRACON.2011.

HOFFMAN. et al. Method and composition for use in recycling metal containing furnace dust.United States Patent 5,186,742. February 16.1993.

HOOD, R.S.S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**.2006.Dissertação Mestrado (Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, em Engenharia Civil.Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.2006.

KUROSE,K.,OKUDA T.,NISHIJIMA,W.,OKADA,M.,2006. Heavy metals removal from automotive shredder residues (ASR). **J. Hazard.Mater**. 137 (3), 1618-1623.2006

LEENDERS,P. "The Use of Waste Material in Concrete Products", 2nd International Conference on Concrete Block Paving, Delf, Holanda, p.276-280,1984.

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

MELCHERT,M.B.M. **Solidificação e estabilização de resíduos de catalisadores contendo níquel e alumínio em cimento Portland**.2012.Tese Doutorado (Engenharia Química) – Esocla Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo,2012.

MILANEZ,B. Co-incineração de Resíduos Industriais em fornos de cimento: problemas e desafios.In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE,9.,2007,Curitiba.**Anais**.2007.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. Tradução: Salvador E. Giamusso. São Paulo: Pini,1982.

NOGUEIRA,J.R. **Reciclando cinzas: estudo da viabilidade para produção de blocos para a construção civil a partir da cinza volante residual de um reator de leito fluidizado**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos,2011.

OLIVEIRA,D.M. **Aplicação da técnica de solidificação e estabilização para resíduos oleosos da indústria petrolífera, utilizando solo argiloso e bentonita**,2003. Dissertação Mestrado (Engenharia Ambienta) -Programa de Pós-Graduação de engenharia ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina,Santa Catarina,2003.

ORSATO,R.J.;WELLS,P.The automobile indystry & sustainability.**Clean.Prod**.p.994-1006.2007.

PABLOS,J.M. **Estudo para a reutilização do resíduo sólido constituído pelas areias de fundição aglomeradas com argila, através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland, para aplicação no setor da construção civil**. Tese doutorado. Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. EESC-USP. São Carlos,2008.

PABLOS. J.M.; SICHIERI P.E.; ZAGO.A.S.M. Estudo para utilização de resíduos sólidos industriais gerados pelos descartes de areia de fundição aglomerada com argila e pela escória de alto-forno, na composição de concretos.Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis,7,Vitória,2**Anais**,011.

PAGNUSSAT, D.T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,145 p.2004.

PÉRA,J. et al. Valorization of automotive shredder residue in building materials.**Cement and Concrete Research.** France**.**p.557-562.2003.

PETRUCCI,E.G.R. **Concreto de cimento Portland**.8. Ed.Editora Globo.Rio de Janeiro.1981

PRICEWHATERHOUSECOOPERS. Estudo sobre o setor de tratamento de resíduos industriais. PwC. 2006.

PURIFICAÇÃO,E.B. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto**.2009. Dissertação de Mestrado (Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.Universidadade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,2009.

RABONI,M. et al.Automotive shredder residue:a survey of the hazardous organic micro-pollutants spectrum in landfill biogas.**Waste Manage**,p.48-54,2015.

RECKZIEGEL, V.N. **Caracterização para aproveitamento do resíduo de um triturador de sucata em uma usina siderúrgica**.2012.80f. Dissertação Mestrado (Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,2012.

ROSSETTI,A.V. Production of aggregate from non-metallic automotive shredder residues. **Journal of Hazardous Materials**. Roma.p. 1089-1095.2006.

SAKAI,S.I. et al. An international comparative study of end-of-life vehicle (ELV) recycling systems.**Cycle Waste Manage**.p.1-20.2014.

SALADO,G.C.**Painel de vedação vertical de tubos de papelão: estudo, proposta e análise de desempenho**.Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos,Universidade de São Paulo, São Carlos,2011.

SANTOS,R.C. **Estudo da utilização de rejeitos de carvão mineral na fabricação de blocos de concreto para pavimentação em substituição ao agregado miúdo natural**.2012.161 f. Dissertação Mestrado (Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgica e Materias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SERAFIM,M.A. **Estudo e proposições de formas de pavers intertravados para áreas e passeios públicos**.2010.Dissertação Mestrado (Design)-Programa de Pós-Graduação em Design.Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru,2010.

SEURING,S.,MULLER,M.From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management.**J.Clean.Prod**.p.1699-1710.2008.

SHIBAYAMA,A.; OTOMO, T.;TAKASAKI,Y.; CAO,Y.; MURAKAMI , T.; WATANABE,K., INOUE,H., 2006. Separation and recovery of valuable metals from Automobile Shredder Residue (ASR) fly ash by wet processing. Int. **J.Soc. Mater. Eng. Resour**. 13 (2) 54-59.

SOUZA,M.S.;OLIVEIRA,I.S.R.;ADEILDO,S.C. "Utilização do resíduos de desemborrachamento de pistas de aeronaves na produção de blocos de concreto para pavimentação", 3º Simpósio Iberoamericano de Ingeniería de Resíduos – 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos, João Pessoa, PB,Brasil, **Anais**,2010.

