



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**REUTILIZAÇÃO DO LODO REMANESCENTE DO PROCESSO DE
BENEFICIAMENTO DE GEMAS NA FABRICAÇÃO DE PISOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO**

Cristiano Giovanella

Lajeado, junho de 2017



Cristiano Giovanella

**REUTILIZAÇÃO DO LODO REMANESCENTE DO PROCESSO DE
BENEFICIAMENTO DE GEMAS NA FABRICAÇÃO DE PISOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento, na área de concentração Espaço, Ambiente e Sociedade, na linha de pesquisa Tecnologia e Ambiente.

Orientadora: Dra. Eniz Conceição Oliveira

Lajeado, junho de 2017

Cristiano Giovanella

REUTILIZAÇÃO DO LODO REMANESCENTE DO PROCESSO DE
BENEFICIAMENTO DE GEMAS NA FABRICAÇÃO DE PISOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

A Banca examinadora abaixo aprova a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento, na área de concentração Espaço, Ambiente e Sociedade:

Dra. Eniz Conceição Oliveira – orientadora
Centro Universitário Univates

Dra. Simone Stülp
Centro Universitário Univates

Dr. Hélio Dorneles Etchepare
Centro Universitário Univates

Dra. Fernanda Cristina Wiebusch Sindelar
Centro Universitário Univates

Dr. Pedro Domingos Marques Prietto
Universidade de Passo Fundo

Lajeado, junho de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico à minha mãe, Anísia e ao meu filho, Matheus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Jair e Anísia, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando minhas escolhas, e que não mediram esforços para que este objetivo se tornasse realidade. À minha irmã Cheron e à minha noiva Rita, pela paciência e compreensão que tiveram comigo durante essa jornada. Agradeço a todos os professores do curso, os quais contribuíram para a minha formação acadêmica, especialmente a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Eniz Conceição Oliveira, pelo esforço e dedicação. Agradeço ao apoio das bolsistas de Iniciação Científica Suélen Nichel e Larissa Toledo Dullius, que participaram de etapas importantes deste trabalho. Agradeço à Oriente Pedras, de Teutônia/RS e à Cooperativa Habitacional 12 de Fevereiro (COOPERHAB), de Sapiranga/RS, que tornaram possível esta pesquisa. Ao Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM) do SENAI, de Criciúma/SC, ao Parque Científico e Tecnológico da UNESC (Iparque), de Criciúma/SC e ao Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC/Univates), que fizeram parte das etapas de análise dos produtos. E, acima de tudo, agradeço a Deus, pelo dom da vida.

EPÍGRAFE

“Educa e transformarás a irracionalidade em inteligência, a inteligência em humanidade e a humanidade em angelitude. Educa e edificarás o paraíso na Terra”.

(Emmanuel)

RESUMO

A indústria beneficiadora de gemas gera, ao final de sua cadeia produtiva, uma significativa quantidade de resíduo denominado lodo de gemas, proveniente das etapas de corte, torneamento e lixamento dos geodos. Devido ao alto custo e pelo fato do processo ser realizado na sua maior parte por empresas de pequeno e médio porte, geralmente com tecnologia defasada, o lodo remanescente é constantemente acumulado no pátio das empresas. A falta de gerenciamento adequado para este rejeito fomenta a ideia de reutilização por parte do empreendedor moderno, visando assim, aumentar o valor agregado do resíduo e contribuir com a diminuição da exploração de recursos naturais como os rios e as pedreiras. A fim de desenvolver um produto não convencional como uma solução alternativa para o setor da construção civil, este trabalho tem como objetivo principal reutilizar o lodo de gemas na formulação de pisos intertravados de concreto. Inicialmente, o lodo de gemas foi submetido ao ensaio de lixiviação para que se determinasse a concentração de óleos e graxas e a sua classificação como resíduo. As composições química e mineralógica foram determinadas pelas técnicas de Fluorescência de Raios X e Difração de Raios X, respectivamente. A análise granulométrica do lodo e dos agregados (pedrisco e areia) foi feita a fim de formular as dosagens experimentais para a fabricação dos *pavers*, utilizando o resíduo como mineral adicionado ao traço. Foram produzidas peças substituindo a areia fina pelo lodo de gemas em quantidades de 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, e 12% calculadas sobre a porcentagem de areia fina. A verificação das dimensões, a determinação da resistência à compressão e a absorção de água foram realizadas nos corpos de prova com a finalidade de comprovar a qualidade final do produto produzido. Os resultados encontrados para o ensaio de lixiviação apresentaram uma concentração de chumbo presente no resíduo de 28 mg.L^{-1} . As análises de composição do resíduo identificaram sílica como material majoritário numa proporção de 97,45%. As dosagens que apresentaram os melhores resultados para resistência à compressão e absorção de água foram as que se substituíram a areia fina por 2% e 4% de lodo de gemas. O melhor resultado médio para a resistência à compressão foi de 44,02 MPa, obtido na dosagem AF8/LG4, e para a absorção de água o melhor resultado médio foi de 3,01 %, encontrado na dosagem AF10/LG2.

Palavras-chave: Gemas. Resíduos. Reutilização. Pisos intertravados de concreto.

ABSTRACT

The gem processing industry generates, at the end of its productive chain, a significant quantity of waste called gem sludge, which comes from the steps of cutting, turning and sanding the geodes. Due to the high cost and the fact that the process is carried out mostly by small and medium sized companies, usually with lagged technology, the remaining sludge is constantly accumulated in the companies' yard. The lack of adequate management for this waste encourages the idea of reuse by the modern entrepreneur, in order to increase the value added of the waste and contribute to the reduction of the exploitation of natural resources such as rivers and quarries. In order to develop an unconventional product as an alternative solution for the construction industry, this work has as main objective to reuse the sludge of gemstones in the formulation of interlocking concrete floors. Initially, the sludge was subjected to the leaching test to determine the concentration of oils and greases and their classification as residue. The chemical and mineralogical compositions were determined by X-Ray Fluorescence and X-Ray Diffraction techniques, respectively. The granulometric analysis of the sludge and the aggregates (hail and sand) was done in order to formulate the experimental dosages for the manufacture of the pavers, using the residue as mineral added to the trace. Pieces were produced replacing the fine sand by the sludge of gems in amounts of 0%, 2%, 4%, 6%, 8% and 12% calculated on the percentage of fine sand. The verification of the dimensions, the determination of the compressive strength and the water absorption were carried out in the specimens in order to prove the final quality of the product produced. The results found for the leaching test presented a lead concentration in the residue of 28 mg.L⁻¹. Analyzes of the composition of the residue identified silica as the major material in a ratio of 97,45%. The dosages that presented the best results for resistance to compression and water absorption were those that were substituted for fine sand by 2% and 4% of sludge. The best average result for the compressive strength was 44,02 MPa, obtained at the TS8/GS4 dosage, and for the water absorption the best average result was 3,01%, found at the TS10/GS2 dos

Keywords: Gems. Waste. Reuse. Concrete interlocking floors

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa gemológico da região sul do Brasil (PR, SC e RS)	24
Figura 2 - Peças de ágata após processamento	25
Figura 3 - Geodos de ametista bruta, extraídos no município de Iraí/RS	26
Figura 4 - Mapa do COREDE Alto da Serra do Botucaraí.....	28
Figura 5 - Mapa do Vale do Taquari, com a Figura do RS em perspectiva	30
Figura 6 - Processo resumido de beneficiamento de gemas	33
Figura 7 - Esquematização do tripé da sustentabilidade	40
Figura 8 - Pavimento intertravado	46
Figura 9 - Sistemas de fabricação de <i>pavers</i> tipo descanso (a), virado (b) e vibro prensado (c)	48
Figura 10 - Processo produtivo do piso intertravado de concreto - prensagem	49
Figura 11 - Tipos de peças de concreto	50
Figura 12 - Faixa granulométrica indicada na formulação de blocos e <i>pavers</i>	60
Figura 13 - Vista lateral da serra caixão	63
Figura 14 - Fluxograma da etapa experimental da pesquisa	68
Figura 15 - Processo de retirada do excesso de água do lodo	69
Figura 16 – Sistema de extração <i>Soxhlet</i> (a) e o rotaevaporador (b).....	71
Figura 17 – Etapas da análise de massa unitária para o lodo de gemas	73
Figura 18 – Etapas da análise da massa específica do lodo de gemas	74
Figura 19 – Etapas da análise de material pulverulento do lodo de gemas	75

Figura 20 – Material sendo peneirado no peneirador elétrico	77
Figura 21 - Agregados utilizados na produção dos <i>pavers</i>	79
Figura 22 - Esquema semiautomático de fabricação de <i>pavers</i> utilizado pela indústria colaboradora	80
Figura 23 – Etapas de produção dos <i>pavers</i> : mistura (a), moldagem (b), cura (c) e estocagem (d)	81
Figura 24 – Dimensionamento das peças produzidas.....	83
Figura 25 – Etapas da determinação de absorção de água.....	84
Figura 26 – Etapas do ensaio de resistência à compressão	85
Figura 27 - Fluxograma do processo de beneficiamento da ágata em estudo	86
Figura 28 - Depósito de geodos de ágata no pátio da empresa.....	87
Figura 29 - Serra caixão utilizada no corte das ágatas	88
Figura 30 - Ágata cortada em filete (a) para posterior torneamento (b)	88
Figura 31 - Lixamento e polimento do processo de beneficiamento de ágatas.....	89
Figura 32 – Peça de ágata na etapa de furação	90
Figura 33 – Lapidação automatizada das peças de ágata	90
Figura 34 – Estação de tratamento de efluentes da empresa	91
Figura 35 – Armazenamento dos cacos de pedra e do lodo de gemas	92
Figura 36 – Difratoograma da amostra de lodo de gemas	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Limites para o Traço Referência - AF12%/LG0%	102
Gráfico 2 – Limites para o Traço AF0%/LG12%.....	103
Gráfico 3 – Limites para o Traço AF4%/LG8%.....	104
Gráfico 4 – Limites para o Traço AF6%/LG6%.....	105
Gráfico 5 – Limites para o Traço AF8%/LG4%.....	106
Gráfico 6 – Limites para o Traço AF10%/LG2%.....	107
Gráfico 7 – Resultados do ensaio de absorção de água	111
Gráfico 8 – Resultados do ensaio de resistência à compressão	112
Gráfico 9 – Relação entre absorção de água e resistência à compressão da amostra de traço AF8/LG4	113
Gráfico 10 – Comparação da resistência à compressão e da absorção de água entre os traços estudados	114

LISTA DE QUADROS E TABELAS

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resíduos do beneficiamento de gemas e suas origens	34
Quadro 2 – Exemplos de resíduos sólidos industriais	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exportações brasileiras de gemas preciosas (exceto diamantes) ou semipreciosas, em estado bruto ou trabalhadas (2010-2014).....	23
Tabela 2 – Distribuição dos empregados formais no Brasil de acordo com as atividades nas indústrias do setor de gemas – 2010.....	27
Tabela 3 – Traços empíricos para a fabricação de <i>pavers</i> com resistência à compressão de 35 e 50 MPa.....	61
Tabela 4 – Exemplo de composição química de uma amostra de lodo de gemas....	63
Tabela 5 - Resultados analíticos obtidos em massa bruta da amostra de lodo de gemas, comparados com a ABNT NBR 10.004:2004	93
Tabela 6 - Resultados analíticos obtidos no lixiviado da amostra de lodo de gemas, comparados com a Norma Técnica ABNT NBR 10.004:2004.....	93
Tabela 7 - Medidas das massas dos balões para o cálculo de óleos e graxas totais na amostra bruta e na amostra “descontaminada”	94
Tabela 8 - Composição química elementar da amostra de lodo de gemas.....	96
Tabela 9 - Valores das massas medidas para o cálculo de massa unitária com os respectivos resultados.....	97

Tabela 10 - Valores para as medidas das massas na determinação de massa específica no estado seco e os respectivos resultados.....	97
Tabela 11 - Valores das massas para o cálculo de material pulverulento.....	98
Tabela 12 - Resultados para o teor de material pulverulento dos materiais.....	98
Tabela 13 - Medidas das massas para a determinação de umidade nos materiais	99
Tabela 14 - Resultados obtidos para umidade dos agregados e do resíduo	100
Tabela 15 - Resultados das granulometrias dos agregados e do lodo de gemas... ..	100
Tabela 16 - Dosagem para o traço referência AF12/LG0 (12% de areia/0% de lodo)	101
Tabela 17 - Dosagem para o traço AF0/LG12 (0% de areia/12% de lodo)	103
Tabela 18 - Dosagem para o traço AF4/LG8 (4% de areia/8% de lodo)	104
Tabela 19 - Dosagem para o traço AF6/LG6 (6% de areia/6% de lodo)	105
Tabela 20 - Dosagem para o traço AF8/LG4 (8% de areia/4% de lodo)	106
Tabela 21 - Dosagem para o traço AF10/LG2 (10% de areia/2% de lodo)	107
Tabela 22 – Dosagens dos materiais utilizados na produção dos <i>pavers</i>	108
Tabela 23 - Resultados das análises de controle de qualidade	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento <i>Portland</i>
ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al ₂ O ₃	Trióxido de Alumínio
AF	Areia Fina
B ₂ O ₃	Trióxido de Boro
BaO	Óxido de Bário
BDR	Banco de Dados Regional
CaO	Óxido de Cálcio
CH ₄	Metano
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de Carbono
Co ₂ O ₃	Trióxido de Cobalto
Cr ₂ O ₃	Trióxido de Cromo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COREDE	Conselho Regional de Desenvolvimento
Cr ₂ O ₃	Trióxido de Cromo
DesvPad	Desvio Padrão
DRX	Difração de Raios X
FRX	Fluorescência de Raios X
ETE	Estação de Tratamento de Efluente

FEE/RS	Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul
F ₂ O ₃	Trióxido de Ferro
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos
g	Grama
HCN	Ácido Cianídrico
HTP	Hidrocarbonetos Totais de Petróleo
H ₂ S	Ácido Sulfídrico
IBGM	Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos
IPT/USP	Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Universidade de São Paulo
K ₂ O	Óxido de Potássio
kg	Kilograma
kgf	Kilograma Força
kg/m ³	Kilograma por Metro Cúbico
kPa/s	Kilopascals por Segundo
LATEC	Laboratório de Tecnologias da Construção
Li ₂ O	Óxido de Lítio
LG	Lodo de Gemas
m ² /kg	Metro Quadrado por Kilograma
m ³	Metro Cúbico
mg/kg	Miligrama por Quilograma
mm	Milímetro
MET	Ministério do Emprego e Trabalho
MgO	Óxido de Magnésio
MnO	Óxido de Manganês
MPa	Megapascal
Na ₂ O	Óxido de Sódio
NBR	Norma Brasileira
NTS	Norma Técnica SABESP
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
PbO	Óxido de Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
RAIS	Relatório Anual de Informações Sociais
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SENAI/SC	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina
SESCON/RS	Sindicato das Empresas de Serviços Contábeis, Assessoramento, Perícias Informações e Pesquisas do Estado do Rio Grande do Sul
SiO ₂	Dióxido de Silício
SrO	Óxido de Estrôncio
TiO ₂	Dióxido de Titânio
WCED	World Commission on Environment and Development
ZnO	Óxido de Zinco
ZrO ₂ + HfO ₂	Dióxido de Zinco + Dióxido de Háfênio
µg	Micrograma

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo geral	21
1.2 Objetivos específicos.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 Potencial gemológico do Brasil.....	22
2.1.1 O setor de gemas no Alto da Serra do Botucaraí.....	28
2.1.2 O setor de gemas no Vale do Taquari (VT)	29
2.1.3 O processo de beneficiamento de gemas.....	32
2.2 Resíduos sólidos.....	35
2.2.1 Resíduos sólidos industriais.....	36
2.2.2 Sustentabilidade e gestão de resíduos	38
2.2.3 A reutilização de resíduos industriais	41
2.2.4 Materiais não convencionais.....	43
2.3 Pavimentos intertravados de concreto	45
2.3.1 Método de produção de pisos intertravados de concreto.....	47
2.3.2 Características sustentáveis dos pisos intertravados de concreto	50
2.3.3 Insumos e agregados utilizados na produção de <i>pavers</i>.....	51
2.3.3.1 Cimento Portland.....	51
2.3.3.2 Areia natural e areia artificial	51
2.3.3.3 Pedrisco	52
2.3.3.4 Água	52
2.3.3.5 Aditivos	53
2.3.3.6 Pigmentos	53
2.3.4 Características dos agregados e sua importância.....	53
2.3.5 Adições minerais nas formulações de concreto	56
2.3.6 Dosagem da massa de concreto seco.....	58
2.3.7 Traços de concreto seco	60
2.3.8 Controle de qualidade dos <i>pavers</i>.....	61
2.3.9 Características do lodo de gemas e suas aplicações.....	62
2.3.10 Métodos de caracterização do lodo de gemas	64

2.3.10.1 Ensaio de Lixiviação	64
2.3.10.2 Óleos e Graxas	65
2.3.10.3 Granulometria	65
2.3.10.4 Fluorescência de Raios X e Difração de Raios X.....	65
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	67
3.1 Observação do processo de beneficiamento de gemas.....	68
3.2 Coleta do resíduo	68
3.3 Caracterização do resíduo.....	69
3.3.1 Ensaio de lixiviação	69
3.3.2 Determinação do teor de óleo (extração em Soxhlet).....	70
3.3.3 Composição mineralógica.....	71
3.3.4 Composição química	71
3.4 Propriedades físico-químicas dos materiais	72
3.4.1 Massa unitária	72
3.4.2 Massa específica	73
3.4.3 Teor de material pulverulento	75
3.4.4 Umidade natural	76
3.4.5 Composição granulométrica	76
3.5 Reprodução do traço de referência	77
3.6 Obtenção das dosagens experimentais	78
3.7 Fabricação dos <i>pavers</i>	78
3.8 Controle de qualidade.....	82
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	86
4.1 Descrição do processo de beneficiamento de ágatas	86
4.2 Classificação do resíduo	92
4.3 Determinação do teor de óleo do resíduo.....	94
4.4 Composição mineralógica do resíduo.....	95
4.5 Composição química do resíduo	95
4.6 Caracterização físico-química dos materiais.....	96
4.6.1 Determinação da massa unitária	96
4.6.2 Determinação da massa específica no estado seco	97
4.6.3 Determinação do teor de material pulverulento	98
4.6.4 Determinação do teor de umidade.....	99
4.6.5 Composição granulométrica	100
4.7 Formulação dos traços utilizados para a produção dos <i>pavers</i>	101
4.8 Produção dos <i>pavers</i>	108
4.9 Controle de qualidade dos <i>pavers</i>	109
5 CONCLUSÃO	115
REFERÊNCIAS.....	117

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, os resíduos sólidos gerados nas indústrias foram vistos pelos empresários apenas como um subproduto do sistema econômico sem valor agregado e como problema na cadeia produtiva. A principal preocupação com estes resíduos era a sua destinação para locais distantes das áreas urbanas (DEMAJOROVIC, 1996).

O crescimento em massa da população intensificou rapidamente o processo de urbanização e o desenvolvimento industrial, aumentando o uso de recursos naturais e a geração de resíduos. Na maioria das vezes, esses resíduos voltam ao meio ambiente de forma inadequada, contaminando o solo e as águas, acarretando em prejuízos ambientais, sociais e econômicos (BARROS, 2002).

Estes fatores contribuíram para impulsionar a preocupação com o meio ambiente, e ao longo dos anos, os resíduos oriundos do setor industrial passaram a ser vistos como insumos importantes no processo produtivo e, conseqüentemente, com um valor econômico agregado. Além do mais, a necessidade da indústria em manter uma boa impressão perante a sociedade faz com que estas organizações utilizem sua gestão ambiental como “*green marketing*”, procurando conquistar alguma vantagem competitiva advinda da gestão ambiental (OTTMAN, 1994).

Tanto as indústrias maiores quanto as menores, que atuam na área de beneficiamento de produtos, geram certa quantidade de resíduos que nem sempre

são reaproveitados ou destinados de forma adequada. O desafio destas indústrias é dar um destino ecologicamente correto aos resíduos gerados na produção. Muitas vezes, a falta de logística ou o alto custo de transporte ou disposição destes rejeitos faz com que os empresários procurem novas alternativas para estes subprodutos. Em alguns casos, estes produtos secundários podem ser reutilizados no próprio processo produtivo ou ainda aproveitados como matéria-prima básica em outros processos industriais.