STAUDINGER,J.;KEOLEIAN,G.A.**Management of end-of-life vehicles (ELVs) in the US**.Michigan,2001.Disponível em: < http://css.snre.umich.edu/css_doc/CSS01-01.pdf >. Acesso em: 28 out.2015.

TOMARU,K.,NAKAMURA,M. "Recycling municipal solid waste into concrete paving blocks", 9th International Conference on Concrete Block Paving, Buenos Aires, Argentina, p.1-10,2009.

VARGAS,A.S. **Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica a arco na confecção de blocos de concreto para pavimentação**.2002. Dissertação Mestrado (Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 148p., 2002.

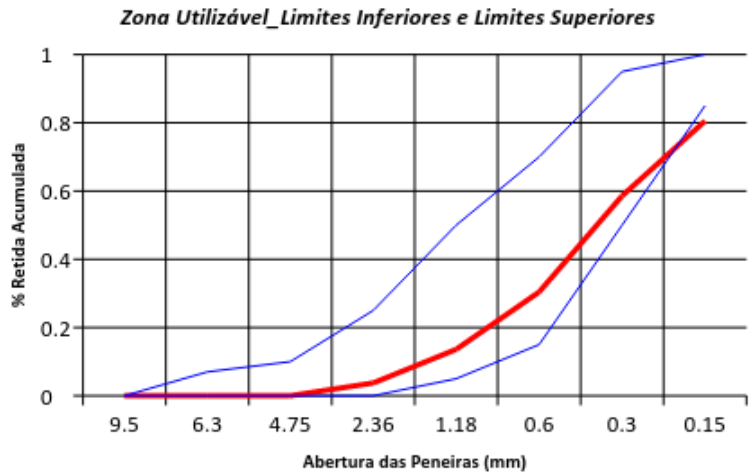
WATANABE,F.A.;NASCIMENTO,M.R.;GEMELLI,E.;CAMARGO,N.H.A."Caracterização de pavimentos de concreto fabricados em equipamentos industriais com a adição de areia de fundição", 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, **Anais**,2006.

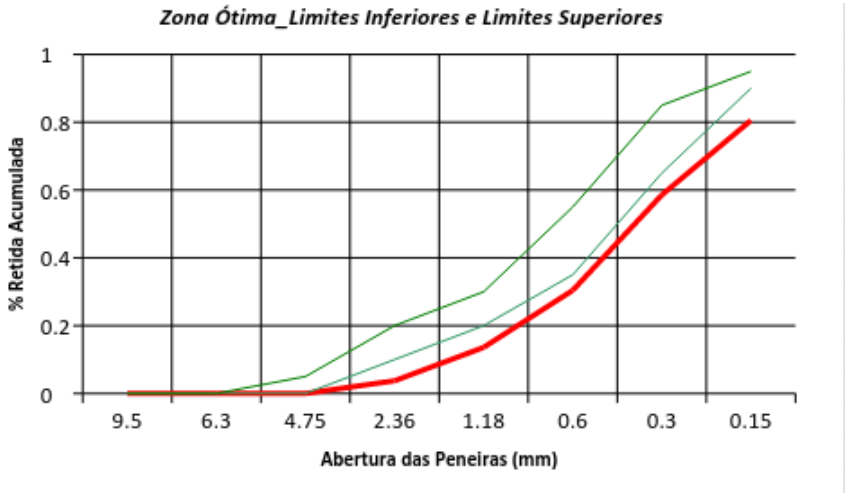
WILES,C.C. Solidification/Stabilization Tecnology. In: **Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal**. Chapter 8. MGraw-Hill,1989.

ANEXO A – Ensaios granulométricos

Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo - Terra de Shredder - Aluna Juliana Argente Caetano										
Série Normal e Série Intermediária - NBR NM 248/2001							*Valores da Norma*			
Peneira	M1 = 500		M2 = 500		Médias		Zona utilizável		Zona ótima	
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.	Limites Inferiores	Limites Superiores	Limites Inferiores	Limites Superiores
9.5	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6.3	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%
4.75	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	0%	10%	0%	5%
2.36	19.2	3.9%	18.1	3.6%	4%	4%	0%	25%	10%	20%
1.18	48.1	9.7%	50.1	10.0%	10%	14%	5%	50%	20%	30%
0.6	83.4	16.8%	84.2	16.9%	17%	30%	15%	70%	35%	55%
0.3	139.9	28.1%	140.7	28.2%	28%	59%	50%	95%	65%	85%
0.15	110.0	22.1%	108.8	21.8%	22%	81%	85%	100%	90%	95%
Fundo	97.0	19.5%	97.0	19.4%	19%	100%				
Soma	497.6	100.0%	498.9	100.0%	100%	287%				
			Diâmetro máximo característico:		2.36	mm				
				Módulo de finura:	1.87					

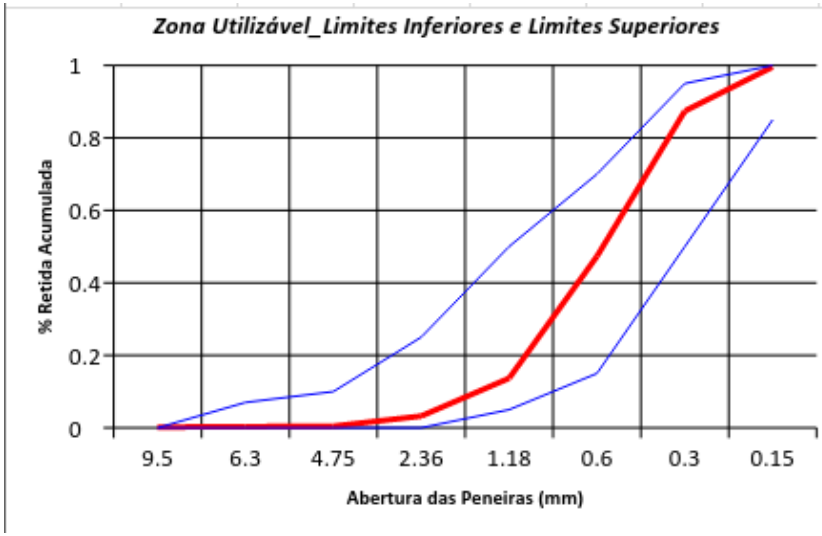
	Série Normal
	Série Intermediária

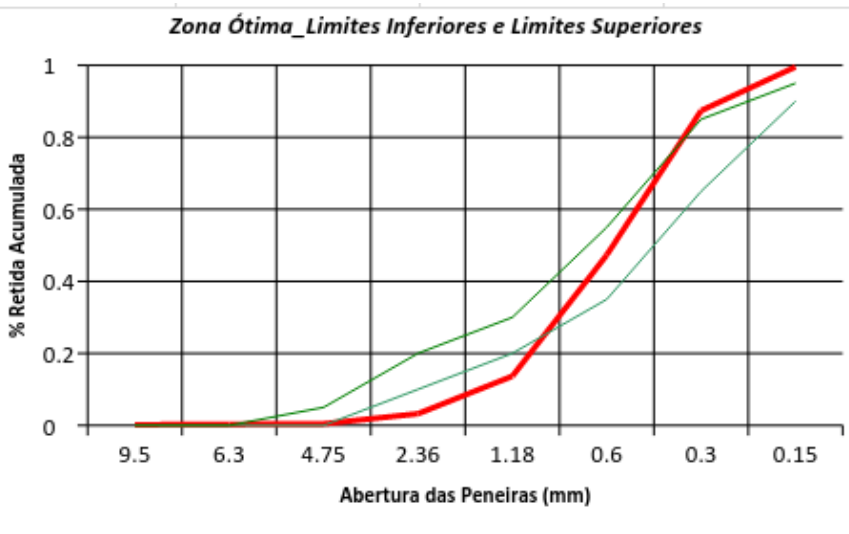




Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo - Areia Média - MOJI - Javier										
Série Normal e Série Intermediária - NBR NM 248/2001							*Valores da Norma*			
Peneira	M1 =		M2 =		Médias		Zona utilizável		Zona ótima	
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.	Limites Inferiores	Limites Superiores	Limites Inferiores	Limites Superiores
9.5	0.0	0.0%	1.7	0.3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6.3	0.6	0.1%	0.9	0.2%	0%	0%	0%	7%	0%	0%
4.75	0.6	0.1%	0.6	0.1%	0%	0%	0%	10%	0%	5%
2.36	12.1	2.4%	15.9	3.2%	3%	3%	0%	25%	10%	20%
1.18	50.6	10.1%	53.8	10.7%	10%	14%	5%	50%	20%	30%
0.6	165.3	33.1%	171.6	34.2%	34%	47%	15%	70%	35%	55%
0.3	203.4	40.8%	198.0	39.4%	40%	87%	50%	95%	65%	85%
0.15	63.8	12.8%	57.8	11.5%	12%	100%	85%	100%	90%	95%
Fundo	2.6	0.5%	1.9	0.4%	0%	100%				
Soma	499.0	100.0%	502.2	100.0%	100%	352%				
			Diâmetro máximo característico:		2.36	mm				
			Módulo de finura:		2.52					