Nesse contexto, segundo Holderbaum (2009), a construção civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico e social do País, sendo que a sustentabilidade já é um termo comum entre os sistemas de gestão de setores, tendo em vista a diminuição dos impactos ambientais diretamente relacionados com a atividade tanto na exploração de recursos naturais como na geração de resíduos.

A contínua procura por soluções alternativas por parte do mercado tem estimulado a pesquisa por novos produtos, em que os resíduos, antes descartados ou armazenados, podem vir a se tornar matéria-prima base para o desenvolvimento de materiais com características diferentes e de melhor qualidade.

Na indústria de beneficiamento de gemas a situação não é diferente. De acordo com Branco (2009), o Brasil é um dos principais fornecedores de gemas do mundo, tanto em relação à quantidade quanto à diversidade. O Rio Grande do Sul é um dos principais locais de extração de gemas do País, sendo seus principais depósitos de ágatas e de ametistas.

Apesar da posição privilegiada como exportador de gemas, os processos de beneficiamento utilizados no Brasil são precários, geralmente com baixíssima ou nenhuma automação. As pesquisas por novas tecnologias de produção neste setor são praticamente inexistentes, impedindo o avanço na produtividade e na qualidade do processo, aumentando, conseqüentemente, as perdas no processo e gerando maior quantidade de resíduos oriundos da cadeia produtiva (COSTA, 2007).

Os resíduos das indústrias beneficiadoras de gemas são oriundos dos processos de corte, torneamento, lixamento e polimento, que geram no final da cadeia produtiva o lodo de gemas e pequenos cacos que não são aproveitados no

processo. O lodo de gemas é um resíduo sólido não metálico, com média de 95% de sílica em sua composição, que pode conter quantidades de óleo diesel marítimo residual em sua mistura. Já, os cacos de gemas que sobram do processo de corte são gemas “*in natura*” apenas fragmentadas. A preocupação recorrente das indústrias deste setor é com o lodo gerado, uma vez que os cacos geralmente são reutilizados como pedra rolada ou até mesmo como material para aterro. O lodo de gemas pode ser estocado adequadamente, destinado a unidades licenciadas de recuperação, reprocessamento, reciclagem, tratamento biológico, coprocessamento em fornos de clínquer, sistemas de tratamento térmico (incineração) ou até mesmo reaproveitado (FEPAM, 2010). Devido a fatores como o alto custo de gerenciamento, o espaço físico de armazenagem necessário e, principalmente a dificuldade de se encontrar aterros que recebam esses resíduos, o seu reaproveitamento pode ser uma solução mais viável técnica e economicamente, pois além de dar ao subproduto uma finalidade mais nobre como matéria-prima, também aumenta o valor agregado do produto final (SISINNO, 2003).

A escolha pelo setor de gemas justifica-se pelo fato de ter ampla relevância econômica no país e, principalmente, na região do COREDE do Alto da Serra do Botucaraí/RS. De acordo com Vieira e colaboradores (2012), no município de Soledade, considerado berço das pedras preciosas no Rio Grande do Sul, 35 a 38% do Produto Interno Bruto (PIB) provém da comercialização de gemas e 71% das empresas existentes na cidade dependem da exportação destes produtos. Em 2012, segundo dados do Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM), a cadeia produtiva de gemas no Brasil gerava cerca de 500.000 empregos diretos em cerca de 2.000 empresas, onde 93% correspondiam à micro e pequenas empresas. O processo produtivo destas empresas compreendia, até então, desde a extração até o produto final. Apesar da relevância econômica, a falta de investimentos no setor contribuía para as perdas nos processos de beneficiamento das gemas, enaltecendo a necessidade de um melhor gerenciamento dos resíduos gerados (IBGM, 2012, apud GUERREIRO, 2014).

O reaproveitamento de subprodutos oriundos de diversos setores produtivos já é uma realidade dentro de uma visão sustentável de gestão ambiental. Vários setores incorporam valor aos seus rejeitos reaproveitando-os como materiais não alternativos que podem ser incorporados na produção de novos produtos. Uma vez

que a construção civil demanda uma grande e variável quantidade de matérias-primas, sobretudo oriundas de recursos naturais, o que aumenta consideravelmente os riscos ambientais, muitas pesquisas sobre a utilização de subprodutos envolvem este setor. Sendo assim, é importante observar o potencial de reaproveitamento dos resíduos gerados no processo de beneficiamento de gemas, conhecendo suas características e verificando produtos nos quais estes materiais podem ser incorporados.

Atualmente, a pavimentação de ruas e calçadas com pisos intertravados de concreto vem sendo uma solução para permeabilidade do solo, uma vez que, diferentemente de outros pavimentos como o asfalto, por exemplo, o pavimento de concreto é refratário, refletindo o calor e semipermeável, pois permite que parte das águas pluviais seja absorvida pelo solo. O piso intertravado de concreto, também chamado de *paver*, é um artefato pré-fabricado composto basicamente por cimento *Portland*, areia, brita e água, podendo ser produzido manualmente ou por sistemas automatizados (DI GREGORIO, 2012).

A matéria-prima utilizada na produção destes artefatos provém de rios e jazidas e requer atividades de extração mineral que geram impactos diretos sobre o meio ambiente. O cimento é produzido com materiais provenientes de jazidas de calcário e argila. A areia, agregado mais utilizado, em termos de volume, na composição do *paver*, é extraída de lagos e rios. Já a brita provém da trituração de rochas retiradas de pedreiras geralmente de basalto ou granito (ISAIA, 2007).

O resíduo do lodo de gemas pode ser utilizado como um material não convencional em substituição parcial da areia na produção destes artefatos. Para isso, é fundamental a realização de estudos que avaliem o potencial de reutilização deste resíduo, visando assim contribuir na diminuição do volume deste rejeito, que geralmente é estocado ou enviado a aterros industriais, na diminuição da extração de recursos naturais e, sobretudo, vir a oferecer alternativas ambientalmente corretas para a construção civil.

1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um piso de concreto pré-moldado para pavimento, substituindo parcialmente seus agregados naturais por lodo oriundo do processo de beneficiamento de gemas.

1.2 Objetivos específicos

- a) Acompanhar o processo de beneficiamento de gemas a fim de identificar as principais etapas geradoras do lodo residual;
- b) Realizar algumas dosagens experimentais, incorporando o lodo de gemas na formulação de um piso intertravado de concreto;
- c) Analisar este novo produto quanto a sua resistência à compressão, absorção de água e a suas dimensões, comparando-o com os produtos tradicionais;
- d) Identificar as dosagens com melhores valores de resistência à compressão e absorção de água;
- e) Propor ao setor da construção civil um produto não convencional para utilização em pavimentações, contribuindo para a diminuição da exploração dos recursos naturais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Potencial gemológico do Brasil

As gemas sempre exerceram certo fascínio na civilização humana. Através dos séculos foram símbolos de misticismo e crenças, até chegar ao poder e riquezas que lhe são atribuídas atualmente. O estudo sobre estas preciosidades teve seu marco na era Cristã, em meio ao fortalecimento do comércio. A busca por metais preciosos levou a inúmeras expedições pelo interior do Brasil, o que favoreceu a colonização do país (SCHUMANN, 2006).

Devido à raridade e a peculiar beleza, as gemas extraídas no Brasil são expostas em vários países como joias ou bijuterias de alto valor, artefatos finos e decoração de ambientes luxuosos. Estima-se que um terço das gemas comercializadas atualmente no mundo, exceto o diamante, o rubi e a safira, são originárias do Brasil. Mais de 90% são absorvidas pelo mercado externo e a maioria exportada como pedra bruta, com nenhum ou inexpressivo valor agregado. O seu beneficiamento pode agregar um valor superior a 50 vezes o valor da pedra bruta (IBGM, 2012, Apud GUERREIRO, 2014).

De maneira geral, Vale (2000) alerta que os recursos minerais são fontes esgotáveis de matéria prima e o fato de não serem naturalmente renováveis pelo ambiente é crucial para a vitalidade das empresas. Assim, sob o ponto de vista

público, se reflete a necessidade de gestões eficazes dos processos de produção visando o melhor aproveitamento de jazidas e, conseqüentemente, o menor desperdício de matérias-primas. Essa preocupação pública é enaltecida sob a ótica econômica, pois influencia nos custos de produção, no investimento de tecnologias, na valorização de produtos e no reaproveitamento de subprodutos.

De acordo com De Negri (2005), as gemas no Brasil são tratadas como *commodities* primárias, pois os processos envolvem intensa mão de obra e uso de recursos naturais e têm pouca intensidade tecnológica. Essa condição reduz o poder competitivo do País em relação ao mercado mundial.

O Brasil é considerado o maior exportador do mundo em gemas no estado bruto. No entanto, essa posição muda quando os valores analisados são as exportações do produto lapidado (COSTA, 2007). A Tabela 1 mostra a evolução do setor de exportação de gemas preciosas e semipreciosas, entre 2010 e 2014, nas formas bruta e lapidada.

Tabela 1 - Exportações brasileiras de gemas preciosas (exceto diamantes) ou semipreciosas, em estado bruto ou trabalhadas (2010-2014)

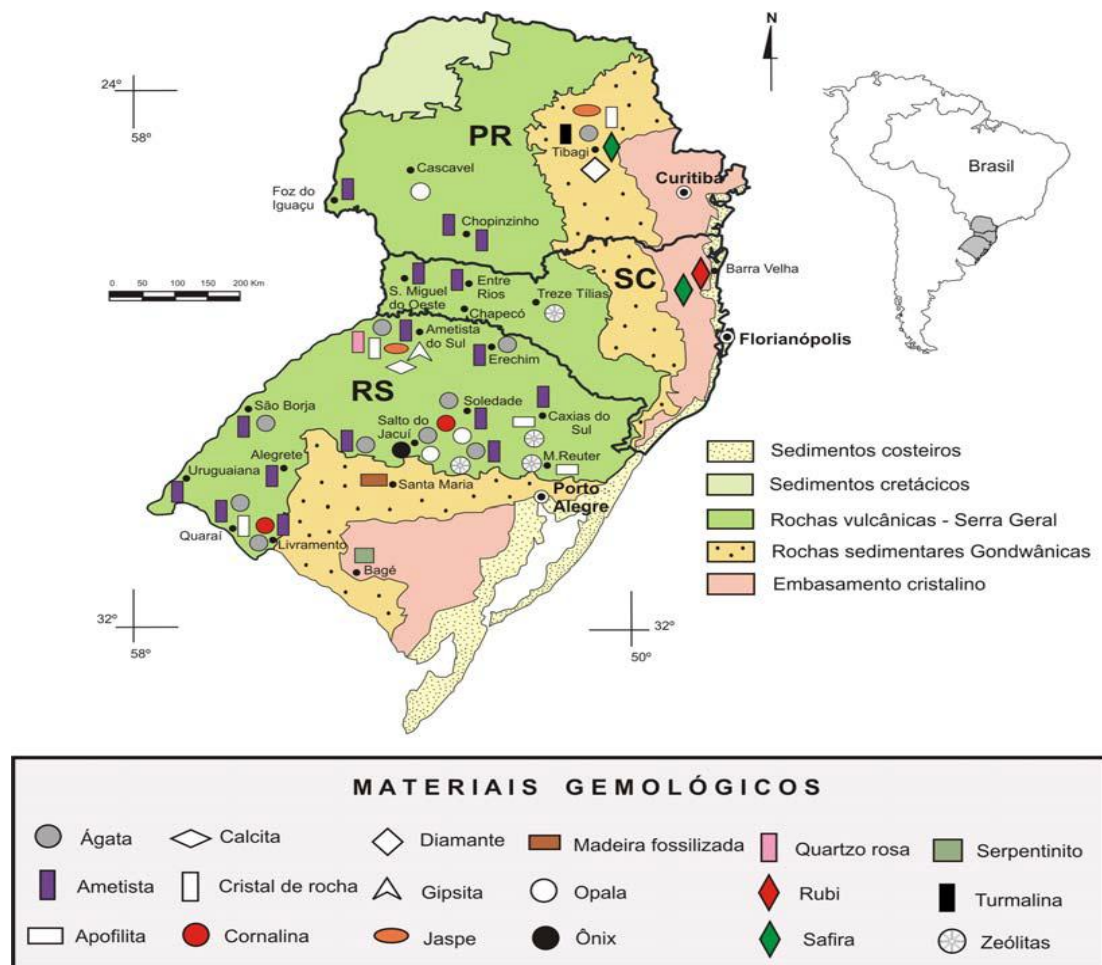
Ano	Gemas brutas			Gemas lapidadas		
	US\$ FOB	Peso (kg)	Preço/kg US\$	US\$ FOB	Peso (kg)	Preço/kg US\$
2010	33.085.483	13.989.046	2,36	65.731.818	6.676.433	8,84
2011	45.555.030	15.182.734	3,00	92.403.104	8.254.319	11,19
2012	43.713.876	15.664.626	2,79	88.082.641	6.432.747	13,69
2013	45.429.074	12.521.811	2,92	119.651.556	8.095.423	14,78
2014	44.471.192	10.344.349	4,29	107.482.035	7.213.139	14,90

Fonte: Adaptado de MDIC (Brasil, 2015)

Berço de uma das maiores reservas de gemas do mundo, o Brasil destaca-se pela qualidade, variedade e dimensões de seus minerais gemológicos e também pela extensão territorial das áreas de ocorrência, sendo que em quase todos os estados existe algum tipo de gema. A extração ocorre em quase todo o território brasileiro, principalmente nos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia, Pará e Tocantins. Os principais depósitos, destacados pelo volume e pela qualidade, estão localizados na região sul do Brasil, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, onde se encontram especialmente ágata e ametista. Além destas, outros materiais gemológicos são produzidos nessa região, mas ainda pouco conhecidos

no comércio e do público em geral, tais como a opala, o rubi, a safira, o diamante, o serpentinito e a madeira petrificada. O destino destes materiais é principalmente a exportação para vários países, tanto para coleção, como gemas ornamentais ou lapidadas para uso em joalheria (JUCHEM et al., 2009). A localização geográfica dos principais depósitos de materiais gemológicos do Brasil e o seu contexto geológico são mostradas na Figura 1.

Figura 1 - Mapa Gemológico da região sul do Brasil (PR, SC e RS)



Fonte: Juchem et al. (2009, p. 2)

As áreas mais produtivas no Rio Grande do Sul são o Médio Alto Uruguai, próximo ao Estado de Santa Catarina, sendo a principal gema a ametista, e a região que envolve os municípios de Lajeado, Soledade e Salto do Jacuí, no centro do Estado, rica principalmente em ágata (BRANCO; GIL, 2002).

De acordo com Santos, Maciel e Filho (1998), os principais depósitos de ágata do Rio Grande do Sul encontram-se no chamado Distrito Mineiro de Salto do

Jacuí, localizado na região central. Geodos arredondados a ovoides, totalmente preenchidos por ágata, são extraídas das rochas vulcânicas intemperizadas em pedreiras à céu aberto. A presença de ágata preta (ônix) e vermelha ou laranja (cornalina) ocorre próximo ao município de Salto do Jacuí, podendo ser encontrada também na cidade de Santana do Livramento. No comércio estas ágatas podem ser encontradas, tingidas por um processo industrial, nas cores verde, azul e lilás. A Figura 2 mostra algumas peças de ágata que passaram pelo processo de lapidação.

Figura 2 – Peças de ágata após processamento



Fonte: Do autor

Os principais depósitos de ametista estão no norte do Rio Grande do Sul, principalmente na localidade de Ametista do Sul, onde existem mais de 300 pedreiras. Nesta região, é comum a existência de geodos em forma de tubos com mais de um metro de comprimento, extraídos do basalto não intemperizado, em túneis subterrâneos ou a céu aberto. Estes geodos são parcialmente complementados por camadas de calcedônia, ágata e quartzo incolor a leitoso. A calcita está associada aos geodos de ametista mais comum, geralmente encontrada na forma de cristais crescidos sobre a ametista. Cristais euédricos de quartzo rosa também são encontrados nessas regiões, porém com menor frequência (SANTOS; MACIEL; FILHO, 1998). A Figura 3 mostra alguns tipos de geodos de ametista na forma bruta que foram extraídos de pedreiras do município de Iraí, no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 3 – Geodos de ametista bruta, extraídos no município de Iraí/RS



Fonte: Do autor

O Rio Grande do Sul é o maior exportador de gemas lapidadas e artefatos de pedras preciosas ou semipreciosas do Brasil. Em termos de gemas brutas, é o segundo maior exportador, seguido por Minas Gerais e ocupa a primeira colocação, se for excluído o diamante. Junto a Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, o Rio Grande do Sul é berço dos maiores polos de lapidação do País. As empresas destes polos são capazes de lapidar gemas de média e boa qualidade, mas trabalham com baixa escala de produção e normalmente não possuem preços competitivos (BRANCO; GIL, 2002).

Mesmo sendo um importante setor econômico para os estados do sul do Brasil, o beneficiamento de gemas ainda apresenta muitos problemas tanto na cadeia produtiva quanto na comercialização dos produtos. A maior parte da produção é exportada ainda na forma bruta, sem valor agregado e os objetos produzidos nas indústrias geralmente são repetitivos e obsoletos. Em relação ao volume de produção, a quantidade de lapidação para o uso em joalherias ainda é muito pequena e a falta de inovação tecnológica nas etapas de exploração nos depósitos e nos sistemas de beneficiamento gera um alto desperdício em toda a cadeia produtiva, gerando desperdício de matéria-prima e excesso de resíduos não aproveitáveis no processo (JUCHEM et al., 2009).

No Estado do Rio Grande do Sul existem 456 empresas que geram mais de 4.500 empregos diretos e atuam nos processos de extração de pedras preciosas, fabricação de artefatos, metalurgia de metais preciosos, lapidação de gemas, joalheria e fabricação de bijuterias e artefatos semelhantes (COSTA; JORNADA,

2013). Esses empregos estão basicamente distribuídos na seguinte proporção, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição dos empregados formais no Brasil de acordo com as atividades nas indústrias do setor de gemas - 2010

Estado	Extração de gemas e metalurgia de metais preciosos	Fabricação de produtos minerais	Lapidação de gemas, fabricação de artefatos e bijuterias	Fabricação de bijuterias	Divisão por estados (%)
São Paulo	802	12.659	5.982	3.397	48,3
Minas Gerais	520	2.903	1.318	820	11,8
Rio Grande do Sul	117	1.175	3.071	308	9,9
Rio de Janeiro	126	1.962	588	1.148	8,1
Paraná	6	1.414	643	44	4,5
Espírito Santo	70	1.554	30	16	3,5
Santa Catarina	2	940	63	145	2,4
Paraíba	18	965	2	0	2,1
Ceará	8	400	344	124	1,9
Outros Estados	1.789	26.060	12.741	6.701	7,6

Fonte: Adaptado de Costa e Jornada (2013)

As empresas do setor de beneficiamento de gemas existentes no Rio Grande do Sul, quase que em sua totalidade (99%), têm um dos processos já elencados anteriormente como sua principal atividade. Dos 456 estabelecimentos sediados no Estado, 331 (72,6%) estão localizados nas regiões dos municípios de Guaporé, Soledade e Ametista do Sul. Somente em Soledade e seus arredores o número chega a 251 estabelecimentos, o que representa mais de 55,05% do total de empresas do setor no Estado. Essa concentração regional colabora para que estas localidades sejam consideradas núcleos de desenvolvimento setorial-regional para o beneficiamento de gemas. Os empreendimentos localizados em Ametista do Sul e seus arredores são basicamente fornecedores de matéria-prima para as empresas de beneficiamento mineral, lapidação de gemas e fabricação de artefatos, que se encontram na extensão territorial entre Soledade e Lajeado. Essa região, além de relacionar-se comercialmente com Ametista do Sul e arredores, mantém uma relação com as empresas de joias e afins do município de Guaporé, sendo importante fornecedora de gemas lapidadas às fábricas joalheiras. Boa parte dos estabelecimentos comerciais desta região tem o mercado externo como seu principal cliente, sendo fornecedores de minerais em seu estado bruto e simples artefatos de pedras (ZANATTA, 2014).

De acordo com Costa e colaboradores (2013), a atividade de beneficiamento de gemas ocorre predominantemente na região que contempla o Arranjo Produtivo do Alto da Serra do Botucaraí, enquanto a fabricação de joias, item de maior valor agregado, ainda é pouco representativa.