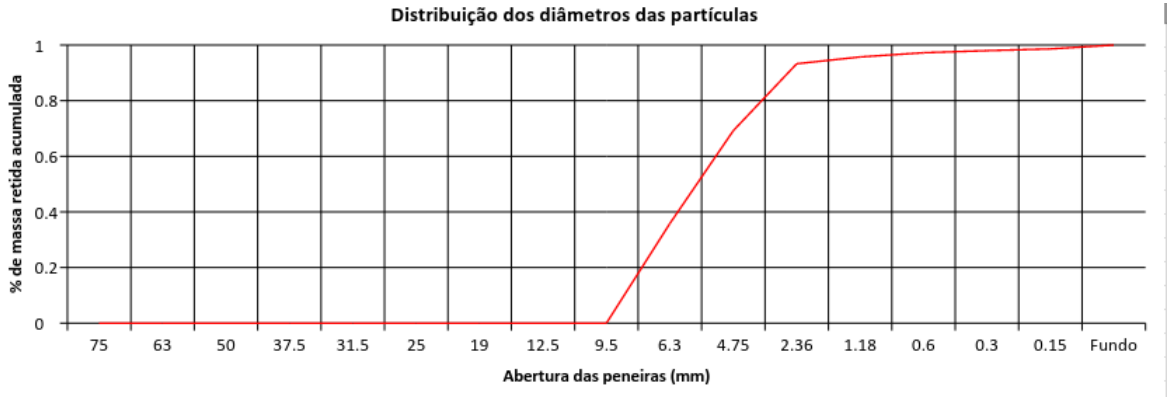
	Série Normal
	Série Intermediária


Zona Utilizável_Limites Inferiores e Limites Superiores
% Retida Acumulada
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
9.5
6.3
4.75
2.36
1.18
0.6
0.3
0.15
Abertura das Peneiras (mm)


Zona Ótima_Limites Inferiores e Limites Superiores
% Retida Acumulada
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
9.5
6.3
4.75
2.36
1.18
0.6
0.3
0.15
Abertura das Peneiras (mm)

Determinação da Composição Granulométrica de Agregados Graúdos - Moji												
Série Normal e Série Intermediária - NBR NM 248/2001							*Porcentagem, em massa, retida acumulada*					
Peneira	M1 =		M2 =		Médias		Graduaç.	Zona granulométrica (d/D')				
								4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.	(mm)	1	2	3	4	5
75	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	75	-	-	-	-	0 a 5%
63	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	63	-	-	-	-	5 a 30%
50	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	50	-	-	-	0 a 5%	75 a 100%
37.5	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	37.5	-	-	-	5 a 30%	90 a 100%
31.5	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	31.5	-	-	0 a 5%	75 a 100%	95 a 100%
25	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	25	-	0 a 5%	5 a 25%	87 a 100%	-
19	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	19	-	2 a 15%	65 a 95%	95 a 100%	-
12.5	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	12.5	0 a 5%	40 a 65%	92 a 100%	-	-
9.5	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0%	0%	9.5	2 a 15%	80 a 100%	95 a 100%	-	-
6.3	178.9	35.9%	178.6	35.8%	36%	36%	6.3	40 a 65%	92 a 100%	-	-	-
4.75	166.0	33.3%	167.0	33.5%	33%	69%	4.75	80 a 100%	95 a 100%	-	-	-
2.36	120.0	24.1%	120.2	24.1%	24%	93%	2.36	95 a 100%	-	-	-	-
1.18	12.3	2.5%	12.1	2.4%	2%	96%						
0.6	7.5	1.5%	7.6	1.5%	2%	97%						
0.3	3.7	0.7%	3.8	0.8%	1%	98%						
0.15	3.2	0.6%	3.0	0.6%	1%	99%						
Fundo	7.0	1.4%	6.8	1.4%	1%	100%						
Soma	498.6	100.0%	499.1	100.0%	100%	688%						
	Diâmetro máximo característico:				9.5	mm						
	Módulo de finura:				5.52							