2.1.1 O setor de gemas no Alto da Serra do Botucaraí

O Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Alto da Serra do Botucaraí envolve uma região com área de 5.761,7 km² e em 2013 tinha uma população de 104.190 habitantes (FEE, 2013a, 2013b). Fazem parte deste COREDE os municípios de Alto Alegre, Barros Cassal, Campos Borges, Espumoso, Fontoura Xavier, Gramado Xavier, Ibirapuitã, Itapuca, Jacuizinho, Lagoão, Mormaço, Nicolau Vergueiro, São José do Herval, Soledade, Tio Hugo e Vitor Graeff. Destes, Soledade se destaca pela produção e beneficiamento de gemas e comercialização de pedras preciosas e semipreciosas, ao lado do município de Ametista do Sul, localizado mais ao norte do Estado, referência na extração e comercialização de gemas (ZANATTA, 2014). A Figura 4 mostra o mapa do COREDE Alto da Serra do Botucaraí com os seus municípios.

Figura 4 – Mapa do COREDE Alto da Serra do Botucaraí



Fonte: Zanatta (2014, p. 17)

O beneficiamento de gemas e a fabricação e comercialização de seus artefatos constituem-se como o principal eixo econômico da região. As empresas que fazem parte do Corede do Alto da Serra do Botucaraí respondem por um terço do valor das saídas nas indústrias de extração e de transformação e representam 15% do emprego existente. O arranjo produtivo de gemas e joias do Alto da Serra do Botucaraí é referência em atividades de industrialização e comercialização de gemas em estado bruto ou lapidadas. Em 2013, as atividades de lapidação de gemas e fabricação de artefatos de joias corresponderam a 87,5% dos empregos formais e representaram 75,9% dos estabelecimentos das atividades das indústrias de extração e industrialização de gemas no Alto da Serra do Botucaraí (COSTA; JORNADA, 2013).

O arranjo produtivo do setor de gemas no Corede do Alto da Serra do Botucaraí é composto por 180 empresas, sendo 90% de pequeno porte e 10% de médio porte, não existindo nenhuma empresa de grande porte no setor (COSTA; JORNADA, 2013).

O Relatório Anual de Informações Sociais, do Ministério do Trabalho e Emprego (RAIS/MTE) (Brasil, 2015), relaciona 58 estabelecimentos industriais formalizados, sendo que 57 estão localizados no município de Soledade e apenas 1 localiza-se no município de Espumoso. Deste total de estabelecimentos, 51 empresas são de micro e 7 são de pequeno porte, sendo que cerca de 76% encontra-se voltada às atividades de lapidação de gemas e fabricação de artefatos.

2.1.2 O setor de gemas no Vale do Taquari (VT)

O Vale do Taquari (VT) é formado por 36 municípios, localizado na Região Central do Rio Grande do Sul, distante em média 150 quilômetros da capital do Estado, Porto Alegre. Ocupa uma área de 4.826,7 km², o que representa 1,79% do Estado. A população do Vale do Taquari, em 2014, era cerca de 348.000 habitantes (3,09% da população do Rio Grande do Sul) e formada por etnias variadas, em especial as de origem alemã, italiana e açoriana. Está estrategicamente localizado, com fácil acesso a outras regiões do Estado, País e exterior por meio de rodovias pavimentadas, rios e ferrovias. No meio rural estão registrados 43 mil produtores distribuídos em pequenas e médias propriedades, dedicadas basicamente à

agricultura e à pecuária. Os pequenos municípios têm como destaque o setor da agropecuária, enquanto nos maiores sobressaem-se as atividades industriais e o setor de serviços e comércio. Uma das principais características da região é a produção de alimentos com praticamente 80% da sua atividade produtiva no agronegócio (FEE/RS, 2014). A Figura 5 mostra a localização do Vale do Taquari e seus municípios em perspectiva ao estado do Rio Grande do Sul.

Figura 5 – Mapa do Vale do Taquari, com a Figura do RS em perspectiva



Fonte: SESCON/RS (2012)

No setor de gemas, o VT vem se destacando desde 1960, época da instalação das primeiras empresas do ramo. Assim como em todo o Estado, o setor de gemas foi construído com a finalidade de abastecer exclusivamente o mercado externo, ofertando então a matéria-prima apenas na forma bruta. Os importadores

de gemas brutas foram os principais precursores do sistema de beneficiamento de gemas, através da introdução do processo industrial, da utilização de equipamentos, do uso de insumos e da realização da modelagem inicial, uma vez que a quantidade de matéria-prima no Rio Grande do Sul era abundante. O processo de beneficiamento gerou a implantação de indústrias e, conseqüentemente, melhorou a relação do Brasil com outros países, como a Alemanha, de onde vieram os preceitos para a fabricação de algumas máquinas específicas utilizadas no processo produtivo, incrementando o setor industrial nas décadas de 70 e 80. Neste período ocorreu o crescimento do mercado europeu, o incentivo do governo Federal para a modernização da indústria foi ampliado e novos mercados como a América do Norte e a Ásia foram conquistados (KLEIN, 1994).

Os municípios de Lajeado e Estrela foram os precursores na formação de pequenas fábricas individuais que, mais tarde, devido ao desenvolvimento do setor, tornaram-se empresas industriais reconhecidas nacionalmente. Esse fato deve-se principalmente à localização geográfica destas cidades e à migração dos alemães, responsáveis por introduzir na região os processos de extração e beneficiamento de gemas. Até o início da década de 70, Lajeado monopolizava toda a indústria de pedras preciosas, mas, já no final desta década, devido à proximidade com as regiões produtoras e à disponibilidade de mão de obra mais barata, ocorreu o deslocamento das empresas de processamento de Lajeado para Soledade (COSTENARO, 2005).

De acordo com o estudo de Costa (2007) segundo dados do Banco de Dados Regional da Univates de 2003 (BDR), existiam 45 empresas que trabalhavam com o processamento de gemas no Vale do Taquari. Estas, segundo a pesquisa, geravam na época 461 empregos, sendo 337 diretos e 124 indiretos. Processavam principalmente ágatas, ametistas e citrinos, sendo que 27 estabelecimentos trabalhavam com diferentes tipos de pedras e 6 possuíam o seu próprio garimpo.

A maioria das empresas beneficiadoras de gemas do Vale do Taquari é de micro ou de pequeno porte. São pequenos estabelecimentos que possuem processos produtivos com pouca ou nenhuma tecnologia eficiente, além de estarem passando por uma situação econômica desfavorável devido a questões como a valorização da moeda nacional e a forte concorrência da China no mercado mundial.

Os processos de beneficiamento geralmente são primários, como corte e lapidação de geodos, martelação das pedras e artesanato mineral (BRANCO; GIL, 2002).

2.1.3 O processo de beneficiamento de gemas

No que se refere ao beneficiamento de gemas, os pequenos estabelecimentos e as fábricas informais são as principais responsáveis pelas atividades do setor como o polimento, a martelação, o tingimento, a lapidação, dentre outras. As empresas maiores compram a matéria-prima e terceirizam quase todos os processos de industrialização, vendendo os produtos em grandes *showrooms*, tanto no varejo como no atacado, ou exportando. As fábricas desse segmento, especialmente as de lapidação, ainda produzem alguns produtos não padronizados e sem inovação tecnológica, ofertando seus produtos a preços não competitivos. Já o segmento de joias, folheados e bijuterias, por sua vez, conta com a estrutura produtiva mais heterogênea do setor. Algumas fábricas têm sua cadeia produtiva totalmente integrada, realizando seus processos desde a fundição dos metais até a montagem das peças. Outras priorizam algumas etapas do processo, subcontratando empresas terceiras para desenvolver atividades como design, soldagem das peças, montagem, banhos galvânicos, entre outras (SUZIGAN, 2006).

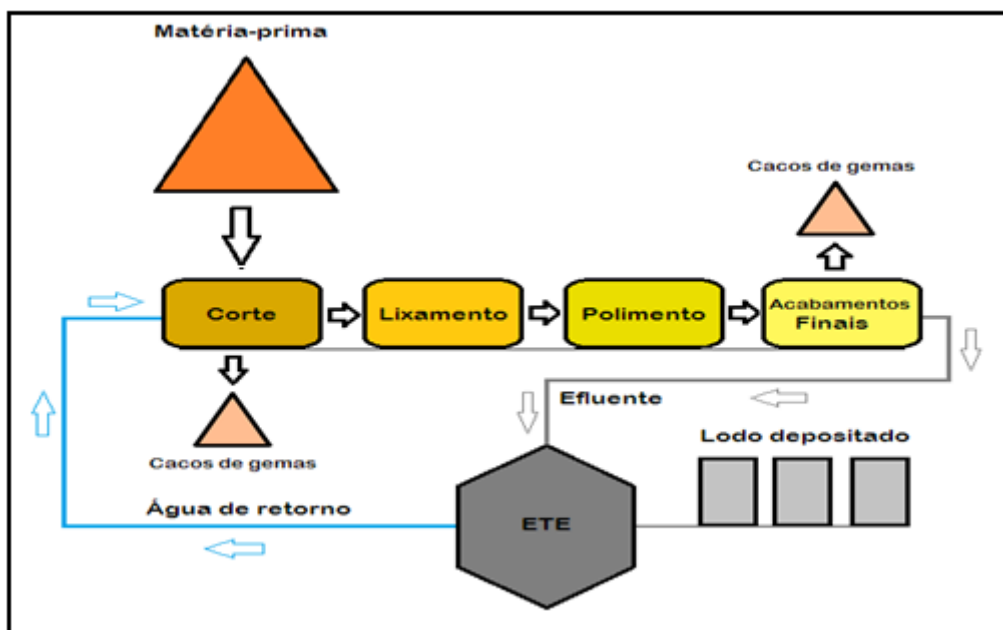
Em relação à mão de obra direta, cerca de 50% das empresas possuem em seu quadro funcional, colaboradores com o ensino fundamental incompleto, e em 71,8% predomina no máximo o ensino fundamental completo. Nota-se que nas empresas pequenas os funcionários têm grau de instrução menor. Em 58% das empresas familiares o grau de instrução é o ensino fundamental incompleto, enquanto que em 60% das empresas de médio porte, a maioria dos funcionários tem ensino médio completo. A qualidade e o tamanho das pedras brutas e o prazo recebido para a realização do pagamento são questões cruciais relativas à matéria-prima que representam dificuldades às empresas. Comumente é necessário realizar a compra das pedras diretamente no garimpo ou do revendedor, escolhendo uma a uma, como forma de reduzir essas dificuldades. A diversidade de maquinário encontrada nas empresas varia de acordo com o tamanho destas, sendo que empresas familiares têm uma pequena variedade de máquinas, mas não possuem equipamentos tais como “calibradoras” e “cabocheiras” que são importantes para o

ganho de qualidade e de produtividade nos processos. A falta de recursos financeiros ou de financiamentos facilitados, atrelados à falta de conhecimento e incapacidade de busca por parte das empresas são fatores que dificultam o desenvolvimento dos processos do setor (BATISTI; TATSCH, 2012).

Unindo-se ao fato de que existem poucos estudos para a melhoria dos processos e da utilização dos recursos naturais, Costa (2007) relata ainda que o beneficiamento de gemas representa em todo o Brasil uma lacuna ainda a ser explorada, com o principal objetivo de ampliar e difundir os conhecimentos do setor a fim de qualificar e aumentar a cadeia produtiva, agregando maior valor aos produtos e incluindo as empresas geralmente de pequeno e médio porte no competitivo mercado mundial.

O processo de beneficiamento de gemas é formado basicamente pelas etapas de corte, lixamento, polimento e acabamentos finais. Os principais resíduos gerados na cadeia produtiva são os cacos de gemas e o lodo proveniente das diferentes etapas do processo (SINDELAR; BARDEN; STÜLP, 2013). A Figura 6 mostra o ciclo de um processo resumido do beneficiamento de gemas.

Figura 6 – Processo resumido de beneficiamento de gemas



Fonte: Do autor

Segundo Silva e Schneider (2015), o processo de beneficiamento de gemas gera rejeitos de lama de corte, íons metálicos, corantes em solução e águas residuárias oriundas das diferentes etapas que compreendem procedimentos de corte, desbaste, furação, polimento, tingimento e lapidação. O Quadro 1 mostra os diferentes resíduos e sua origem no processo produtivo.

Quadro 1 – Resíduos do beneficiamento de gemas e suas origens

Processo	Resíduo	Utilização/Destino
Seleção	Gemas com baixa qualidade	Indústria local
Britagem	Fragmentos de ágata abaixo de 3 cm de diâmetro e pó de ágata	Fragmentos: utilização na indústria de bijuterias. Pó de ágata: aterros
Corte	Lama de corte (lodo contendo pó de ágata e óleo)	Óleo: Reutilizado no processo. Pó: Preenchimento em argamassas
Lavagem	Óleo, detergentes e pó de ágata	Sem estudos até o momento
Tingimento	Efluente contaminado por íons (ferro, cromo e cianeto) e corantes orgânicos	Tratamento e descarte em algumas empresas
Desbaste	Pó de ágata com o abrasivo	Pó de ágata: aterros de terrenos
Polimento	Pó de ágata e Trípoli	Pó de ágata: aterros de terrenos

Fonte: Adaptado de Silva e Schneider (2015)

Algumas indústrias produzem peças de enfeites e adornos pessoais utilizando fragmentos de gemas como ágatas, por exemplo, que não apresentam características para confecção de artefatos. O pó de ágata sem a presença de óleo geralmente é utilizado para preenchimento em aterros de terrenos e ainda empregado na construção civil como material de preenchimento em argamassas em uma concentração média de até 1,25% da massa de cimento e areia. Já, o pó de ágata com óleo residual é utilizado como agente abrasivo misturado ao pó de Trípoli. O lodo gerado no tratamento de efluentes normalmente é enviado a aterros de resíduos industriais (SILVA; SCHNEIDER, 2015).

Sindelar, Barden e Stülp (2013) evidenciam algumas particularidades no processo de beneficiamento que são importantes na análise do contexto de uma cadeia produtiva. Dentre essas peculiaridades, apontam para fragilidade e irregularidade das gemas, podendo apresentar defeitos internos só perceptíveis após o polimento, sendo necessária uma produção maior do que os pedidos, geralmente com no mínimo 100% a mais do que a quantidade solicitada. Existe ainda a diferença entre o desenho natural das gemas, tornando a peça final quase

sempre diferente uma da outra. De uma maneira geral, do total produzido pelo setor da filetagem, apenas 65% são peças em conformidade, enquanto que 35% das peças apresentam algum defeito como tamanho inadequado, peças quebradas ou trincadas, peças com tonalidade diferente da esperada, decorrente de falhas naturais, entre outros. Em alguns casos, estas peças podem ser reintroduzidas ao processo de produção, para que sejam corrigidas as falhas, ou reaproveitadas na fabricação de outras joias. Se não puderem ser aproveitadas, estas peças também são consideradas um tipo de resíduo. Dentre os resíduos gerados em todo o processo, o lodo é o mais preocupante, em especial, pelo volume gerado, visto que ao final do processo quase metade da matéria-prima transforma-se em lodo.

2.2 Resíduos sólidos

Acreditando na infinita existência de recursos naturais do planeta, o homem, desde sua existência, utilizou esses recursos sem preocupar-se com a geração de resíduos. A natureza, por sua vez, aceitava passivamente os despejos realizados. A partir da nova “era industrial”, no século XVIII, os países conceberam novos processos de produção e consolidaram suas tecnologias de exploração em massa de energia e de matérias-primas, a fim de promover o crescimento econômico a curto prazo. Em torno disso, a sociedade acompanhou essa visão capitalista de superprodução e trouxe consigo inúmeros passivos socioambientais, em que a destinação dos resíduos gerados por essa produção em massa passou a ser um problema real (CASAGRANDE et al., 2008).

Dessa forma, a disposição de resíduos passou a ser fundamental no controle da poluição, tornando necessário o desenvolvimento de mecanismos a fim de promover a conscientização e buscar soluções para a implantação de tecnologias capazes de minimizar os impactos decorrentes do gerenciamento destes resíduos, além de reduzir os custos envolvidos nestes processos (LUCAS; BENATTI, 2008).

De acordo com Norma Técnica NBR 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT),

Resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água,

aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004a, p. 1).

2.2.1 Resíduos sólidos industriais

A Resolução nº 313, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), determina que,

Resíduos sólidos industriais são todos os resíduos que resultem de atividades industriais e que se encontrem nos estados sólido, semissólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (CONAMA, 2002, p. 659).

Os resíduos sólidos industriais são originados nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como metalúrgico, químico, petroquímico, papelaria, indústria alimentícia, etc. O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas. Nesta categoria, inclui-se grande quantidade de resíduos tóxicos que necessitam de tratamento especial devido ao seu potencial de envenenamento (AMBIENTE BRASIL, 2015).

Os rejeitos gerados pelos processos de produção nas indústrias são tecnicamente denominados de resíduo e os geradores, de acordo com o “potencial poluidor pagador”, previsto na Legislação Ambiental Brasileira, são obrigados a cuidar do seu gerenciamento, transporte, tratamento e destinação final. Atualmente, existem mais de 7 (sete) milhões de produtos químicos conhecidos, e a cada ano outros milhares são descobertos, dificultando cada vez mais o tratamento efetivo do resíduo. Em muitos casos, os resíduos sólidos são simplesmente amontoados ou enterrados em locais inapropriados, os efluentes são despejados em rios e mares sem tratamento e as emissões gasosas são lançadas diretamente na atmosfera (KRAEMER, 2005).

A Norma Técnica NBR 10.004 classifica os resíduos sólidos quanto a sua periculosidade em três classes, baseada na presença de algumas substâncias perigosas relacionadas na norma e em testes laboratoriais complementares, nos quais vários parâmetros químicos são analisados nos extratos lixiviados e solubilizados dos resíduos (ABNT, 2004a).

- Classe I - perigosos: podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente por apresentar ao menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- Classe II A - não perigosos e não inertes: não se enquadram nas classificações de resíduos do tipo Classe I ou do tipo Classe III. Apresentam propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- Classe II B - não perigosos e inertes: se submetidos ao contato com água, não têm nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água definidos pelo Anexo H da Norma Técnica NBR 10.004.

Baseado na classificação da Norma Técnica NBR 10.004, o Quadro 2 apresenta alguns tipos de resíduos sólidos industriais.

Quadro 2 – Exemplos de resíduos sólidos industriais

Classe I – perigosos	Classe II – não perigosos
Aparas e retalhos com cromo	Resíduos de borracha, EVA e PU
Serragem ou farelo com cromo	Lodo de caleiro
Óleo usado	Casca de arroz
Borracha oleosa	Espumas
Lodo de Estação de Tratamento de Efluente (ETE)	Serragem de madeiras
Resíduo de lodo de tinta	Cinzas de caldeiras
Outros resíduos de processo	Escória de fundição

Fonte: Adaptado de ABETRE (2013)

A necessidade de gerenciar estes resíduos, fez com que as indústrias adotassem em seus processos sistemas de gestão ambiental constituídos de um conjunto de medidas e procedimentos que, adequadamente aplicados, visam controlar os seus impactos ambientais. Além de reduzir a contaminação ambiental,

esses princípios também contribuem para a melhoria da saúde ocupacional, da segurança dos colaboradores e de higiene de todos os participantes da empresa e dos empreendimentos em que está relacionada.

De acordo com Tocchetto (2005),

As relações ambientais entre o ecossistema e as empresas tornaram-se estáveis, no momento em que os requisitos de natureza física, química, biológica, social, econômica e tecnológica são atendidos através da qualidade ambiental (TOCHETTO, 2005, p. 6).

A partir dessa concepção evidencia-se a importância da busca por ações de cunho sustentável, tanto nas organizações, sejam elas públicas ou privadas, como em nossa sociedade.

2.2.2 Sustentabilidade e gestão de resíduos

A busca pela sustentabilidade veio com a globalização das questões ambientais, tornando-se necessária a compatibilização do desenvolvimento econômico com a preservação do meio ambiente por meio da aplicação de sistemas de gestão capazes de assegurar todas as diretrizes vitais para a preservação dos recursos naturais.

O principal conceito de sustentabilidade foi elaborado em 1987, em um documento chamado “Nosso Futuro Comum”, ou “Relatório *Brundtland*” publicado pelo *World Commission on Environment and Development* (WCED). O relatório popularizou o termo desenvolvimento sustentável e sua definição é utilizada até os tempos atuais. De acordo com o documento, sustentabilidade é a forma de desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades (DREXHAGE; MURPHY, 2010).

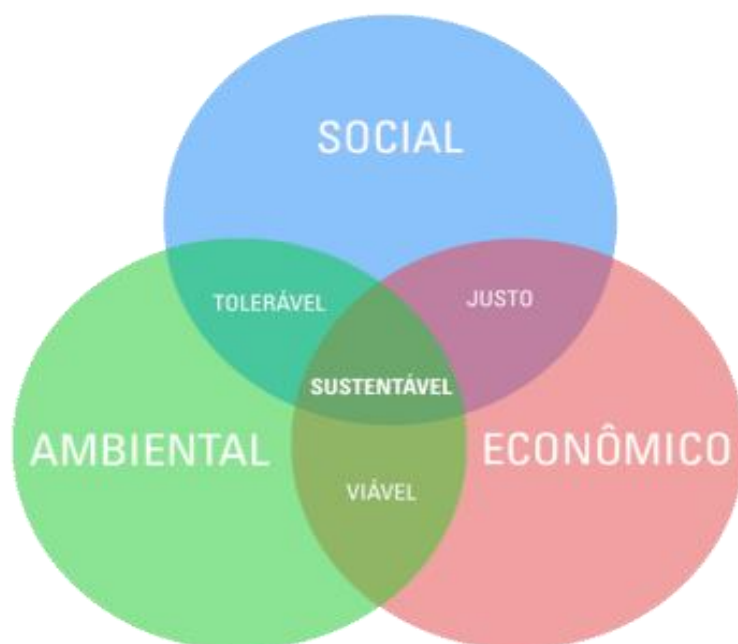
Segundo Corrêa (2009, p. 29), “o primeiro passo para a sustentabilidade na construção é o compromisso das empresas da cadeia produtiva a criarem as bases para o desenvolvimento de projetos efetivamente sustentáveis”.

Para a construção dessa base são necessárias algumas condições fundamentais que devem estar elencadas nos requisitos socioambientais. Um

desses requisitos é que se desenvolvam projetos de gestão aprimorados nas empresas, pois somente dessa forma poderá se atingir os níveis de excelência, buscando constantemente a melhoria contínua dos processos ligados ao consumo de recursos naturais, produtividade, desperdício, durabilidade, entre outros. Outro fator é a legitimidade das empresas baseada na seleção formal e consciente de fornecedores e de mão de obra, o que estimula a profissionalização na cadeia produtiva e a eliminação de empresas com baixa produtividade e detentoras de atividades ilícitas. Por fim, na construção de uma base sustentável, é indispensável que as empresas busquem constantemente inovar suas tecnologias e estudar soluções criativas para seus processos, alinhando os ganhos sociais e ambientais com os econômicos (CORRÊA, 2009).

Mais do que uma preocupação por parte das organizações, os rejeitos são produtos inevitáveis da sociedade, fazendo-se necessárias técnicas apropriadas para gerenciar estes resíduos, implicando em requisitos básicos de manejo, tais como diminuir a geração na fonte e implantar um sistema efetivo para manejar os resíduos produzidos. Esse sistema de gestão deve ser sustentável, observando os aspectos ambientais, econômicos e sociais. Um sistema sustentável de gestão dos resíduos sólidos deve, antes de tudo, atender a três aspectos: ser ambientalmente efetivo, economicamente factível e socialmente aceitável. Ambientalmente efetivos, pois o sistema de gestão de resíduos deve reduzir ao máximo os despejos ambientais associados com o manejo dos resíduos (emissões ao ar, solo e água, tais como CO₂, CH₄ e metais pesados). Economicamente factível para que o sistema de gestão de resíduos possa operar a um custo aceitável para a comunidade. Socialmente aceitável, pois o sistema de gestão de resíduos deve operar de maneira benéfica para a comunidade em geral. Estes requisitos devem estar intrinsecamente relacionados com os diferentes grupos da sociedade a fim de informar, educar, conquistar sua confiança e obter seu apoio. Dessa forma, a sustentabilidade busca compatibilizar as necessidades de desenvolvimento econômico e social com a preservação do meio ambiente, atendendo às necessidades presentes, sem comprometer a possibilidade de gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades (McDOUGALL et al., 2004). A Figura 7 demonstra o sistema da sustentabilidade ambiental.

Figura 7 – Esquemática do tripé da sustentabilidade



Fonte: Adaptado de Templum (2015)

O gerenciamento de resíduos sólidos, utilizado como principal ferramenta na preservação do meio ambiente, está assumindo um papel cada vez mais importante e complexo durante esses últimos anos. Tanto é que a marca ambiental está se tornando um argumento de *marketing* positivo e a quantidade e o nível das organizações dedicadas ao meio ambiente e a exigência de certificação ambiental às empresas brasileiras exportadoras está aumentando consideravelmente, trazendo reflexos mesmo na indústria interna. Mesmo assim, uma significativa quantidade de resíduos produzidos por indústrias de fabricação e transformação nem sempre é reaproveitada ou tem um destino ecologicamente correto (CASAGRANDE et al., 2008).

A repercussão da importância do meio ambiente dentro das organizações deve ser tratada levando em conta as questões ambientais e sociais, tendo em vista que aspecto econômico é possível de alavancar suas estratégias de negócios. A relevância destas questões ocorre somente a partir do momento em que a empresa se dá conta de que essa atividade, em vez de apenas propiciar despesas, pode transformar-se em uma oportuna ferramenta de redução de custos, além de poder reaproveitar os resíduos comercializando-os como subprodutos ou aumentando as possibilidades de reutilização, seja para a fabricação de novos componentes ou

como novas matérias-primas que resultem em produtos mais confiáveis e tecnologicamente mais limpos. Então, pode-se dizer que o grande desafio por parte das organizações, sejam elas públicas ou privadas, é o de assegurar o gerenciamento apropriado e seguro dos resíduos em todas as etapas do processo, do berço até o túmulo, passando pelas etapas de geração, caracterização, manuseio, armazenamento, coleta, transporte, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição (LOPES, 2015).

A gestão de resíduos sólidos no Brasil está passando por um período de transição de modelos tecnológicos convencionais para outros, em que alternativas mais sustentáveis estão sendo incorporadas a processos industriais como as técnicas de produção mais limpa baseadas na redução, reutilização e reciclagem de resíduos. No entanto, não se pode dizer que a velocidade e a amplitude dessa transição sejam satisfatórias. É fundamental a educação ambiental dos gestores para que se tenha acesso ao conhecimento e informação que permitam a implantação de um sistema sustentável. Assim, o setor empresarial precisa internalizar a ecoeficiência em seus processos produtivos e prover condições de logística reversa, não somente dos resíduos perigosos, mas também para resíduos de embalagens. Para que se desenvolva cada vez mais esse cenário sustentável é fundamental que os governantes cumpram o seu papel de organizadores, facilitadores, fiscalizadores e reguladores, no qual devem fomentar e interagir com a sociedade em geral para que de forma democrática e participativa se construam os planos de gestão ambiental integrada (ZANTA, 2014).

2.2.3 A reutilização de resíduos industriais

O entendimento da sociedade e do poder público de que os recursos naturais não são mais provenientes de fontes inesgotáveis é fundamental para que se pense em formas de tratamentos de resíduos. A falta de locais adequados e o alto custo de destinação dos rejeitos gerados nas indústrias têm obrigado estas corporações a buscarem soluções internas para os seus rejeitos. Dar um destino correto a estes subprodutos constitui um desafio para todos os envolvidos. A alta competitividade do mercado, os custos operacionais e a busca por soluções estratégicas têm feito estas mesmas empresas tratar seus resíduos como subprodutos com maior valor

agregado que podem ser utilizados como matéria-prima em outros processos (BRASIL, 2004).

Em média, as indústrias de extração e transformação no Brasil, passando pelos setores da construção civil e da agricultura, produzem cerca de 400 milhões de toneladas de resíduos por ano e 80% destes rejeitos não podem ser reciclados ou incinerados, pois apresentam algum elemento tóxico em sua composição. Devido à heterogeneidade destes rejeitos, se faz necessário um conjunto de procedimentos ambientais que são possíveis de serem realizados de acordo com o tipo de resíduo: redução, reutilização, reciclagem, incineração e recuperação da energia incorporada e disposição em aterros sanitários. Contudo, a incineração e a disposição são formas de tratamento a serem evitadas, pois podem causar danos ambientais irreversíveis e ocupar indevidamente o solo. Já o desenvolvimento de processos de reciclagem e reutilização permite o encerramento do ciclo produtivo, reduzindo o consumo energético ao nível da extração e transformação de matérias-primas, assumindo estes resíduos e subprodutos como matérias-primas para novos produtos, iniciando-se assim um novo ciclo de vida do produto (EIRES, 2006).

A busca do mercado pelo desenvolvimento de produtos com propriedades melhoradas tem incentivado as pesquisas na aplicação de materiais de baixo custo através da análise da possibilidade do reaproveitamento de resíduos industriais. Muitas destas pesquisas revelam a importância da reutilização na proteção ambiental e no desenvolvimento tecnológico, contemplando a utilização de resíduos ou subprodutos com maior valor agregado, visando a sua transformação em bens úteis para a sociedade e a proteção do meio ambiente (CASAGRANDE et al., 2008).

De acordo com Tchobanoglous, Burton e Stensel (2003), a reutilização é um tipo de tratamento em que os rejeitos de quaisquer processos podem ser utilizados mais de uma vez, na mesma função ou não, diferentemente da reciclagem, que consiste na reintrodução do produto na cadeia produtiva, dando origem a um produto diferente do inicial, mas com características similares ao do produto original. A reutilização por si só não resolve os problemas relacionados ao resíduos, mas contribui significativamente na sua gestão, por aproveitar matérias-primas diminuindo a exploração de recursos naturais necessários para a produção de bens e produtos. É fundamental que a reutilização seja incentivada ao mais alto nível, pois

muitos rejeitos provenientes de atividades industriais, estabelecimentos comerciais e de residências podem ser utilizados como matéria-prima para outras indústrias. É possível listar uma série de vantagens decorrentes deste sistema de tratamento de resíduos:

- Minimização de resíduos para deposição final;
- Aumento da flexibilidade dos aterros sanitários;
- Melhoramento das condições de saúde;
- Redução dos impactos ambientais;
- Economia de energia e de recursos naturais.

A reutilização de subprodutos como forma econômica sustentável depende, sobretudo, de medidas governamentais, especialmente no início da gestão, onde se fazem necessárias ações públicas como incentivos fiscais às indústrias que utilizam material reciclado ou não convencional numa percentagem mínima, incentivos para a coleta seletiva, incentivos à parcerias entre indústria, comércio e consumidores, taxaço de produtos de baixa vida útil e taxaço extra na deposição de recicláveis em aterros sanitários, onerando os seus detentores privados ou públicos (TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2003).

2.2.4 Materiais não convencionais

A inserção de materiais não convencionais na composição de novos produtos vai ao encontro dessa pesquisa, pois se trata de uma forma de reutilização de um tipo de resíduo, já com valor agregado, que normalmente não seria utilizado dentro da cadeia produtiva. Eires (2006) define:

Os materiais não convencionais são considerados materiais ecologicamente corretos e consistem essencialmente em antigos materiais tradicionais que deixaram de ter o mesmo nível de utilização, sendo atualmente considerados não convencionais, e em materiais compósitos à base de matérias vegetais ou de resíduos. Estes baseiam-se sobretudo no uso de materiais locais, como a terra, e na utilização ou reciclagem de resíduos industriais, como o papel, ou agroindustriais, materiais de origem biológica, como as fibras de cânhamo o bambu ou a palha (EIRES, 2006, p. 15).

De acordo com Lyra (2007), os materiais não convencionais vêm surgindo como alternativa na construção civil devido principalmente ao crescimento da industrialização e, conseqüentemente, à exploração exacerbada dos recursos naturais. Ao mesmo tempo, as técnicas de construção foram tornando-se antigas e obsoletas, sendo substituídas por novas técnicas com maior produtividade e rentabilidade. Junto a estas novas técnicas de produção, surgiram novas possibilidades de adequação destes materiais não convencionais para usos que respeitem, não apenas a eficiência econômica, como também a eficiência funcional e ambiental. Algumas vantagens da utilização de materiais não convencionais são:

- Baixo custo da matéria-prima no desenvolvimento de alguns tipos de produtos;
- Otimização dos processos produtivos com a minimização no uso de equipamentos;
- Reaproveitamento de materiais locais, de uma região próxima, ou do próprio canteiro de obras para a construção;
- Contribuição para o reaproveitamento e para a reciclagem de resíduos industriais.

Ainda segundo Lyra (2007), o emprego de materiais não convencionais nos processos produtivos contribui tanto na redução de resíduos gerados como na correta disposição dos mesmos. Sua utilização é viável em produções de larga escala e, além disso, substitui boa parte dos insumos naturais, como os agregados usados no concreto, diminuindo o impacto causado pela extração de matéria-prima proveniente de jazidas.

Fundamentadas na necessidade de recuperar os impactos causados por atividades antrópicas, pesquisas multidisciplinares na área ambiental desenvolvem ferramentas estratégicas que buscam meios para inserir novas tecnologias construtivas, utilizando materiais mais eficazes e baratos para as obras públicas e privadas. Devido ao fato do concreto ser elemento básico e necessário nas construções, o uso destes materiais na produção de artefatos de concreto é cada vez mais comum e as pesquisas voltadas à substituição de agregados naturais

abrangem os mais variados tipos de rejeitos oriundos de diferentes processos produtivos. Um destes artefatos, nos quais podem ser incorporados os mais variados tipos de materiais não convencionais é o piso de concreto intertravado, usualmente chamado *paver*. Este produto é uma alternativa ecológica e economicamente viável para a pavimentação de ruas e calçadas. Possui um sistema de implantação versátil, adequando-se a qualquer tipo de trânsito, e tem a capacidade de absorver uma parcela das águas pluviais, contribuindo para a recarga dos aquíferos subterrâneos. Como produto alternativo no âmbito da Engenharia Urbana, permite incorporar em sua produção materiais provenientes de processos de reciclagem (LYRA, 2007).

2.3 Pavimentos intertravados de concreto

Os pavimentos intertravados tiveram sua origem nos pavimentos construídos com pedras, executados na Mesopotâmia há quase 5.000 anos a.C. e muito utilizados pelos romanos desde 2.000 a.C. Primeiramente, este tipo de pavimento foi utilizado como pedras talhadas, resultando em pavimentos conhecidos como paralelepípedos. As dificuldades em se produzir essas pedras de forma artesanal impulsionaram o desenvolvimento das peças de concreto pré-fabricadas. Após a Segunda Guerra Mundial, os pisos de concreto passaram a ser produzidos em larga escala em fábricas maiores, principalmente na Alemanha, tomando impulso na década de 70, quando chegaram ao Brasil (ABCP, 2010).

Atualmente, os pavimentos de concreto estão inseridos em quase todos os nichos da engenharia, por todo o mundo, em maior ou menor quantidade, sendo utilizados na pavimentação de pátios, calçadas, praças, ruas, rodovias, pisos industriais, portos e aeroportos. No fim da década de 70, os sistemas de fabricação de blocos e pisos de concreto se multiplicaram e cerca de 200 tipos de formas e diversos tipos de equipamentos de fabricação passaram a ser comercializados. No início da década de 80, a produção anual destes produtos ultrapassava 45 milhões de metros quadrados, sendo 66% deste total destinados à pavimentação urbana. A indústria mundial deste setor, no final da década de 90, chegou a impressionante marca de uma produção de 100 m² por segundo. Nos Estados Unidos, a quantidade em metros quadrados de pavimentos fabricados dobra a cada cinco anos. A indústria de pavimentos intertravados de concreto cresce significativamente a cada

ano em todo o mundo (SMITH, 2003). O que antes era utilizado apenas como material decorativo em áreas paisagísticas há algum tempo começou a ser utilizado como material versátil que possibilita a harmonização com qualquer tipo de ambiente, inclusive o rodoviário e o industrial (FIORITI; INO; AKASAKI, 2010).

Segundo a Norma Técnica NBR 9.781, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o conceito de pavimento intertravado é:

Pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção (ABNT, 2013, p. 2).

De acordo com a Norma Técnica NBR 15.953, as peças de concreto que revestem este tipo de pavimento são peças pré-moldadas, fabricados a partir de uma mistura de cimento, areia, brita e água, que possuem a finalidade de servirem como superfície de calçamento ou pavimentação de calçadas e ruas. Devem apresentar uma superfície com acabamento confortável para o tráfego de pessoas e veículos ao mesmo tempo em que suportem as cargas que lhes são aplicadas. A Figura 8 exemplifica uma seção típica de um pavimento intertravado (ABNT, 2011).

Figura 8 – Pavimento intertravado



Fonte: Marchioni (2012, p. 27)

Os pisos intertravados de concreto são uma alternativa viável para pavimentação por ser um material de aplicação versátil, de fácil adequação ao trânsito de pedestres, veículos leves e pesados. Este tipo de pavimento pode ser

aplicado para diversos fins, tendo como particularidade o poder de absorção de uma parcela das águas pluviais, diminuindo a carga do sistema de drenagem urbana e contribuindo para a recarga dos aquíferos subterrâneos. A tecnologia de fabricação destes produtos possibilita a incorporação de materiais não convencionais em sua composição, podendo até melhorar a sua qualidade. No entanto, se torna necessário o atendimento a especificações técnicas que determinem valores de resistência à compressão para as diversas aplicações propostas (LYRA, 2007).

2.3.1 Método de produção de pisos intertravados de concreto

O piso intertravado de concreto pode ser fabricado de três formas distintas. A primeira e mais simples é a forma em descanso, em que o concreto é feito manualmente e derramado em moldes de plástico, aço ou fibra, onde permanece de um dia para o outro, até a desmoldagem. Este método utiliza pouco cimento devido ao uso de agregado graúdo, porém tem baixa produtividade e a necessidade de muitos moldes para a produção. A segunda maneira de se produzir os pisos de concreto é conhecida como sistema batido ou virado. Este processo é mais prático e rápido do que o primeiro e consiste na mistura do concreto em uma betoneira e o posterior enchimento em formas metálicas ou de fibra. Diferentemente do sistema de descanso, após o enchimento as formas são imediatamente viradas para baixo sobre uma superfície plana para a desforma. Neste método o consumo de cimento também é menor, porém o acabamento das peças apresenta muitas imperfeições, uma vez que são desformadas ainda no estado fresco. O último e mais utilizado é o sistema prensado ou vibro prensado que pode ser feito de forma manual ou automatizada, respectivamente. Este processo oferece mais qualidade no produto, melhor acabamento e maior produtividade, porém maior consumo de cimento, além de requerer um maior investimento em equipamentos (DI GREGORIO, 2012). A Figura 9 mostra as principais formas de produção de *pavers*.

Figura 9 – Sistemas de fabricação de *pavers* tipo descanso (a), virado (b) e vibro prensado (c).

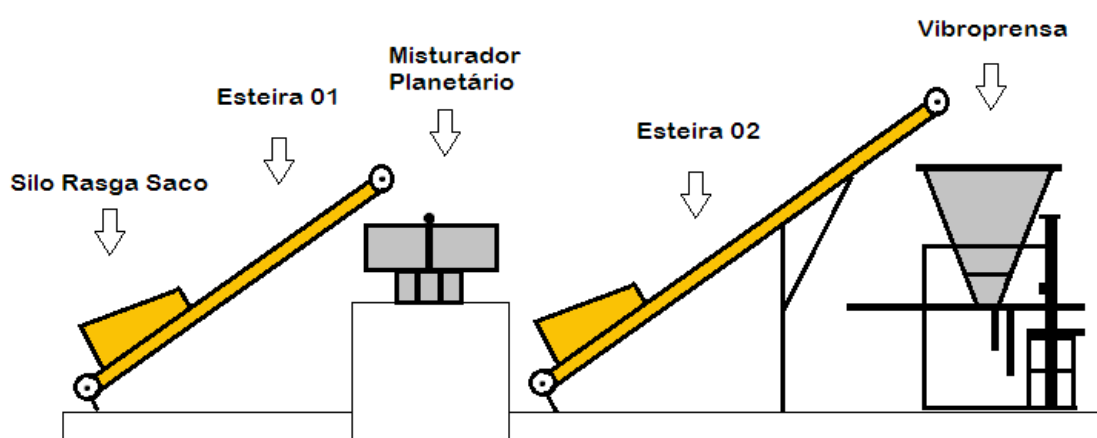


Autor: ABPC (2015)

Para alcançar um produto de alta qualidade e com boa produtividade no sistema prensado é necessário seguir um processo padronizado de produção e de equipamentos de alto desempenho. Antes de cada batelada de produção, os agregados e insumos devem ser analisados em relação à sua granulometria, dosagem da mistura seca dos materiais e umidade dos agregados, adequando suas características físicas de acordo com a relação água/cimento pré-determinada. O processo de produção é iniciado com a adição dos insumos em um silo, colocando os agregados e o cimento que são transportados até o misturador, onde são adicionados a água e os aditivos. A quantidade de água adicionada na mistura proporciona um teor de umidade que varia entre 5% a 8%, deixando essa massa com um aspecto de concreto seco. Em seguida, a argamassa formada dessa mistura é transportada por correia até a máquina vibro prensa. Este equipamento é composto por um sistema integrado de vibração e compressão da massa formada nas fôrmas instaladas de acordo com o piso desejado, garantindo uma maior

densidade e resistência dos produtos. Após a prensagem e desforma, os pisos produzidos são distribuídos em “paletes”, onde permanecem, até o final do processo de cura. Durante a cura, as peças recebem hidratação em câmaras úmidas ou por meio de dispersão de água sobre os lotes. Concluído o processo de cura, que dura até 28 dias, dependendo do tipo de cimento utilizado, os pisos estão prontos para a comercialização (LYRA, 2007). A Figura 10 apresenta um esquema do processo produtivo dos pisos intertravados de concreto, no sistema de prensagem.