	Série Normal
	Série Intermediária



ANEXO B – Ensaios lixiviação e solubilização

ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS-NBR-10.005/2004

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 22ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETRO	UNIDADE	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	RESULTADO M 350	LIMITE MÁXIMO NO LIXIVIADO	LIMITE DE DETECÇÃO
INORGANICOS					
ARSENIO	mg As L^{-1}	D005	< LD	1,0	0,0001
BÁRIO	mg Ba L^{-1}	D006	1,18	70,0	0,001
CÁDMIO	mg Cd L^{-1}	D007	0,072	0,5	0,0006
CHUMBO	mg Pb L^{-1}	D008	< LD	1,0	0,01
CROMO TOTAL	mg Cr L^{-1}	D009	< LD	5,0	0,005
FLUORETOS	mg F^- L^{-1}	D010	0,75	150,0	0,01
MERCÚRIO	mg Hg L^{-1}	D011	< LD	0,1	0,0001
PRATA	mg Ag L^{-1}	D012	0,010	5,0	0,001
SELÊNIO	mg Se L^{-1}	D013	0,53	1,0	0,001
pH DO LIXIVIADO		N.A	6,35	N.A.	0
PESTICIDAS					
ALDRIN + DIELDRIN	mg L^{-1}	D014	--	0,003	$1,0X10^{-5}$
CLORDANO (TODOS OS ISÔMEROS)	mg L^{-1}	D015	--	0,02	$1,0X10^{-5}$
DDT (TODOS OS ISÔMEROS)	mg L^{-1}	D016	--	0,2	$1,0X10^{-5}$
2,4-D	mg L^{-1}	D026	--	3,0	$1,0X10^{-5}$
ENDRIN	mg L^{-1}	D018	--	0,06	$1,0X10^{-5}$
HEPTACLORO E SEU EPÓXIDO	mg L^{-1}	D019	--	0,003	$1,0X10^{-5}$
LINDANO	mg L^{-1}	D022	--	0,2	$1,0X10^{-5}$
METOXICLORO	mg L^{-1}	D023	--	2,0	$2,0X10^{-5}$
PENTACLOROFENOL	mg L^{-1}	D024	--	0,9	$1,0X10^{-5}$
TOXAFENO	mg L^{-1}	D025	--	0,5	$1,0X10^{-5}$
2,4,5-T	mg L^{-1}	D027	--	0,2	$1,0X10^{-5}$
2,4,5-TP	mg L^{-1}	D028	--	1,0	$1,0X10^{-5}$
OUTROS ORGÂNICOS					
BENZENO	mg L^{-1}	D030	--	0,5	$1,0X10^{-5}$
BENZO (A) PIRENO	mg L^{-1}	D031	--	0,07	$1,0X10^{-5}$
CLORETO DE VINILA	mg L^{-1}	D032	--	0,5	$5,0X10^{-5}$
CLOROBENZENO	mg L^{-1}	D033	--	100	$2,0X10^{-5}$
CLOROFÓRMIO	mg L^{-1}	D034	--	6,0	$2,0X10^{-5}$
CRESOL TOTAL	mg L^{-1}	D035	--	200,0	0,001
O-CRESOL	mg L^{-1}	D036	--	200,0	0,001
M-CRESOL	mg L^{-1}	D037	--	200,0	0,001
P-CRESOL	mg L^{-1}	D038	--	200,0	0,001
1,4-DICLOROBENZENO	mg L^{-1}	D039	--	7,5	$2,0X10^{-5}$
1,2-DICLOROETANO	mg L^{-1}	D040	--	1,0	$2,0X10^{-5}$
1,1-DICLOROETILENO	mg L^{-1}	D041	--	3,0	$2,0X10^{-5}$
2,4-DINITROTOLUENO	mg L^{-1}	D042	--	0,13	$2,0X10^{-5}$
HEXACLOROBENZENO	mg L^{-1}	D021	--	0,1	$1,0X10^{-5}$
HEXACLOROBUTADIENO	mg L^{-1}	D043	--	0,5	$1,0X10^{-5}$
HEXACLOROETANO	mg L^{-1}	D044	--	3,0	$1,0X10^{-5}$
METIETILCETONA	mg L^{-1}	D045	--	200,0	0,01
NITROBENZENO	mg L^{-1}	D046	--	2,0	$1,0X10^{-5}$
PIRIDINA	mg L^{-1}	D047	--	5,0	0,004
TETRACLORETO DE CARBONO	mg L^{-1}	D048	--	0,2	$2,0X10^{-5}$
TETRACLOROETILENO	mg L^{-1}	D049	--	4,0	$1,0X10^{-5}$
TRICLOROETILENO	mg L^{-1}	D050	--	7,0	$2,0X10^{-5}$
2,4,5-TRICLOROFENOL	mg L^{-1}	D051	--	400,0	0,01
2,4,6-TRICLOROFENOL	mg L^{-1}	D052	--	20,0	$5,0X10^{-5}$

ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS-NBR-10.006/2004

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 22ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETRO	UNIDADE	M 0350	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO (mg/L)	LIMITE DE DETECÇÃO
ALUMÍNIO	mg Al $.L^{-1}$	0,82	0,2	0,01
ARSÊNIO	mg As $.L^{-1}$	< LD	0,01	0,0001
BÁRIO	mg Ba$.L^{-1}$	< LD	0,7	0,001
CÁDMIO	mg Cd $.L^{-1}$	0,011	0,005	0,0006
CHUMBO	mg Pb $.L^{-1}$	< LD	0,01	0,01
CIANETOS	mg CN^{-} $.L^{-1}$	< LD	0,07	0,001
CLORETOS	mg Cl^{-} $.L^{-1}$	22,5	250,0	0,01
COBRE	mg Cu $.L^{-1}$	0,051	2,0	0,003
CROMO TOTAL	mg Cr $.L^{-1}$	0,038	0,05	0,005
FENÓIS TOTAIS	mg C_6H_5OH $.L^{-1}$	0,274	0,01	0,001
FERRO TOTAL	mg Fe $.L^{-1}$	1,033	0,3	0,005
FLUORETOS	mg F^{-} $.L^{-1}$	1,88	1,5	0,01
MANGANÊS	mg Mn $.L^{-1}$	0,139	0,1	0,003
MERCÚRIO	mg Hg $.L^{-1}$	< LD	0,001	0,0001
NITRATOS	mg N $.L^{-1}$	8,62	10,0	0,01
PRATA	mg Ag $.L^{-1}$	< LD	0,05	0,001
SELÊNIO	mg Se $.L^{-1}$	0,92	0,01	0,001
SÓDIO	mg Na $.L^{-1}$	183	200,0	0,1
SULFATOS	mg SO_4^{2-} $.L^{-1}$	205	250,0	1
SURFACTANTES	mg LAS $.L^{-1}$	1,38	0,5	0,1
ZINCO	mg Zn $.L^{-1}$	0,415	5,0	0,02
pH DO SOLUBILIZADO		7,80	N.A.	0

LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO – ANEXO G (NORMATIVO) – PADRÕES PARA O ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO (mg.L^{-1}).
LD = LIMITE DE DETECÇÃO.
N.A. = NÃO SE APLICA.