Figura 10 – Processo produtivo do piso intertravado de concreto – prensagem



Fonte: Do autor

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), as peças de concreto produzidas devem ser resistentes e uniformes, atendendo às especificações técnicas das seguintes normas: ABNT NBR 9.780 – Peças de Concreto para Pavimentação: determinação da Resistência à Compressão (Método de ensaio) e NBR 9.781 – Peças de Concreto para Pavimentação: especificação. Podem apresentar formatos e cores variadas, dependendo das formas e dos pigmentos colocados (ABCP, 2010). A Figura 11 mostra alguns tipos de peças de concreto fabricados pelo sistema de prensagem. Em destaque, o bloco estrutural, utilizado para a construção de muros, casas e prédios, e os pavimentos modelos “holandês” e “*unistein*”, usados na pavimentação de calçadas, pátios e ruas.

Figura 11 – Tipos de peças de concreto



Fonte: Do autor

2.3.2 Características sustentáveis dos pisos intertravados de concreto

Comparando-se com pavimentos tradicionais, como o asfalto, por exemplo, o piso de concreto pré-moldado é menos prejudicial ao meio ambiente. Apesar de a matéria-prima ser proveniente de recursos naturais como jazidas, de onde se extrai a brita e de rios, de onde se retira a areia, estes artefatos, diferentemente da massa asfáltica, não têm derivados de petróleo em sua composição. Além disso, o pavimento intertravado tem a capacidade de poupar energia elétrica, pois devido sua coloração, reflete a luz solar em até 30% se comparado ao pavimento flexível. O piso de concreto intertravado é de fácil aplicação, com liberação de trânsito imediato, e pode ser instalado e removido a baixos custos, permitindo que obras de manutenção e infraestrutura sejam realizadas sem danificar o piso, além de não gerar resíduos sólidos e não exigir insumos para sua recomposição. Do ponto de vista arquitetônico e paisagístico, as formas, cores e texturas versatilizam a composição de paisagens urbanas e a sinalização das ruas pode ser incorporada ao próprio pavimento. A permeabilidade deste tipo de pavimento reduz os impactos naturais resultantes de mudanças climáticas e da urbanização não planejada e, devido a sua capacidade de drenagem, permite a infiltração da água, colaborando com o escoamento das águas superficiais (ABCP, 2011).

2.3.3 Insumos e agregados utilizados na produção de *pavers*

A qualidade do piso de concreto produzido não está relacionada apenas nas boas práticas de produção ou na eficiência do processo, mas também nas características específicas das matérias-primas. Informações sobre a origem e conhecimento da qualidade destes materiais são fatores importantes para que se possa fabricar um produto uniforme e de acordo com a legislação específica.

2.3.3.1 Cimento *Portland*

O cimento é um dos mais importantes materiais do setor da construção civil e que possui um vasto campo de aplicação, como por exemplo, produção de concreto, cimento-solo, peças pré-moldadas, entre outras. É um material pulverulento, constituídos de silicatos e aluminatos de cálcio que, ao serem misturados com água, sofrem hidratação e endurecem a massa oferecendo resistência mecânica. Existem cimentos de cura rápida, cimentos com diferentes misturas, cimentos puros, cada um com uma determinada particularidade e aplicação específica (ABCP, 2010).

De acordo com Di Gregório (2012), os cimentos mais indicados para a produção de pisos de concreto são do tipo V (ARI), de alta resistência inicial, e da classe 40 (40 MPa), com alta resistência final. O cimento deve estar livre de umidade até sua utilização. Por isso os sacos devem ser estocados em pilhas com no máximo 10 unidades, afastados do chão e das paredes, sobre estrados e logisticamente organizados, observando-se a data de validade.

2.3.3.2 Areia natural e areia artificial

A areia natural é um agregado extraído de rios, lagos ou cavas que faz parte da composição do concreto com a principal finalidade de melhorar a trabalhabilidade da mistura. A areia artificial, ou pó de pedra, é um agregado industrializado produzido a partir da moagem de rochas geralmente de basalto ou granito. Em alguns casos, quando possui excelente granulometria e formato de grão, pode ser utilizada, com controle, na produção de *pavers*. Porém, quando apresenta variação de granulometria, a sua utilização na produção destes artefatos é cautelosa. A areia utilizada na fabricação de pisos de concreto, seja ela natural ou artificial, deve ser

isenta de impurezas, como pó, torrões de argila, matéria orgânica, gravetos, entre outras. Deve ter uma boa distribuição granulométrica com grãos de tamanhos diferentes para que o consumo de cimento seja reduzido no processo. Quando a areia artificial possui material muito fino, com dimensão passando na peneira 0,074mm, o pó acaba absorvendo a umidade da mistura e prejudicando a hidratação do cimento, reduzindo a resistência do concreto. Entretanto, caso a areia natural utilizada seja do tipo grossa, a adição de 10% a 30% de pó de pedra pode ajudar a aumentar a coesão da mistura, ou seja, quando o pó de pedra possui uma quantidade balanceada de finos, ele funciona como uma areia artificial, que atua bem com o pedrisco ou com a areia grossa (FERNANDES, 2008).

2.3.3.3 Pedrisco

O pedrisco é um agregado artificial produzido a partir da britagem de rochas geralmente do tipo basalto ou granito. É basicamente uma brita de tamanho reduzido, utilizado na fabricação de artefatos de concretos como vigas, tubos, canaletas, postes, blocos e pisos de concretos. Deve ter um diâmetro máximo de 9,5 mm, sendo que para pisos intertravados e para os blocos que ficarão aparentes, esse tamanho é de 6,3 mm. Quanto maior o teor de pedrisco, menor o consumo de cimento em um artefato com mesma resistência. Pedriscos de diâmetro máximo superior a 9,5mm limitam o percentual de adição em 25% da mistura para blocos e 20% para pisos intertravados. Os pedriscos mais finos permitem chegar a 50% de adição nos blocos e 30% nos intertravados. Assim como a areia, o pedrisco não deve conter resíduos de sais para não prejudicar as reações de hidratação do cimento (FERNANDES, 2008).

2.3.3.4 Água

A água é um componente da mistura da massa de concreto que tem a finalidade de participar da reação de hidratação do cimento. A sua importância é fundamental na resistência do concreto seco. A água de amassamento deve ser de boa qualidade para evitar perdas de resistências e manchas de superfície nas peças produzidas. Deve ser isenta de matéria orgânica e não pode ter excesso de substâncias inorgânicas (NEVILLE, 2015).

2.3.3.5 Aditivos

Os aditivos, segundo a Norma Técnica NBR 11.768 (ABNT, 1992, p. 1), são “produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”. Para a produção de pisos de concreto com a utilização de uma massa seca, os aditivos mais utilizados são os que possuem a finalidade de facilitar a compactação da mistura sem alterar o teor de umidade. Nesta categoria estão enquadrados os aditivos químicos tensoativos, ou surfactantes, que atuam no sistema cimento-água agindo diretamente na tensão da água adsorvendo na superfície das partículas de cimento (FERNANDES, 2008).

Basicamente, existem dois tipos de surfactantes que podem ser adicionados na mistura da massa de concreto seco: os incorporadores de ar, que promovem a formação de bolhas de ar aumentando a coesão e a plasticidade do concreto, e os redutores de água, que atuam como plastificantes, diminuindo a tensão superficial da água circundante e aumentando a fluidez da mistura (METHA; MONTEIRO, 2008).

2.3.3.6 Pigmentos

Com o principal objetivo de proporcionar uma maior variedade de cores, a mistura da massa seca de concreto pode receber a adição de pigmentos orgânicos ou minerais. Os teores de pigmentos da massa do cimento normalmente variam entre 3% e 5% e as cores mais comuns para o piso de concreto são o preto e tons de vermelho e amarelo, feitos à base de óxidos de ferro. Outras cores que podem ser utilizadas são o azul e verde, que são produzidas à base de cobalto e cromo, respectivamente. A utilização destes pigmentos não compromete a durabilidade do concreto, podendo ocasionalmente ocorrer pequenas alterações na trabalhabilidade, mas que pode ser corrigida com aditivos (MARCHIONI, 2012).

2.3.4 Características dos agregados e sua importância

A qualidade do produto acabado não depende apenas da eficiência do processo produtivo, mas também de controles da matéria-prima, em todo o seu ciclo

de vida. As características destas matérias-primas são fundamentais para que o produto seja uniforme e esteja de acordo com as legislações pertinentes. Os agregados são materiais sem forma e volume definidos e ocupam de 60 a 80% do volume total do concreto. Portanto, sua qualidade é de suma importância para a qualidade final do produto (GOERGEN, 2006).

Para garantir que os agregados possam ser utilizados na composição da massa de concreto sem comprometer a qualidade do produto fabricado é fundamental que ensaios de caracterização sejam realizados antes da etapa composição do traço. Os principais ensaios realizados são:

- Composição granulométrica: este ensaio tem como objetivo classificar as partículas de uma amostra através de seus respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. A classificação dos agregados e dos resíduos já processados é determinada comparando sua composição granulométrica com faixas granulométricas específicas (ABNT, 2003a);
- Massa unitária de agregado em estado solto: a massa unitária de um agregado é a relação entre sua massa e seu volume sem compactar, considerando-se como volume os vazios entre as partículas. Esse parâmetro é importante para que não se tenha problemas na relação volume X massa do concreto (ABNT, 1982);
- Determinação do teor de material pulverulento: o método permite determinar, por lavagem, a quantidade de material mais fino que a abertura da malha da peneira de 0,075 mm presente nos agregados graúdos e miúdos. O excesso deste material prejudica a aderência entre a pasta de cimento e a argamassa, aumenta o consumo de água devido a sua alta superfície específica, acarretando diminuição da resistência de concretos e argamassa (ABNT, 2001a);
- Teor de argila em torrões e materiais friáveis: este ensaio permite avaliar a qualidade dos agregados e dos resíduos, com relação à contaminação por grãos pouco resistentes, que trazem prejuízo à resistência do concreto e

também a sua aparência, além de poderem produzir manchas na superfície das peças fabricadas (ABNT, 1987);

- Massa específica, massa específica aparente e absorção do agregado graúdo: estes ensaios são realizados somente nos agregados graúdos. A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água. A massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis à água. Os volumes dos agregados são determinados em balança hidrostática, pela diferença de massa do material ao ar e do material submerso. A absorção é o aumento de massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis pela água, expressa em porcentagem de sua massa seca. Todas essas propriedades são fundamentais na dosagem do concreto (ABNT, 2003b);
- Massa específica, massa específica aparente e absorção do agregado miúdo: esses ensaios são realizados somente nos agregados miúdos. Os ensaios são idênticos aos realizados nos agregados graúdos (ABNT, 2003c);
- Impurezas orgânicas em agregados miúdos: esta análise é realizada somente na areia natural e serve para avaliar a qualidade da areia com relação à contaminação com impurezas orgânicas, as quais, conforme sua natureza e teor podem prejudicar a resistência do concreto, principalmente nas primeiras idades (ABNT, 2001b);
- Umidade natural dos agregados: como a areia natural é proveniente de rio, cava ou lagoa, a água está presente naturalmente. Na produção de pedrisco e areia artificial usa-se aspersão de água para não causar poeira, além de que o local de estocagem é a céu aberto, o que torna a água também presente nesses materiais. Com isso, deve-se ter o controle de umidade dos agregados para que se faça a devida correção na preparação das dosagens.

–

2.3.5 Adições minerais nas formulações de concreto

Adições minerais podem ser feitas ao concreto com o objetivo de melhorar o controle de eflorescência, além de aumentar a resistência à abrasão e à compressão. Os minerais adicionados são materiais com área específica elevada, com ou sem atividade pozolônica (CRUZ, 2003).

De acordo com o estudo de Carmo e Portella (2008), a incorporação destes materiais pode ser classificada em função da sua composição química e mineralógica em:

- Escória granulada de alto-forno: pertence ao grupo dos silicatos vítreos e contém cálcio, magnésio, alumínio e sílica. Possui tamanhos médios de partículas menores do que $45\ \mu\text{m}$ e finura *Blaine* de $500\ \text{m}^2/\text{kg}$;
- Cimentante e pozolânico ou cinzas volantes: contém alto teor de óxido de cálcio $>10\%$. De 10% a 15% da distribuição média do tamanho de partículas é maior do que $45\ \mu\text{m}$, com finura *Blaine* entre $300\ \text{m}^2/\text{kg}$ e $400\ \text{m}^2/\text{kg}$. Pertence ao grupo dos silicatos vítreos contendo, cálcio, magnésio, alumínio e álcalis. A pequena quantidade de matéria cristalina presente consiste, geralmente, de quartzo e aluminatos de cálcio;
- Pozolanas comuns: constituídas por cinzas volantes de baixo teor de cálcio $< 10\%$ e por materiais naturais com teores entre 15% e 30% de partículas com diâmetro médio $>45\ \mu\text{m}$, e finura *Blaine* entre $250\ \text{m}^2/\text{kg}$ e $350\ \text{m}^2/\text{kg}$. São silicatos vítreos de alumínio, ferro e álcalis. A pequena quantidade de matéria cristalina presente consiste em quartzo, mulita, silimanita, hematita e magnetita. A maior parte das partículas são esferas sólidas com textura rugosa e diâmetro médio da ordem de $20\ \mu\text{m}$;
- Altamente pozolânicas: possuem como representantes atuais: (a) sílica ativa, na forma amorfa e com diâmetro médio de partículas entre $0,1\ \mu\text{m}$ e $5,5\ \mu\text{m}$; (b) cinza de casca de arroz produzida por combustão controlada, com diâmetro médio de partículas da ordem de $1,5\ \mu\text{m}$ e superfície específica de $16.800\ \text{m}^2/\text{kg}$. Têm grande potencial de uso no Brasil, uma vez que seu teor na casca do arroz beneficiado pode chegar a

aproximadamente, 4% em peso; (c) metacaulim com superfície específica em torno de 60.000 m²/kg e com partículas altamente lamelares.

Thomas (2013) diz que pozolana pode ser um material fino, silicoso ou sílico-aluminoso, com pouca ou nenhuma propriedade cimentante, que na presença de umidade, reage quimicamente com hidróxido de cálcio formando compostos com propriedades cimentantes. Netto (2006) entende que os materiais pozolânicos podem ser divididos em naturais e artificiais, sendo que pozolanas naturais são aquelas de origem vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido (65% de SiO₂) ou de origem sedimentar com atividade pozolânica. Já as pozolanas artificiais são resultantes de processos industriais ou provenientes de tratamento térmico com atividade pozolânica, sendo divididas em argilas calcinadas, cinzas volantes e outros materiais.

A introdução de pozolanas altamente reativas no concreto altera suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. No estado fresco, o consumo de água aumenta em argamassas e concretos para uma determinada consistência. Em estudos com teores de adição de sílica ativa da ordem de 2% a 3%, em relação à massa do cimento, foram averiguados aumentos na trabalhabilidade do concreto, o que se atribuiu à forma esférica do material pozolânico. Com a substituição em massa de cimento por pozolanas com menor massa específica, tem-se o aumento da quantidade de pasta, o que resulta numa melhoria do aspecto reológico da mistura. Esta melhoria está diretamente relacionada ao menor diâmetro das partículas destas pozolanas, uma vez que reduzem o tamanho e o volume dos vazios. No estado endurecido a ação química e física das pozolanas de alta reatividade produz, normalmente, a melhoria da resistência à compressão e a durabilidade do concreto devido, principalmente, ao processo de refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta de cimento hidratada (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De maneira geral, de acordo com Carmo e Portella (2008), os principais benefícios decorrentes da adição de pozolanas em concreto podem ser de magnitude tecnológica, resultando na redução do consumo de água e no aumento da trabalhabilidade e da durabilidade do produto; econômica, pois diminui o consumo do aglomerante hidráulico; e ecológica, uma vez que grande parte das

pozolanas provém de resíduos de processos industriais, cujo destino é o aterro sanitário.

2.3.6 Dosagem da massa de concreto seco

A mistura da argamassa utilizada para a produção de blocos e *pavers* consiste basicamente em definir a proporção de cada um dos materiais disponíveis para produzir as peças com a qualidade e a produtividade necessárias. O traço do concreto é uma forma de expressar as quantidades relativas de insumos e agregados, em massa ou em volume, que fazem parte da mistura de massa seca em relação à quantidade de cimento (TANGO, 1994). O principal desígnio da formulação do concreto seco é obter a qualidade adequada ao produto final e atender aos requisitos de coesão e trabalhabilidade no estado fresco do produto de forma mais econômica (DOWSON, 1980).

O principal desafio é atingir a mais alta compactação possível, a fim de obter um material com resistência mecânica adequada e menos poroso, resultando em maior durabilidade. Para isso é essencial que a mistura tenha máxima densidade, fator esse que está diretamente relacionado à correta seleção dos agregados. O teor de umidade é outro fator que influencia na compactação das peças produzidas que, por sua vez, depende do tipo de equipamento utilizado. Equipamentos com menor eficiência de compactação exigem misturas com mais água para atingir a compactação necessária. A quantidade de cimento utilizada no traço depende das características dos agregados e da eficiência do equipamento, sendo que para atingir uma determinada resistência mecânica o teor de cimento é reduzido à medida que a eficiência do equipamento aumenta (FERNANDES, 2008).

De acordo com o trabalho de Marchioni (2012), várias metodologias de diferentes autores são utilizadas tanto para a formulação de blocos estruturais como de pisos de concreto. As mais comuns são aquelas de fabricantes de equipamentos, como o método proposto pela *Columbia* e pela *Besser Company* e também os métodos propostos pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o método IPT/USP adaptado para concreto seco e o método proposto por Dowson.