	RELATÓRIO DE ENSAIO	RE - 158-2015
		PÁGINA 1 de 1
		DATA 03/10/2015

INTERESSADO: Juliana

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM: (*) NBR10004 - RESÍDUOS SÓLIDOS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 31/05/2004

AMOSTRA: Lixiviado

Parâmetros	Limite de Detecção	Amostra	Padrão(*)
Aceto de etila (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Acetonitrila (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Acrilamida (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Aldicarb (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Aldrin (µg L^{-1})	0,01	<0,01	1
Antraceno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Bendiocarb (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benonil (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	20
Benzidina (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzo [a] Antraceno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzo [k] fluoranteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzo [g,h,i] pirileno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzo [a]pireno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	0,02
Bifenilas policloradas (PCB) (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Bromofórmio (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Carbaril (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Carbofuran (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Clordano (µg L^{-1})	0,001	<0,001	0,003
Cloreto de metileno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Cloreto de vinila(µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Clorobenzeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Clorofórmio (µg L^{-1})	0,01	<0,01	60,0
Criseno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,4-D (µg L^{-1})	0,01	<0,01	10,0
2,4-D (Sais de ésteres) (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
DDD (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
DDE (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
DDT (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Dibenzo [a,h] antraceno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
1,1- Dicloroeteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	0,6
1,2 - Dicloroetano (µg L^{-1})	0,01	<0,01	20,0
1,2 - Dicloroeteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
1,2 Dicloreteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,4-Diclrorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,6 Diclorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Dieldrin (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Endrin (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-

Etibenzeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Heptacloro Epóxi (µg L^{-1})	0,01	<0,01	0,01
Heptacloro (µg L^{-1})	0,01	<0,01	0,01
Hexaclorobenzeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Lindano (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Methiocarb (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Methomyl (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Metolocarb (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Mexocloro (µg L^{-1})	0,01	<0,01	3,0
Molinate (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Naftaleno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Organofosforados e Carbamatos (µg L^{-1})	0,01	<0,01	10,0
Pentaclorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	1,0
Silvex (2,4,5-TP) (µg L^{-1})	0,01	<0,01	3,0
Toxafeno	0,01	<0,01	1,0
2,4,5-T (µg L^{-1})	0,01	<0,01	10,0
Tetracloreto de Carbono (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
1,1,1,2-Tetracloroeteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
1,1,2,2-Tricloroeteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Tetracloroeteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	20
Tetracloroetileno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,3,4,6 Tetraclorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,6 Diclorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Tiocarb (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Tolueno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Toxafeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	5
1,2,4-Triclorobenzeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
1,1,2-Tricloroetano (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Tricloroeteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	60
2,4,5-Triclorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,4,6-Triclorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	20
Triclorofluometano (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Triclorometilbenzeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
1,2,3-tricloropropano (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-

(*) NBR10004 - RESÍDUOS SÓLIDOS-31/05/2004.

EPA (United States Environmental Protection Agency) Test Methods for Evaluating Solid Waste-Volume 1 B: Laboratory Manual Physical/Chemical Methods. EPA 8270C, 8081A/608//3535A/8020A e 8010, Methods for Soils and Waters.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Química de São Carlos
Departamento de Química e Física Molecular - Laboratório de Química Ambiental
Prof.ª Dr.ª Maria Olímpia de Oliveira Rezende - CRQ - IV Região 4112062
Av. Trabalhador Sãocarlense, 400 - Caixa Postal 780
CEP 13566-590 - São Carlos - SP
Fone: (55 16) 3373-9972
Fax: (55 16) 3373-9985
E-mail: mrezende@iqsc.usp.br

INTERESSADO: Juliana

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM: (*) NBR10004 - RESÍDUOS SÓLIDOS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 31/05/2004