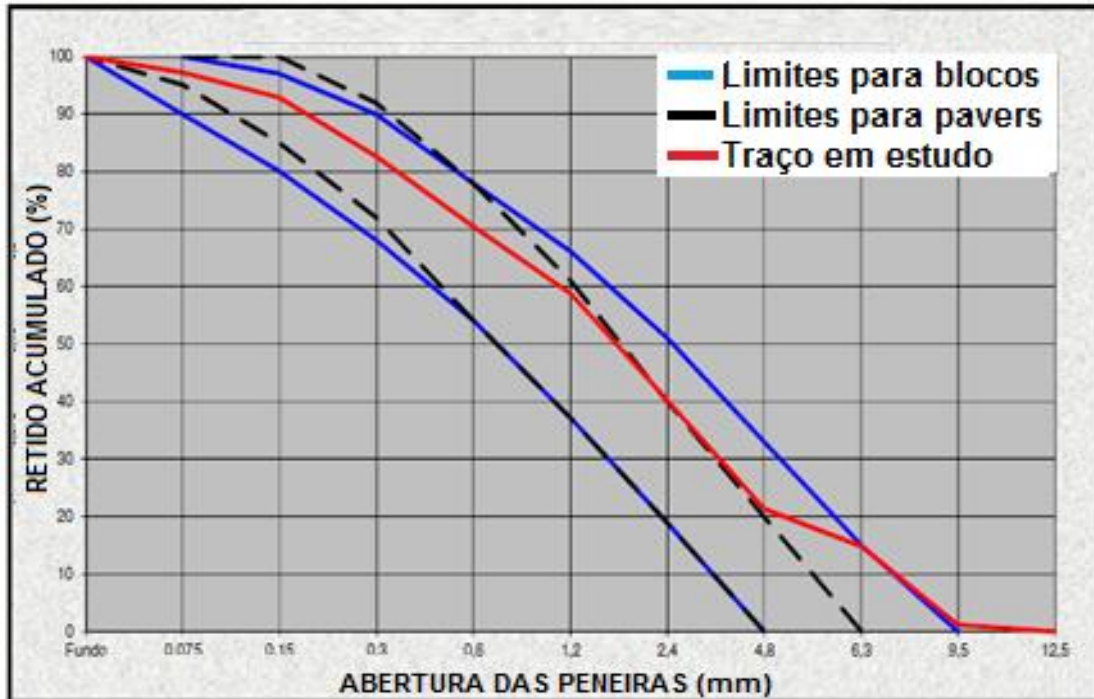
Os métodos *Columbia* (COLUMBIA, 1969) e *Besser Company* (PFEIFFENBERGER, 1985) consistem em encontrar agregados que estejam dentro de uma faixa granulométrica considerada ideal, indicada pelo fabricante. Essa faixa de granulometria é resultado da experiência do fabricante e com ela é possível fabricar um produto de boa trabalhabilidade e com aparência e resistência mecânica adequada.

O método da ABCP (FERREIRA JÚNIOR, 1995) consiste em selecionar de forma empírica a proporção dos agregados com o máximo de compactidade. Para se chegar a essa formulação os agregados passam por ensaios de determinação da sua composição, determinação da quantidade de água e determinação da quantidade de cimento. Este método é simples e se baseia na tentativa e erro, sem fundamentos científicos para obter a composição granulométrica ideal.

O método IPT/USP (TANGO, 1994) é mais complexo e utiliza relações matemáticas entre agregados graúdos e miúdos em relação ao cimento. O método adaptado por Tango é mais empírico e é composto por seis passos: ajustes dos agregados, estabelecimento da resistência média desejada, estimativa dos teores agregado/cimento, determinação da proporção de argamassa e umidade ótima, confecção de misturas experimentais e traçado do diagrama de dosagem.

Por fim, o método de *Dowson* (DOWSON, 1980) se baseia em um ajuste dos agregados em uma curva granulométrica com a utilização de um equipamento para medição de vazios, resultando dessa forma em uma peça mais compacta. A Figura 12 representa um traço granulométrico padrão resultante da formulação adequada de agregados para a fabricação de blocos e *pavers*. O traço é referência para produtos que utilizam o sistema *Columbia* de produção.

Figura 12 – Faixa granulométrica indicada na formulação de blocos e *pavers*



Fonte: Adaptado de Fernandes (2008)

Na Figura 12 se observa os limites superiores e inferiores para blocos e *pavers*, na cor azul e na cor preta, respectivamente. O traço vermelho representa a faixa granulométrica ideal que se busca no método de mistura do tipo *Columbia*.

2.3.7 Traços de concreto seco

O traço de um concreto de massa seca ou popularmente chamado de “farofa” depende tanto das características físicas, ou seja, da qualidade dos agregados e dos blocos que se deseja obter, como também dos recursos humanos e mecânicos envolvidos no processo de fabricação de pisos intertravados. A resistência do cimento e a umidade são características que alteram constantemente e, por esse motivo, de acordo com o estudo de Di Gregório (2012),

[...] infere-se que a dosagem racional aplicada ao concreto plástico não pode ser aplicada com segurança da dosagem do concreto seco ou “farofa” e a indicação do traço acaba sendo em grande parte empírica, buscando-se obter as resistências necessárias (DI GREGÓRIO, 2012 p. 19).

A Tabela 3 mostra uma sugestão empírica de traço aproximado em massa para a fabricação de piso intertravado de concreto, pelo método vibro-prensado com a utilização de equipamento hidráulico.

Tabela 3 – Traços empíricos para a fabricação de *pavers* com resistência à compressão de 35 e 50 MPa

Materiais	Resistência (MPa)	
	35,0	50,0
Cimento (kg)	50	50
Areia (kg)	225	185
Pedrisco (kg)	75	65
Traço	1:6	1:5
Volume aproximado (L)	200	180

Fonte: Adaptado de Di Gregório (2012)

Para Fernandes (2008), a homogeneidade do concreto e a produção de peças dentro de uma qualidade padronizada dependem principalmente da medição correta dos materiais estabelecidos na dosagem da massa. Os produtos fabricados com massa seca precisam ser suficientemente coesos desde sua fabricação até o seu endurecimento, para que não sofram danos na desforma, transporte e armazenamento. Essa coesão depende da quantidade correta de cada material, onde os finos são responsáveis por proporcionar liga na massa de concreto. A umidade ótima e um bom processo de mistura e adensamento colaboram para o aumento da coesão. As proporções adequadas dos componentes do concreto seco dependem de procedimentos como a curva de finos, curva de umidade, curva de consumo de cimento e verificações de compactação da mistura.

O grau de compactação e a permeabilidade podem ser conferidos logo após a prensagem, pressionando com os dedos a superfície das peças produzidas. A não deformação da peça testada indica que a mistura possui a compactação adequada. Para verificar a permeabilidade, coloca-se um pouco de água na superfície da peça prensada. Para um grau de compactação aceitável, a água deve levar mais de 5 segundos para penetrar na peça (FERNANDES, 2008).

2.3.8 Controle de qualidade dos *pavers*

O controle de qualidade na fabricação de pisos intertravados de concreto é de extrema importância para se garantir a qualidade das peças. Segundo a Norma Técnica NBR 9.781 - Peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio, as análises de dimensão, resistência à compressão e absorção de água são parâmetros fundamentais para se verificar a qualidade final dos

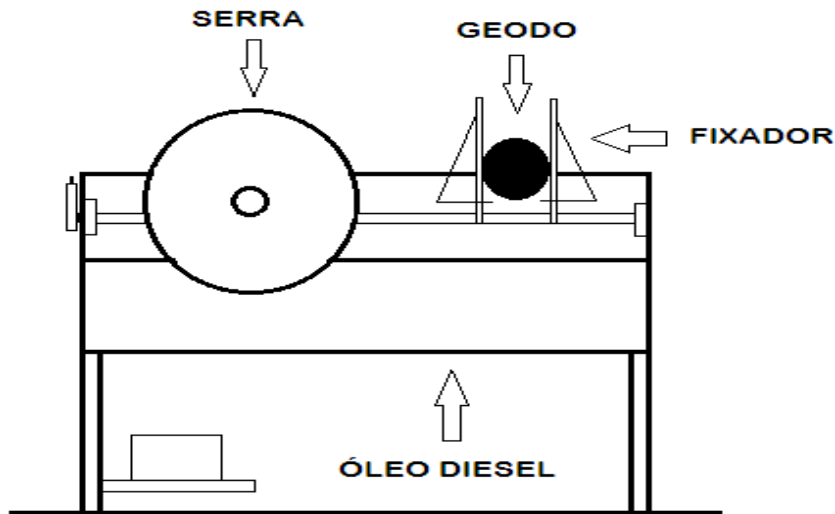
produtos. Para a dimensão correta da peça o comprimento máximo deve ser de 400 mm e a largura mínima de 100 mm, com uma variação máxima de 3 mm para cada medida. Já a espessura mínima deve ser de 60 mm, com variação máxima permitida de 5 mm. Em relação à resistência à compressão, a resistência mínima para pisos sujeitos ao tráfego de veículos comerciais deve ser de 35 MPa. Para pisos sujeitos ao tráfego de veículos que provoquem elevados esforços de abrasão, como ônibus, caminhões e empilhadeiras a resistência à compressão deve ser de 50 MPa. As amostras de peças de concreto devem apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7% (ABNT, 2013).

2.3.9 Características do lodo de gemas e suas aplicações

Segundo o estudo de Cecchin (2011), o resíduo do processamento dos geodos de ágata é uma pasta oleosa composto de pó de rocha misturado com óleo diesel marítimo, o qual é classificado como resíduo Classe I – Perigoso, conforme a Norma Técnica NBR 10.004. Para chegar a esta classificação o rejeito de lodo de gemas é submetido ao ensaio de lixiviação, de acordo com a Norma Técnica NBR 10.005. Este óleo é proveniente da lubrificação da serra rotativa utilizada nas etapas de corte dos geodos e, segundo estudos como o de Tramontina e colaboradores (1998) e o de Bedin (2014), encontra-se incorporado na mistura geralmente em torno de 3% a 4%.

A Figura 13 esquematiza uma serra caixaão, que é utilizada para o corte dos geodos. O equipamento é formado basicamente por uma serra diamantada apoiada em uma caixa coletora, onde é colocado o óleo utilizado como lubrificante e refrigerante. O geodo a ser serrado é fixo por um suporte que possui regulagem para diferentes tamanhos e formas.

Figura 13 – Vista lateral da serra caixaão



Fonte: Adaptado de Bedin (2014)

Estudos como o de Tramontina e colaboradores (1998), Cecchin (2011) e Bedin (2014) mostram que 95% deste material apresentam partículas com tamanho médio menor que 75 μm .

A fração sólida da mistura é composta predominantemente por dióxido de silício (SiO_2), presente em torno de 95% da composição mineral do lodo de gemas, seguido de outros minerais em menor quantidade (BRUXEL, 2011). A Tabela 4 exemplifica uma amostra de lodo de gemas oriundo do beneficiamento de ágata.

Tabela 4 – Exemplo de composição química de uma amostra de lodo de gemas

PORCENTAGEM EM MASSA (%)										
Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	SiO_2	TiO_2	PF*
0,25	0,45	0,64	<0,01	0,22	0,01	0,08	<0,01	94,77	0,04	3,53

* Perda por fogo

Fonte: Adaptado de Bruxel (2011)

Segundo Janasi e colaboradores (2007), a sílica presente nos resíduos de lodo de gemas oriundo do beneficiamento de ágatas é morfologicamente do tipo cristalina e originária de rochas vulcânicas ácidas. A matriz dessas rochas vulcânicas ácidas é composta essencialmente por quartzo, feldspato alcalino e material vítreo. Segundo Bedin (2014), a presença de sílica cristalina no lodo de gemas deve-se ao fato do resíduo provir essencialmente do beneficiamento de ágatas, que por sua vez é composta principalmente por quartzo (SiO_2).

O lodo de gemas é comumente utilizado para preenchimento em aterros de terrenos. O resíduo pode ainda ser empregado na construção civil na composição de argamassas em uma concentração de até 1,25% da massa de cimento e areia. Bruxel (2011) incorporou o resíduo de lodo à massa cerâmica vermelha utilizada para a produção de tijolos maciços. Nas indústrias onde existe uma estrutura organizada, o lodo resultante do beneficiamento das gemas é processado para separação do óleo. Este processo consiste em misturar água ao lodo e agitar, formando duas fases, uma com óleo no sobrenadante e outra no fundo com o pó de gemas. Em seguida o óleo é parcialmente recuperado e reutilizado no processo. O pó de gemas é utilizado como agente abrasivo misturado ao pó de trípoli e o efluente líquido é conduzido a uma caixa de separação para tratamento final (BEDIN, 2014).

2.3.10 Métodos de caracterização do lodo de gemas

A caracterização do resíduo a ser incorporado em uma formulação de massa de concreto é importante para que se tenha um conhecimento prévio da composição química deste material, além de tomar ciência sobre os aspectos ambientais deste resíduo, a fim de verificar a existência de algum contaminante que possa vir a ser prejudicial na fabricação do artefato de concreto ou na sua própria exposição às intempéries ambientais.

2.3.10.1 Ensaio de lixiviação

De acordo com a Norma Técnica NBR 10.005, lixiviação é o “processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator” (ABNT, 2004b, p. 1). Nos ensaios de lixiviação a determinação de metais pesados é realizada no material lixiviado por meio ácido e na parte solubilizada por água. Já na massa bruta da amostra os parâmetros determinados são o pH, óleos e graxas, hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), ácido cianídrico (HCN) e ácido sulfídrico (H₂S). Para que se possa classificar o resíduo em perigoso (Classe I), ou não perigoso (Classe II), de acordo com a NBR 10.004 – Classificação de resíduos, os resultados são avaliados quanto à corrosividade, à reatividade e à toxicidade.

2.3.10.2 Óleos e Graxas

O teor de óleo existente no lodo de gemas pode ser quantificado seguindo a Norma Técnica NTS 005 (SABESP, 1997). Este método baseia-se na extração *Soxhlet*, que consiste na utilização de um solvente apolar (hexano ou éter de petróleo) que passa repetidas vezes pelo analito contido na amostra por meio de um fluxo contínuo de um sistema fechado. Ao longo do tempo, os óleos e graxas que são solúveis no solvente são separados em balão de fundo chato e pesados.

2.3.10.3 Granulometria

A distribuição granulométrica do lodo de gemas é fundamental para que o rejeito possa ser incorporado em um traço de concreto. Da mesma forma que se faz a composição granulométrica dos agregados, o mesmo ensaio deve ser feito com o resíduo que se deseja adicionar à composição da massa. A curva resultante deste procedimento mostrará a proporção ideal de lodo que pode ser adicionado à mistura sem comprometer a qualidade do traço (ABNT, 2003a).

2.3.10.4 Fluorescência de Raios X e Difração de Raios X

Para se conhecer a composição química do lodo de gemas, bem como sua característica mineralógica, análises de fluorescência de raios X e difração de raios X são aplicadas em amostras de lodo seco, respectivamente.

O método de fluorescência de raios X (FRX) baseia-se na produção e detecção de radiações eletromagnéticas de alta frequência num comprimento de onda entre 0,003 nm a 3,0 nm, produzidos por efeito fotoelétrico, emitidos pelos constituintes do analito quando irradiada com elétrons, prótons, raios X ou gama. A radiação interage com a amostra, podendo ser absorvida, emitida ou espalhada. Quando os elétrons mais internos do átomo interagem com os fótons na região dos raios X, pode ocorrer uma foto ejeção desses elétrons, criando-se uma vacância. Para estabilizarem-se, os elétrons mais próximos preenchem as vagas eletrônicas, resultando num excesso de energia manifestado na forma de emissão de raios X, característicos de cada átomo (SKOOG et al., 2015). O método de difração de raios X (DRX) explica que ao incidir um feixe de raios X num cristal, alguns raios são

espalhados pelos átomos da superfície e outros passam para as próximas camadas, acumulando o espalhamento destes raios, originando o fenômeno de difração. Como vários planos paralelos estão interagidos na difração dos raios X, a interferência entre as reflexões dos planos sucessivos ocorrerá quando a diferença entre o caminho entre os raios e os planos for um número inteiro de comprimento de onda, ocorrendo uma interferência construtiva e, conseqüentemente, a difração, sendo o padrão observado, o resultado destas interferências dispersadas pelos átomos do cristal (SKOOG et al., 2015).

Diante dos assuntos propostos na pesquisa, contextualiza-se a existência de um resíduo industrial importante na sua geração e na sua composição, oriundo de um setor industrial com relevância econômica, porém com precariedade nos investimentos tecnológicos. A reutilização do lodo de gemas no setor da construção civil pode ser uma forma de gerenciamento destes rejeitos e uma alternativa sustentável para as pavimentações. Para tanto, é fundamental a sua caracterização por meio de análises físicas e químicas, para que se possa utilizá-lo como matéria-prima na composição de um piso intertravado de concreto.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

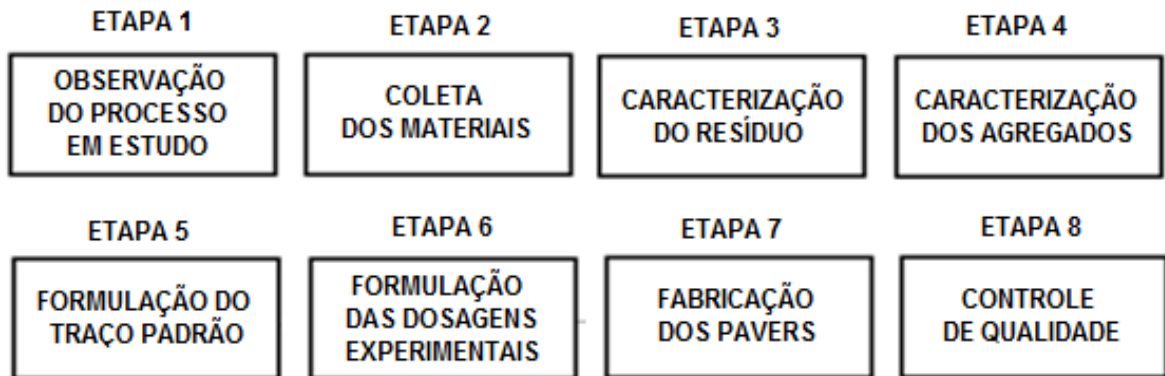
Na parte experimental da pesquisa foram observadas todas as etapas de produção, tanto no processo de beneficiamento dos geodos de ágatas, como na produção dos pisos intertravados de concreto.

O lodo de gemas foi coletado em uma empresa da região do Vale do Taquari, no município de Teutônia/RS, referência no setor de gemas e que possui como principal atividade o beneficiamento de ágatas.

As etapas de coleta dos agregados (pedrisco e areia) e de fabricação dos pisos de concreto intertravado foram desenvolvidas em uma empresa fabricante de blocos e *pavers*, colaboradora da pesquisa, localizada na região do Vale dos Sinos, na cidade de Sapiranga/RS.

O programa de pesquisa foi dividido em oito etapas conforme o esquema apresentado na Figura 14. Essa divisão serviu para elucidar as diferentes fases do trabalho para que se pudesse, de forma organizada, aplicar as metodologias específicas de cada etapa, afim de um melhor entendimento metodológico.

Figura 14 – Fluxograma da etapa experimental da pesquisa



Fonte: Do autor

3.1 Observação do processo de beneficiamento de gemas

A pesquisa acompanhou o processo de beneficiamento de gemas de uma empresa que utiliza, atualmente, geodos de ágata como sua principal matéria-prima. Foram observadas as etapas de seleção de geodos, corte, forma, torneamento, lixamento, polimento, furação, classificação, lapidação e montagem. Esta análise permitiu a compreensão das etapas da cadeia produtiva e a identificação dos resíduos gerados, desde a seleção dos geodos até a fabricação do artefato desejado.

3.2 Coleta do resíduo

O lodo de gemas foi fornecido pela empresa Pedras Oriente, da cidade de Teutônia/RS. A empresa mantém seus resíduos estocados no pátio da empresa, sendo que o lodo de gemas, após ser retirado da estação de tratamento de efluentes, passa por um processo de retirada parcial de parte do óleo incorporado, para então ser acondicionado em tambores de metal com capacidade de 200 litros. De acordo com as informações fornecidas pela empresa, o resíduo estocado nos tambores é homogêneo, todo sendo ele proveniente do processo de beneficiamento de ágatas, o que justifica a coleta de apenas um tambor aleatoriamente. Uma camionete de pequeno porte foi utilizada para transportar o tambor contendo o lodo, do pátio da empresa colaboradora até o laboratório de química da Univates.

3.3 Caracterização do resíduo

O rejeito pode ser visualmente definido como uma mistura de massa pastosa, oleosa, fina, com alguns fragmentos de pedra inseridos, de aparência esbranquiçada à acinzentada e com odor levemente característico do óleo diesel marítimo, utilizado no processo como lubrificante da serra de corte. O lodo passou por um processo de retirada de óleo excedente por meio de tombamento em betoneira com adição de água, como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Processo de retirada do excesso de água do lodo



Fonte: Do autor

A fim de disponibilizar o resíduo de lodo de gemas para posteriores análises, as Normas Técnicas ABNT NBR NM 26:2001 e ABNT NBR NM 27:2001 foram aplicadas para a coleta da amostra. Uma porção de 20 kg de material foi tomada e seca em estufa a 110 °C, durante 8 horas, deixando, posteriormente, esfriar até a temperatura ambiente. Após o resfriamento da amostra, os torrões persistentes foram desintegrados manualmente e então o resíduo foi peneirado em peneira com malha de abertura de 0,840 mm.

3.3.1 Ensaios de lixiviação

Com a finalidade de se obter um extrato lixiviado do lodo de gemas, visando verificar o risco ambiental deste rejeito e diferenciá-lo como classe I – perigoso e classe II – não perigoso, a amostra do resíduo foi submetida ao ensaio de lixiviação. A análise procedeu de acordo com a Norma Técnica ABNT NBR 10.005:2004 e foi

realizada por um laboratório contratado e habilitado para o devido ensaio. No ensaio, uma porção de massa bruta da amostra foi submetida a um meio extrator ácido com a finalidade de se retirar a porção lixiviada. Desta porção determinou-se o pH, a concentração de metais pesados, dos ácidos Cianídrico (HCN) e Sulfídrico (H₂S) e dos Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP).

3.3.2 Determinação do teor de óleo (extração em Soxhlet)

Para se quantificar o teor de óleo contido no resíduo de lodo de gemas, a amostra foi submetida ao ensaio de extração de óleos e graxas através do método *Soxhlet*, de acordo com a Norma Técnica SABESP NTS 005. Neste ensaio, separou-se um balão de fundo chato e determinou-se a sua massa (M1). Logo após, uma quantidade da amostra do lodo, em massa seca (M2), foi transferida para dentro de um cartucho de extração e disposta em um conjunto *Soxhlet*, onde o solvente hexano circulou por um período de 4 horas. Após o tempo de circulação em sistema fechado, o solvente excedente no sistema foi recolhido e o remanescente do balão foi evaporado em um rotaevaporador. Então, o balão foi seco completamente em estufa a 105 °C por 2 horas e, após seu resfriamento, medido a massa novamente (M3) para se determinar a quantidade de óleos e graxas através da seguinte equação (1):

$$\% \text{ Óleos e Graxas} = \frac{M3 - M1}{M2} \times 100 \quad (1)$$

Onde,

M1 = Massa do balão vazio (g)

M2 = Massa da amostra (g)

M3 = Massa do balão após evaporação do solvente (g)

A Figura 16 mostra o sistema *Soxhlet* montado com o cartucho de extração contendo a amostra imersa em solvente hexano e conseqüente evaporação do solvente remanescente em rotaevaporador. A análise de óleos e graxas foi realizada em triplicatas tanto para a amostra bruta como para a amostra “descontaminada”.

Figura 16 – Sistema de extração *Soxhlet* (a) e o rotaevaporador (b)



Fonte: Do autor

3.3.3 Composição mineralógica

Para a determinação da composição mineralógica do resíduo, a fim de identificar os minerais majoritários presentes na amostra, o método da Difração por Raios X (DRX) foi aplicado na amostra de lodo de gemas, com a utilização de equipamento modelo *Philips X'Pert Pro PW 3040/00*, com radiação de cobre operando a 40kV e 40mA, com 2θ variando entre 5° a 75° , passo $0,02^\circ$ e tempo de contagem de 5 s/passos. A análise de Difração de Raios X foi realizada por um laboratório contratado e devidamente habilitado para a realização deste ensaio.

3.3.4 Composição química

Para se conhecer a composição química foi empregado o método de Fluorescência de Raios X (FRX), com o uso de um equipamento *Philips P2400 X'Pert*, onde foram determinados os óxidos em base calcinada a 1000°C existentes no lodo de gemas. A análise de Fluorescência de Raios X também foi realizada em um laboratório contratado e habilitado.

3.4 Propriedades físico-químicas dos materiais

Dentre algumas características importantes de análise das matérias-primas pode-se destacar a composição granulométrica, a massa específica e o teor de umidade. A composição granulométrica, geralmente, na prática, é a análise mais importante entre todas para determinar o módulo de finura e a curva granulométrica. A determinação da massa específica é importante para saber qual a densidade e o peso que o produto final deve atingir. A análise do teor de umidade deve ser realizada a cada batelada do processo, para que possam ser feitas as devidas correções do traço de concreto. Estes parâmetros são monitorados em laboratórios instalados na própria empresa, ou em laboratórios externos capacitados, os quais visam da mesma forma, fornecer os dados necessários para que seja possível a realização de pequenos ajustes na produção, quando forem necessários.

3.4.1 Massa unitária

A determinação de massa unitária no estado solto dos agregados e do lodo de gemas foi realizada de acordo com a Norma Técnica ABNT NBR 7.251:1982. É importante ressaltar que o volume de material utilizado foi no mínimo o dobro do volume do recipiente utilizado para a cubagem. Os materiais, secos previamente, foram lançados de uma altura de 20 centímetros para dentro de um recipiente com volume padrão conhecido, preenchendo-o totalmente. O recipiente foi rasado e pesado, anotando-se o valor de massa para as três medidas realizadas. Logo após, os materiais tiveram as suas massas unitárias calculadas pela seguinte equação (2):

$$\text{Massa Unitária} = \frac{Ma}{V} \quad (2)$$

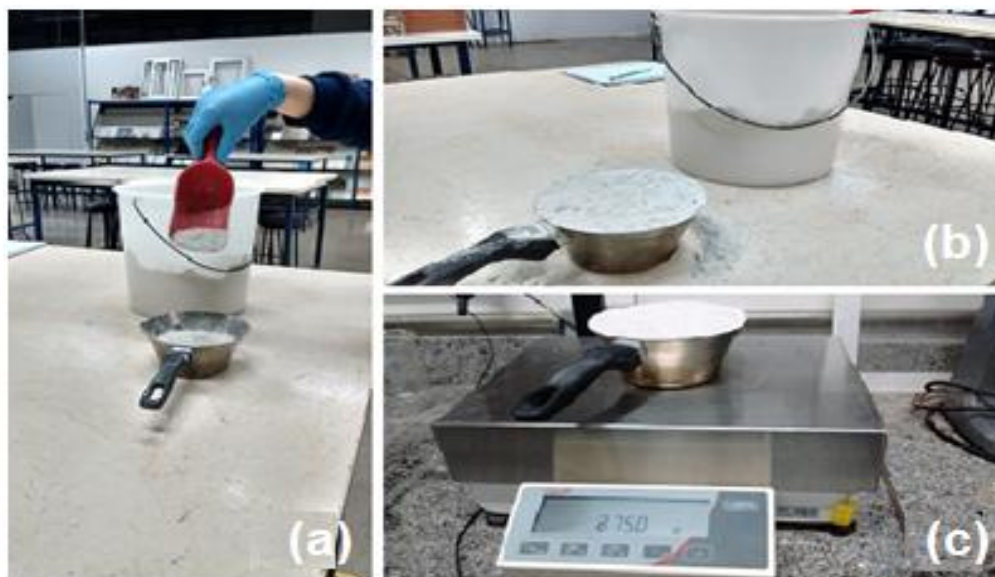
Onde,

Ma = Massa do agregado (kg)

V = Volume do recipiente (m³)

A Figura 17 mostra algumas etapas de análise da massa unitária no lodo de gemas, como o despejo da amostra no recipiente (a), o recipiente padrão rasado (b) e a pesagem do recipiente cheio (c).

Figura 17 – Etapas da análise de massa unitária para o lodo de gemas



Fonte: Do autor

3.4.2 Massa específica

A determinação da massa específica seguiu a Norma Técnica ABNT NBR NM 53:2003 para o agregado graúdo (brita nº 0) e a Norma Técnica ABNT NBR NM 52:2003 para os agregados miúdos (lodo de gemas, areia fina, areia média e areia grossa).

Para dar andamento à análise na brita nº 0, o agregado foi mantido submerso em água à temperatura ambiente durante 24 horas. Após esse período, o agregado foi retirado da água e, com o auxílio de um cesto de arame, foi pesado em água utilizando uma balança hidrostática, anotando-se o valor de sua massa medida (M_1). Então, a amostra foi retirada do cesto e envolvida em pano absorvente até o brilho da água ter sido eliminado da superfície, mas evitando que a água dos poros também evaporasse. Essa amostra então foi levada à estufa à 105 °C por 24 horas e então pesada novamente anotando a massa medida (M_2). A massa específica do agregado seco (brita nº 0) foi determinada utilizando a seguinte equação (3):

$$\text{Massa específica de agregado seco (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_1}{M_1 - M_2} \times 1000 \quad (3)$$

Onde,

M1 = Massa da amostra pesada em água (g)

M2 = Massa da amostra pesada após a secagem em estufa (g)

Para determinar a massa específica dos agregados miúdos, primeiramente foi pesado um picnômetro, completado seu volume com água e anotado o valor (M1). Após, pesou-se 500 g de amostra seca e anotado a massa medida (M2). Este material foi transferido para o picnômetro onde se completou o volume com água até a cobertura total do material, pesou-se novamente e anotou-se o valor medido (M3). Para calcular a massa específica dos materiais usou-se a equação a seguir (4):

$$\text{Massa específica de agregado seco (kg/m}^3\text{)} = \frac{M2}{(M1 + M2) - M3} \times 1000 \quad (4)$$

Onde,

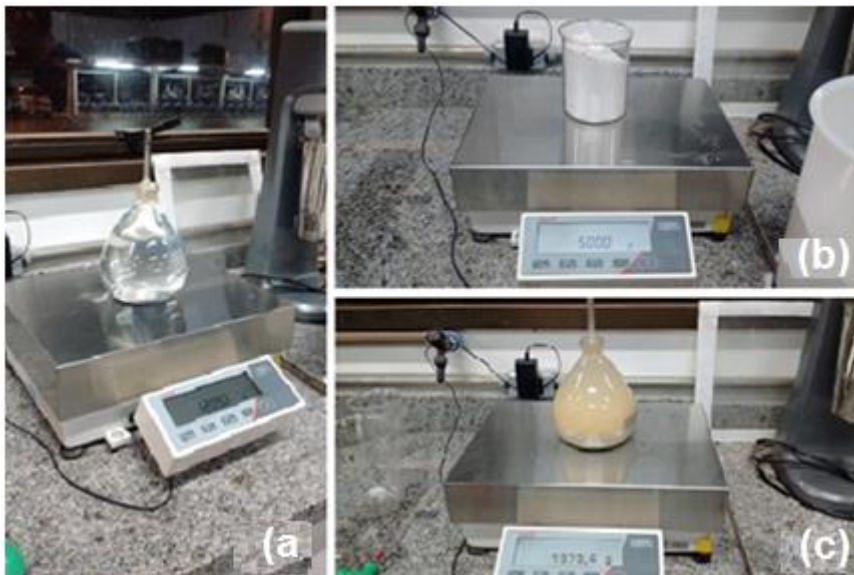
M1 = Massa do picnômetro (g)

M2 = Massa da amostra (g)

M3 = Massa da amostra dentro do picnômetro com água (g)

A Figura 18 mostra as etapas de pesagens do picnômetro com água (a), da amostra de lodo de gemas (b) e do picnômetro com a amostra (c).

Figura 18 – Etapas da análise da massa específica do lodo de gemas



Fonte: Do autor

3.4.3 Teor de material pulverulento

Os ensaios de material pulverulento tanto para as amostras dos agregados como para as amostras do resíduo de lodo de gemas foram realizados segundo a Norma Técnica ABNT NBR NM 46:2001. A amostra de material foi seca em estufa à 105 °C por 24 horas e após o seu resfriamento foi pesada, anotando-se o valor de massa (M1). Todo o material foi colocado em uma peneira de abertura 0,075 mm e com o auxílio de água límpida, com lavagem constante, foi feito o peneiramento até a clarificação da água passante pela peneira. Depois de lavado, o material foi seco e novamente pesado, anotando-se o valor da massa (M2). Determinou-se o teor de material pulverulento de cada um dos materiais conforme a equação abaixo (5):

$$\% \text{ Material pulverulento} = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100 \quad (5)$$

Onde,

M1 = Massa da amostra após seca em estufa (g)

M2 = Massa retida na peneira 0,075 mm (g)

A Figura 19 mostra as etapas de lavagem (a), secagem (b) e pesagem do resíduo seco (c), referentes à análise de material pulverulento no lodo de gemas.

Figura 19 – Etapas da análise de material pulverulento do lodo de gemas



Fonte: Do autor

3.4.4 Umidade natural

O controle de umidade dos agregados, assim como do resíduo, é importante para que se possam fazer as devidas correções na preparação das dosagens dos traços utilizados na produção dos pavimentos de concreto. A verificação de umidade deve ser realizada sempre antes de dar início à produção, ou quando na chegada de novos agregados. Para a determinação da umidade, primeiramente uma porção de cerca de 500 g de material foi utilizado, medindo-se a massa (M1). Depois, este mesmo material foi levado ao fogo e totalmente seco. Pesou-se novamente e anotou-se o valor da massa medida (M2). A umidade dos materiais foi então calculada para cada um dos materiais utilizando-se a seguinte expressão (6):

$$\% \text{ Umidade} = \frac{M1 - M2}{M2} \times 100 \quad (6)$$

Onde,

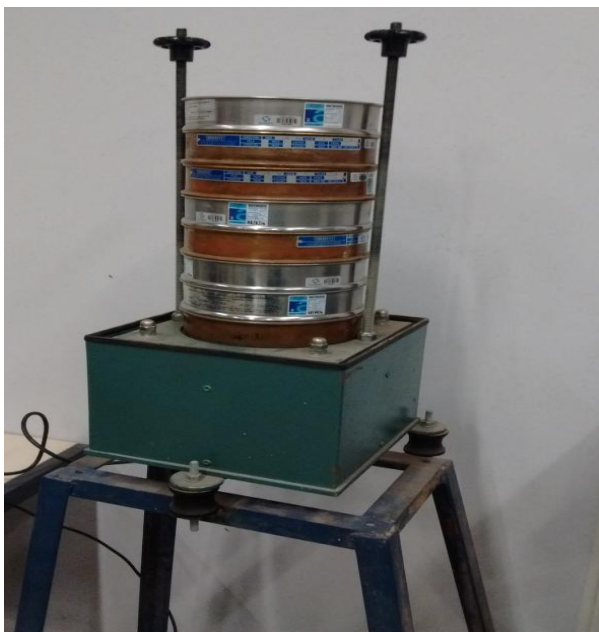
M1 = Massa da amostra (g)

M2 = Massa da amostra seca (g)

3.4.5 Composição granulométrica

A composição granulométrica dos agregados e do lodo foi realizada seguindo a Norma Técnica ABNT NBR 248:2003, a fim de classificar o tamanho das partículas dos materiais para compor um traço de concreto a ser utilizado na fabricação dos *pavers*. Para isso, pesou-se 1 kg de cada material e colocou-se numa série de peneiras com abertura de malha em ordem crescente da base até o topo, encaixando o fundo na base desta série. O conjunto de peneiras foi colocado num peneirador elétrico para promover a agitação mecânica, durante 10 minutos. Após, foi feita a medida de massa do material retido em cada fração. Com base nas massas retidas foi determinada a porcentagem retida individual e cumulada. A Figura 20 mostra o sistema de peneiramento elétrico utilizado para os agregados e o resíduo no ensaio da determinação da granulometria.

Figura 20 – Material sendo peneirado no peneirador elétrico



Fonte: Do autor

3.5 Reprodução do traço de referência

Na dosagem dos agregados para a obtenção de uma peça de *paver* de referência, foi utilizada uma composição proposta pela *Columbia Machine*, um dos maiores fabricantes mundiais de equipamentos para a produção de blocos e *pavers*. Esta composição já é utilizada pela empresa colaboradora do trabalho, e por ela adaptada de acordo com as características de seus materiais.

A escolha de um traço padrão já desenvolvido pela empresa se deve ao fato de seus produtos já terem sido submetidos às avaliações que visam a atender os requisitos de qualidade da Norma Técnica ABNT NBR 9.781:2013, onde diz que a resistência à compressão mínima para pavimentos deve ser de 35 Mpa. A composição padrão dos agregados, utilizada pela empresa colaboradora para 50 kg de cimento, constitui-se basicamente numa mistura proporcional de 12,21% de areia fina, 24,41% de areia média, 36,62% de areia grossa e 26,76% de brita nº 0, para uma quantidade total de 288 kg de material. Para manter a relação água/cimento do traço padrão ideal, 30 litros de água são adicionados à mistura.

3.6 Obtenção das dosagens experimentais

Depois da caracterização dos agregados e do resíduo, foi realizado o mesmo procedimento para obtenção do traço padrão, porém substituindo-se parcialmente a areia fina pelo resíduo do lodo de gemas. A escolha da substituição parcial da areia fina deu-se devido ao fato deste agregado natural ser o mais parecido, em termos de granulometria, com o resíduo de lodo de gemas. Para a mesma quantidade de cimento, sem variar a relação água/cimento, foram feitas dosagens experimentais as proporções percentuais de areia fina/lodo de 10%/2%, 8%/4%, 6%/6%, 4%/8%, 2%/10% e 0%/12%.

3.7 Fabricação dos *pavers*

O processo de fabricação dos pisos de concreto intertravado se desenvolveu a partir do processo convencional (*Columbia*) de produção, tendo como referência a publicação denominada Blocos e *Pavers* – Produção e Controle de Qualidade, a mesma utilizada pela empresa colaboradora com o trabalho (FERNANDES, 2008).

A identificação da procedência dos agregados é importante, pois dependendo da origem destes materiais, suas características físico-químicas podem sofrer alterações.

A areia grossa utilizada no processo é originária do rio Jacuí, extraídas na cidade de Porto Alegre/RS e não sofreu nenhum processo de moagem ou secagem. A areia média provém de lagoas situadas em pontos diversificados da região de Sapiranga/RS e a areia fina vem das lagoas do município de Osório/RS. Estes dois tipos de areias também são “in natura”, não sofrendo qualquer tipo de beneficiamento.

A brita nº 0, ou pedrisco, é proveniente da britagem Vila Rica, localizada em Montenegro/RS. A brita nº 0 é um agregado artificial, pois não é encontrada nessa forma na natureza, havendo necessidade de ser processada.

O cimento utilizado na fabricação dos *pavers* é o CPV-ARI-RS, proveniente da Companhia de Cimentos Itambé, sediada no Paraná. Este cimento tem como

grande propriedade à obtenção de alta resistência inicial por ser um cimento mais puro, ou seja, com mínima adição de pozolana ou outra adição ativa.

A água utilizada no processo vem de uma cisterna enterrada que armazena água captada da chuva. Esta água passa por um processo de filtração para a retirada de materiais grosseiros e matéria orgânica. Algumas análises são feitas periodicamente por um laboratório terceirizado.

O aditivo que a empresa COOPERHAB utiliza é à base de surfactantes, chamado RHEOMIX 610, fornecido pela BASF Degussa CC do Brasil. O RHEOMIX 610 é caracterizado como aditivo plastificante e tem como objetivos dar uma maior trabalhabilidade do concreto, no momento da moldagem e desmoldagem sem danificar as peças, reduzir o consumo de água e ajudar no tempo de pega do cimento.

A Figura 21 mostra os agregados utilizados na produção do *paver* padrão, como a areia grossa, areia média, areia fina e brita nº 0, além do resíduo de lodo de gemas que substituiu em diferentes proporções a areia fina na produção dos *pavers* testes.