AMOSTRA: Solubilizado

Parâmetros	Limite de Detecção	Amostra	Padrão(*)
Aceto de etila (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Acetonitrila (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Acrilamida (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Aldicarb (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Aldrin (µg L^{-1})	0,01	<0,01	1
Antraceno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Bendiocarb (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benonil (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	20
Benzidina (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzo [a] Antraceno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzo [k] fluoranteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzo [g,h,i] pirileno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Benzo [a]pireno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	0,02
Bifenilas policloradas (PCB) (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Bromofórmio (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Carbaril (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Carbofuran (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Clordano (µg L^{-1})	0,001	<0,001	0,003
Cloreto de metileno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Cloreto de vinila(µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Clorobenzeno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Clorofórmio (µg L^{-1})	0,01	<0,01	60,0
Criseno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,4-D (µg L^{-1})	0,01	<0,01	10,0
2,4-D (Sais de ésteres) (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
DDD (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
DDE (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
DDT (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Dibenzo [a,h] antraceno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
1,1- Dicloroeteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	0,6
1,2 - Dicloroetano (µg L^{-1})	0,01	<0,01	20,0
1,2 - Dicloroeteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
1,2 Dicloreteno (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,4-Diclrorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
2,6 Diclorofenol (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-
Dieldrin (µg L^{-1})	0,01	<0,01	-

Ensaio peças de concreto com o resíduo

ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS-NBR-10.005/2004

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 22ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETRO	UNIDADE	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	RESULTADO	LIMITE MÁXIMO NO LIXIVIADO	LIMITE DE DETECÇÃO
INORGÂNICOS					
ARSÊNIO	mg As L^{-1}	D005	< LD	1,0	0,0001
BÁRIO	mg Ba L^{-1}	D006	1,06	70,0	0,001
CÁDMIO	mg Cd L^{-1}	D007	0,032	0,5	0,0006
CHUMBO	mg Pb L^{-1}	D008	0,52	1,0	0,01
CROMO TOTAL	mg Cr L^{-1}	D009	0,038	5,0	0,005
FLUORETOS	mg F^{-} L^{-1}	D010	1,23	150,0	0,01
MERCÚRIO	mg Hg L^{-1}	D011	< LD	0,1	0,0001
PRATA	mg Ag L^{-1}	D012	0,044	5,0	0,001
SELÊNIO	mg Se L^{-1}	D013	< LD	1,0	0,001
pH DO LIXIVIADO		N.A	11,35	N.A.	0
PESTICIDAS					
ALDRIN + DIELDRIN	mg L^{-1}	D014	--	0,003	$1,0X10^{-5}$
CLORDANO (TODOS OS ISÔMEROS)	mg L^{-1}	D015	--	0,02	$1,0X10^{-5}$
DDT (TODOS OS ISÔMEROS)	mg L^{-1}	D016	--	0,2	$1,0X10^{-5}$
2,4-D	mg L^{-1}	D026	--	3,0	$1,0X10^{-5}$
ENDRIN	mg L^{-1}	D018	--	0,06	$1,0X10^{-5}$
HEPTACLORO E SEU EPÓXIDO	mg L^{-1}	D019	--	0,003	$1,0X10^{-5}$
LINDANO	mg L^{-1}	D022	--	0,2	$1,0X10^{-5}$
METOXICLORO	mg L^{-1}	D023	--	2,0	$2,0X10^{-5}$
PENTACLOROFENOL	mg L^{-1}	D024	--	0,9	$1,0X10^{-5}$
TOXAFENO	mg L^{-1}	D025	--	0,5	$1,0X10^{-5}$
2,4,5-T	mg L^{-1}	D027	--	0,2	$1,0X10^{-5}$
2,4,5-TP	mg L^{-1}	D028	--	1,0	$1,0X10^{-5}$
OUTROS ORGÂNICOS					
BENZENO	mg L^{-1}	D030	--	0,5	$1,0X10^{-5}$
BENZO (A) PIRENO	mg L^{-1}	D031	--	0,07	$1,0X10^{-5}$
CLORETO DE VINILA	mg L^{-1}	D032	--	0,5	$5,0X10^{-5}$
CLOROBENZENO	mg L^{-1}	D033	--	100	$2,0X10^{-5}$
CLORÓFÓRMIO	mg L^{-1}	D034	--	6,0	$2,0X10^{-5}$
CRESOL TOTAL	mg L^{-1}	D035	--	200,0	0,001
O-CRESOL	mg L^{-1}	D036	--	200,0	0,001
M-CRESOL	mg L^{-1}	D037	--	200,0	0,001
P-CRESOL	mg L^{-1}	D038	--	200,0	0,001
1,4-DICLOROBENZENO	mg L^{-1}	D039	--	7,5	$2,0X10^{-5}$
1,2-DICLOROETANO	mg L^{-1}	D040	--	1,0	$2,0X10^{-5}$
1,1-DICLOROETILENO	mg L^{-1}	D041	--	3,0	$2,0X10^{-5}$
2,4-DINITROTOLUENO	mg L^{-1}	D042	--	0,13	$2,0X10^{-5}$
HEXACLOROBENZENO	mg L^{-1}	D021	--	0,1	$1,0X10^{-5}$
HEXACLOROBUTADIENO	mg L^{-1}	D043	--	0,5	$1,0X10^{-5}$
HEXACLOROETANO	mg L^{-1}	D044	--	3,0	$1,0X10^{-5}$
METIETILCETONA	mg L^{-1}	D045	--	200,0	0,01
NITROBENZENO	mg L^{-1}	D046	--	2,0	$1,0X10^{-5}$
PIRIDINA	mg L^{-1}	D047	--	5,0	0,004
TETRACLORETO DE CARBONO	mg L^{-1}	D048	--	0,2	$2,0X10^{-5}$
TETRACLOROETILENO	mg L^{-1}	D049	--	4,0	$1,0X10^{-5}$
TRICLOROETILENO	mg L^{-1}	D050	--	7,0	$2,0X10^{-5}$
2,4,5-TRICLOROFENOL	mg L^{-1}	D051	--	400,0	0,01
2,4,6-TRICLOROFENOL	mg L^{-1}	D052	--	20,0	$5,0X10^{-5}$

ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS-NBR-10.006/2004

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 22ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETRO	UNIDADE	M 0513	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO (mg/L)	LIMITE DE DETECÇÃO
ALUMÍNIO	mg Al .L^{-1}	0,30	0,2	0,01
ARSÊNIO	mg As .L^{-1}	< LD	0,01	0,0001
BÁRIO	mg Ba.L^{-1}	0,72	0,7	0,001
CÁDMIO	mg Cd .L^{-1}	0,013	0,005	0,0006
CHUMBO	mg Pb .L^{-1}	0,21	0,01	0,01
CIANETOS	mg CN^- .L^{-1}	< LD	0,07	0,001
CLORETOS	mg Cl^- .L^{-1}	35,0	250,0	0,01
COBRE	mg Cu .L^{-1}	0,032	2,0	0,003
CROMO TOTAL	mg Cr .L^{-1}	< LD	0,05	0,005
FENÓIS TOTAIS	mg C_6H_5OH .L^{-1}	0,026	0,01	0,001
FERRO TOTAL	mg Fe .L^{-1}	0,147	0,3	0,005
FLUORETOS	mg F^- .L^{-1}	0,64	1,5	0,01
MANGANÊS	mg Mn .L^{-1}	0,021	0,1	0,003
MERCÚRIO	mg Hg .L^{-1}	< LD	0,001	0,0001
NITRATOS	mg N .L^{-1}	4,26	10,0	0,01
PRATA	mg Ag .L^{-1}	0,008	0,05	0,001
SELÊNIO	mg Se .L^{-1}	< LD	0,01	0,001
SÓDIO	mg Na .L^{-1}	42,8	200,0	0,1
SULFATOS	mg SO_4^{2-} .L^{-1}	< LD	250,0	1
SURFACTANTES	mg LAS .L^{-1}	< LD	0,5	0,1
ZINCO	mg Zn .L^{-1}	0,093	5,0	0,02
pH DO SOLUBILIZADO		12,46	N.A.	0

Ensaio peças de concreto fábrica – materiais convencionais

ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS-NBR-10.006/2004

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 22ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETRO	UNIDADE	M 0513	LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO (mg/L)	LIMITE DE DETECÇÃO
ALUMÍNIO	mg Al .L^{-1}	< LD	0,2	0,01
ARSÊNIO	mg As .L^{-1}	< LD	0,01	0,0001
BÁRIO	mg Ba.L^{-1}	1,98	0,7	0,001
CÁDMIO	mg Cd .L^{-1}	0,010	0,005	0,0006
CHUMBO	mg Pb .L^{-1}	0,18	0,01	0,01
CIANETOS	mg CN^- .L^{-1}	< LD	0,07	0,001
CLORETOS	mg Cl^- .L^{-1}	0,1	250,0	0,01
COBRE	mg Cu .L^{-1}	< LD	2,0	0,003
CROMO TOTAL	mg Cr .L^{-1}	< LD	0,05	0,005
FENÓIS TOTAIS	mg C_6H_5OH .L^{-1}	< LD	0,01	0,001
FERRO TOTAL	mg Fe .L^{-1}	0,171	0,3	0,005
FLUORETOS	mg F^- .L^{-1}	0,01	1,5	0,01
MANGANÊS	mg Mn .L^{-1}	0,007	0,1	0,003
MERCÚRIO	mg Hg .L^{-1}	< LD	0,001	0,0001
NITRATOS	mg N .L^{-1}	0,66	10,0	0,01
PRATA	mg Ag .L^{-1}	< LD	0,05	0,001
SELÊNIO	mg Se .L^{-1}	< LD	0,01	0,001
SÓDIO	mg Na .L^{-1}	38,5	200,0	0,1
SULFATOS	mg SO_4^{2-} .L^{-1}	< LD	250,0	1
SURFACTANTES	mg LAS .L^{-1}	< LD	0,5	0,1
ZINCO	mg Zn .L^{-1}	0,059	5,0	0,02
pH DO SOLUBILIZADO		12,32	N.A.	0

LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO – ANEXO G (NORMATIVO) – PADRÕES PARA O ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO (mg.L^{-1}).
LD = LIMITE DE DETECÇÃO.
N.A. = NÃO SE APLICA.