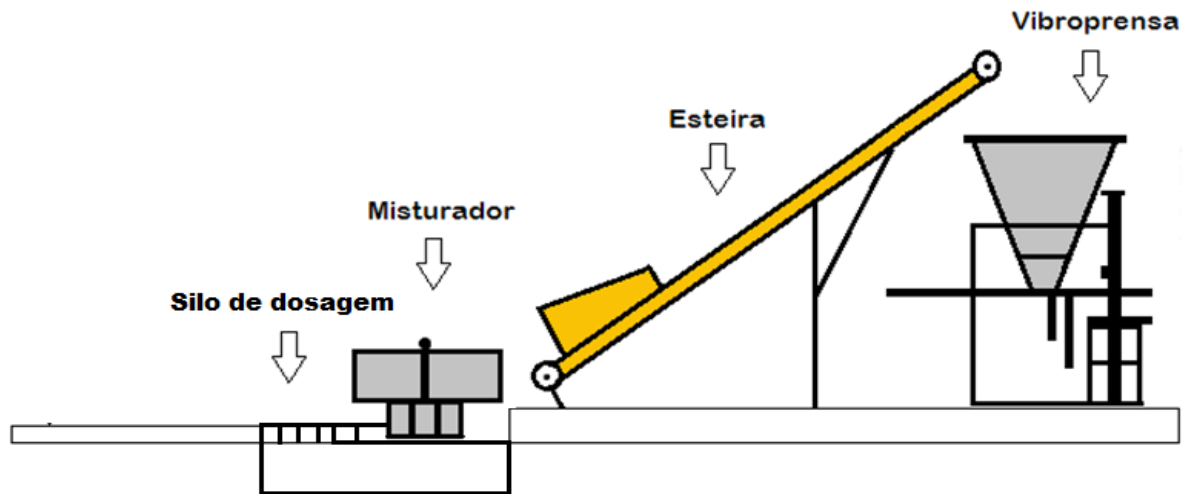
Figura 21 – Agregados utilizados na produção dos *pavers*



Fonte: Do autor

Para fabricar as peças foi utilizado um conjunto de equipamentos do tipo hidráulico, parcialmente automatizado, composto de silo de dosagem, misturador rotativo, esteira transportadora e vibro prensa, como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Esquema semiautomático de fabricação de *pavers* utilizado pela indústria colaboradora



Fonte: Do autor

A fabricação dos *pavers* seguiu-se os seguintes passos:

- Dosagem do Concreto: Para a produção de uma peça padrão, os agregados foram dosados em proporções previamente definidas, de acordo com o traço padrão já definido anteriormente. Da mesma forma, outras dosagens foram realizadas incorporando o resíduo de lodo de gemas, por meio das proporções já definidas anteriormente, considerando-se que estas misturas respeitaram os limites para *pavers*, previsto pelas curvas desenvolvidas para as dosagens experimentais;
- Mistura: A matéria prima dosada de acordo com cada traço e convertida em volume, através de sua massa específica, foi carregada em carrinhos de mão (volumes maiores) e baldes (volumes menores) (traço padrão e dosagens experimentais) e transferida para o misturador onde foi homogeneizada e transformada em concreto de massa seca. Nesta etapa são adicionados o cimento, a água e o aditivo;

- Moldagem: Nesta etapa, a mistura de concreto foi transportada para a vibro prensa, onde ocorreu a prensagem em moldes, sob vibração, dando forma e compactação à massa de concreto;
- Cura: Após a moldagem, as peças foram acomodadas sobre tábuas de madeira, empilhadas uma sobre as outras e tapadas com lona preta, onde permaneceram por 12 horas para a secagem e início de cura;
- Estocagem: Já no dia posterior, as peças foram dispostas em paletes de madeira e molhadas. Assim ficaram mantidas estocadas por no mínimo 28 dias, tempo necessário para atingir a resistência à compressão final.

As etapas de produção das peças, como a mistura, a moldagem, a cura e a estocagem, estão demonstradas na Figura 23.

Figura 23 – Etapas de produção dos *pavers*: mistura (a), moldagem (b), cura (c) e estocagem (d)



Fonte: Do autor

3.8 Controle de qualidade

O controle de qualidade dos *pavers* foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Construção (LATEC), do Centro Universitário UNIVATES. As peças produzidas foram submetidas aos ensaios dimensão, absorção de água e resistência à compressão.

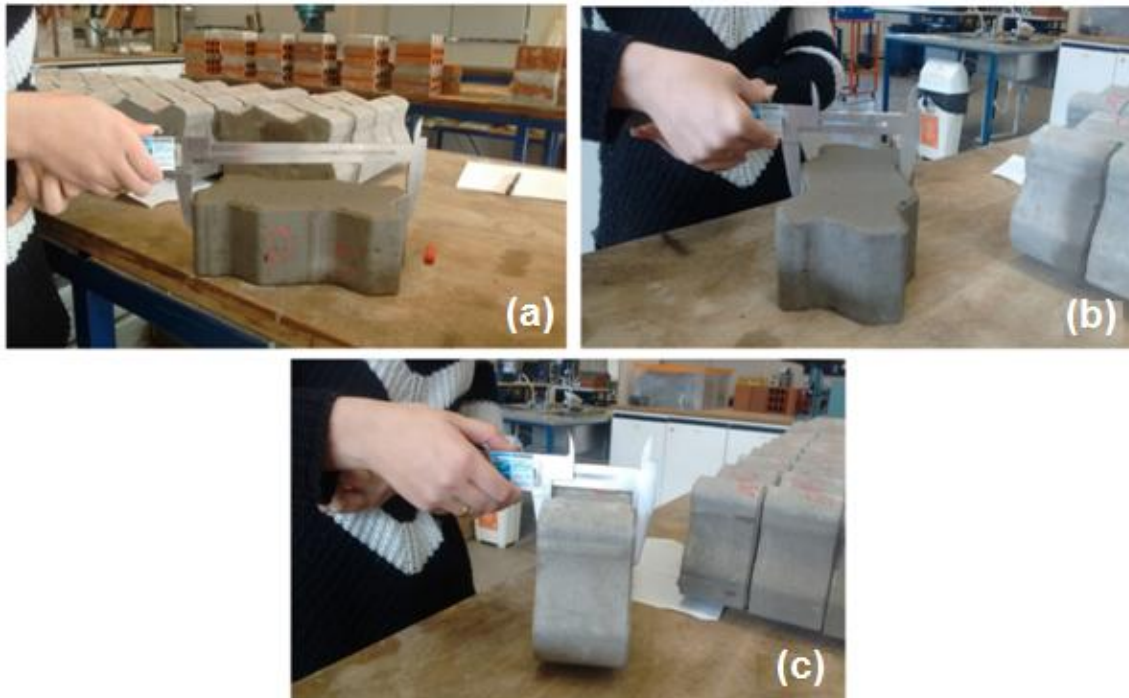
As dimensões e peso foram aferidos e a análise de resistência à compressão foi realizada em cada uma das peças fabricadas nas diferentes dosagens, bem como o ensaio de absorção de água. Todos os ensaios seguiram a Norma Técnica NBR 9.781.

Para a realização dos ensaios foram selecionadas 10 amostras de cada um dos lotes de *pavers* produzidos referentes às diferentes dosagens elaboradas. Nessa seleção prévia observaram-se as características visuais das peças produzidas, optando-se pelas que apresentaram maior conformidade na moldagem e melhor acabamento final.

Primeiramente, nas 10 peças selecionadas, aferiu-se o dimensionamento das peças utilizando um paquímetro calibrado em 22/08/2016, com resolução de 0,1 mm, medindo-se o comprimento, a largura e a espessura das peças.

A Figura 24 demonstra a análise das medidas dos *pavers* produzidos. Os resultados foram obtidos depois de serem analisadas seis amostras de cada traço elaborado. Mediu-se em cada peça o comprimento (C), a largura (L) e a altura (H) sendo os resultados expressos em centímetros.

Figura 24 – Dimensionamento das peças produzidas



Fonte: Do autor

Depois do dimensionamento das amostras de *pavers*, foram selecionadas seis peças de cada dosagem para a análise de absorção de água. Para essa seleção, das dez peças escolhidas para a análise das dimensões, as quatro peças que apresentaram medidas discrepantes da maioria foram descartadas, restando seis peças para determinação da absorção de água.

Para a análise de absorção de água, as amostras selecionadas foram secas em estufas a 105 °C por 24 horas. Após esse período, as peças foram resfriadas em temperatura ambiente e suas massas medidas em balança de precisão (M1). Após, as peças foram mergulhadas em um tanque de água onde permaneceram por 48 horas sendo retiradas do tanque e o excesso de água retirado para posterior medida de massa das peças saturadas de água (M2). Para o cálculo da porcentagem de absorção de água, a seguinte fórmula foi utilizada (7):

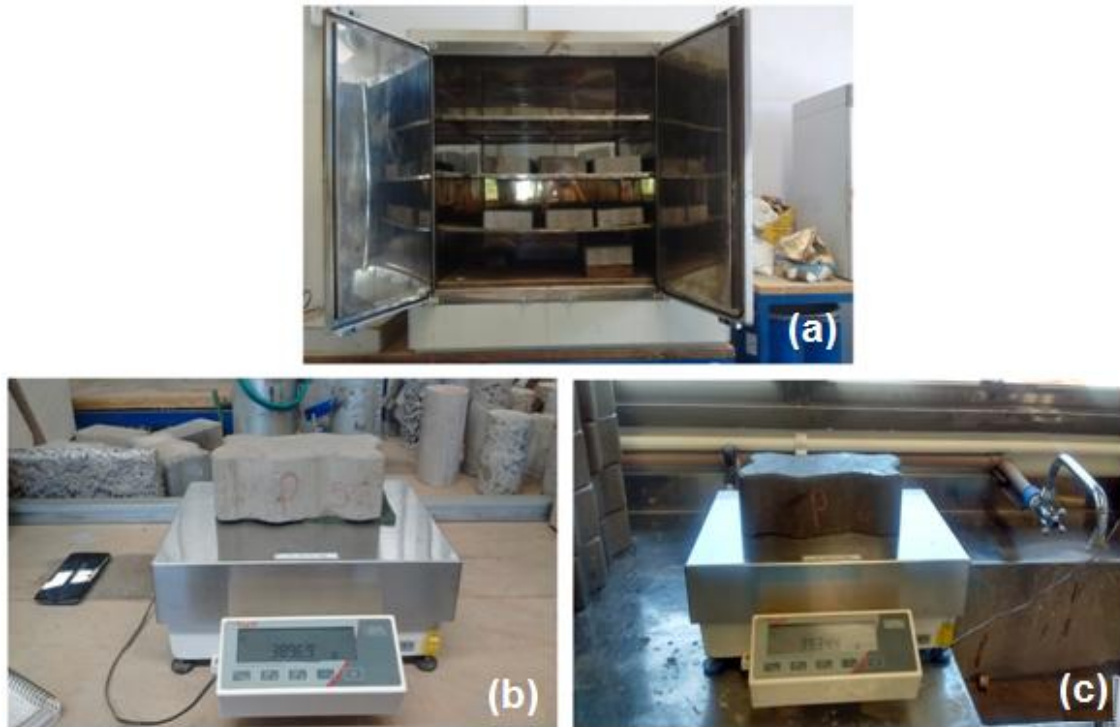
$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100 \quad (7)$$

Onde,

M1 = Massa da amostra seca (g)
M2 = Massa da amostra saturada de água (g)

A Figura 25 mostra as etapas da análise de absorção de água nos *pavers*: secagem (a), pesagem da peça seca (b) e pesagem da peça saturada de água.

Figura 25 – Etapas da determinação de absorção de água



Fonte: Do autor

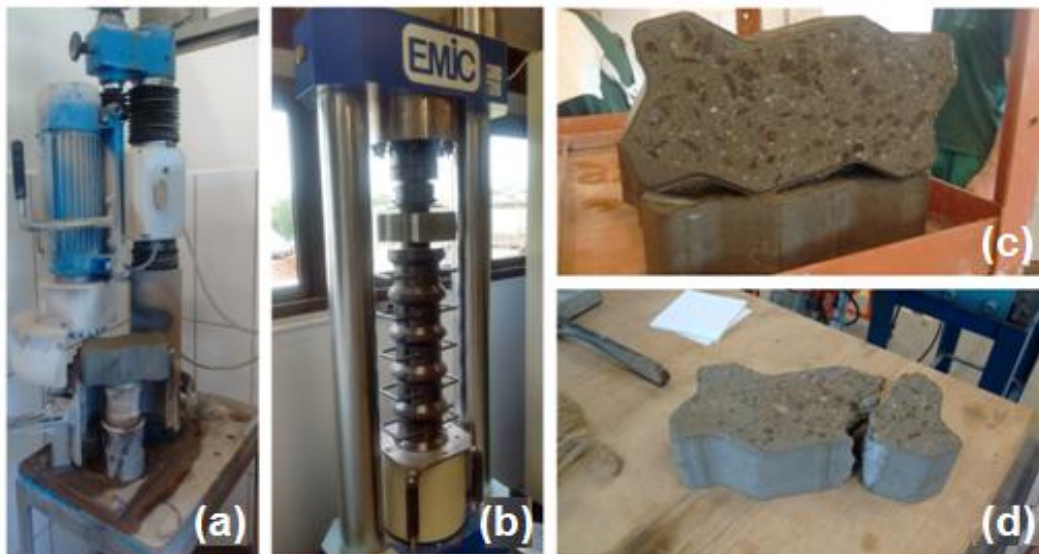
Para a determinação da resistência à compressão foram utilizadas as mesmas seis peças selecionadas para o ensaio de absorção de água, pois estas já se encontravam pré-selecionadas conforme os requisitos já descritos anteriormente, além de estarem saturadas de água, característica esta necessária para a realização do referido ensaio. O equipamento utilizado para o rompimento das peças foi uma prensa hidráulica de acionamento elétrico, calibrada em 17/08/2016, com indicador digital de leitura, modelo PC200 CS, marca Emic, com capacidade de até 200.000 kgf.

Após a retificação, etapa que consiste em deixar a superfície e a base dos *pavers* completamente plana, cada peça foi devidamente posicionada na prensa. Carregou-se o equipamento continuamente, com velocidade de 550 kPa/s, com variação de mais ou menos 200 kPa/s, até a ruptura completa da peça. Os

resultados da resistência à compressão foram expressos em *megapascals* (MPa), diretamente do *software* auxiliar do equipamento.

A Figura 26 mostra as etapas do ensaio de resistência à compressão: a amostra de *paver* sendo retificada (a), a mesma peça pronta para ser rompida na prensa hidráulica (b), a amostra com a superfície retificada (c) e a peça rompida (d).

Figura 26 – Etapas do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Do autor

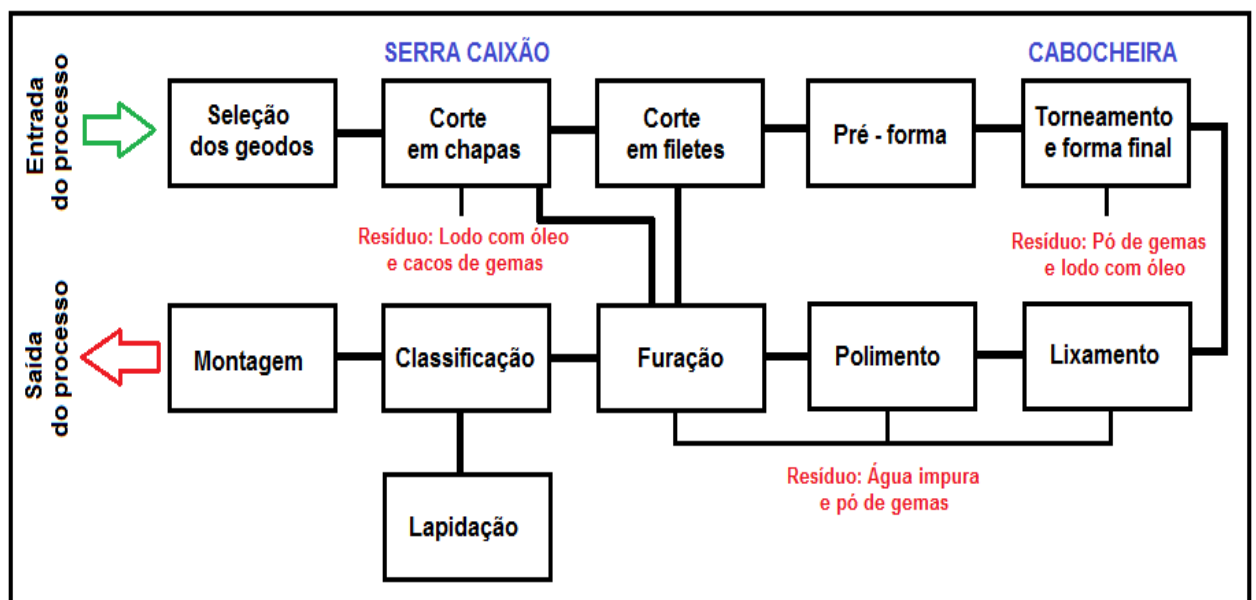
Os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa contribuíram para uma correta compreensão do processo de beneficiamento de ágatas, além de permitir a caracterização técnica, tanto do resíduo como dos agregados, para que estes pudessem ser empregados nas diferentes composições de traços utilizadas na fabricação dos *pavers*, obedecendo a um padrão referenciado de qualidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Descrição do processo de beneficiamento de ágatas

Para o entendimento do processo de beneficiamento, as etapas de produção foram organizadas conforme o fluxograma da Figura 27.

Figura 27 – Fluxograma do processo de beneficiamento da ágata em estudo



Fonte: Do autor

O processo de beneficiamento da ágata inicia-se com a seleção das gemas, que é realizada no próprio depósito da fábrica. As gemas provêm de depósitos e jazidas localizadas nos municípios de Ametista do Sul/RS e Salto do Jacuí/RS. A escolha depende do produto final que se deseja obter. A Figura 28 mostra as gemas de ágatas que serão selecionadas, depositadas no pátio da empresa.

Figura 28 – Depósito de geodos de ágata no pátio da empresa



Fonte: Do autor

Depois de selecionadas, as gemas são cortadas em chapas por máquinas denominadas “serra caixão”, com espessura pré-definida e eliminando-se as cascas das gemas. Como lubrificante de corte e produto refrigerante, utiliza-se o óleo diesel marítimo, que é mais seguro por possuir um ponto de fulgor mais elevado do que outros óleos, além de garantir um bom desempenho. Nesta etapa forma-se um resíduo semissólido misturado com óleo, pó de pedra e pequenas sobras de gemas cortadas. A Figura 29 apresenta o equipamento utilizado no primeiro corte dos geodos, denominado serra caixão.

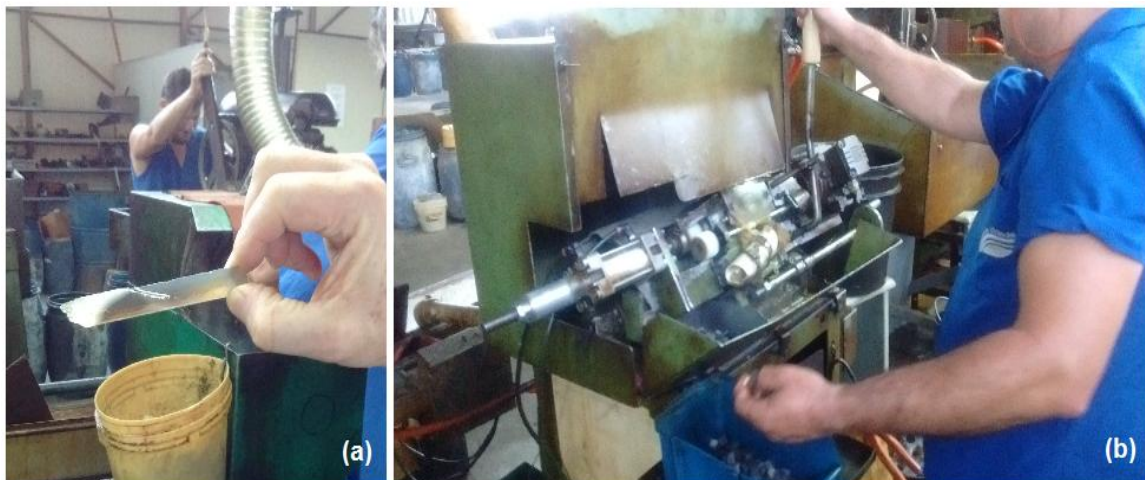
Figura 29 – Serra caixão utilizada no corte das ágatas



Fonte: Do autor

Na etapa seguinte as chapas cortadas são transformadas manualmente em filetes de diferentes tamanhos e picadas até atingirem o tamanho desejado para pré-forma. Então são encaminhadas para as “cabocheiras”, onde é feito o torneamento das peças e a formação final, de acordo com o formato e tamanho desejado. Nesta fase há formação de resíduo composto por pó de gema misturado com óleo, uma vez que o óleo naval, mesmo em menor quantidade, também é empregado para o funcionamento dos equipamentos. A Figura 30 mostra a etapa de filetagem (a) e a etapa de torneamento (b), respectivamente.

Figura 30 – Ágata cortada em filete (a) para posterior torneamento (b)



Fonte: Do autor

Após ter-se a forma final das peças de ágata, são realizados os processos de lixamento e polimento. O lixamento serve para retirar pequenas arestas que ficam ao redor da gema e o polimento tem a finalidade de deixar o artefato sem imperfeições e com brilho. Estes procedimentos são realizados por máquinas automáticas e geram resíduos compostos por pó de gema e água com impurezas que são devidamente encaminhados para uma estação de tratamento de efluentes. As etapas de lixamento e polimento são demonstradas na Figura 31.

Figura 31 – Lixamento e polimento do processo de beneficiamento de ágatas



Fonte: Do autor

Por fim, as ágatas beneficiadas pelas etapas anteriores, são classificadas e encaminhadas para a montagem de joias e adornos com formas, tamanhos e cores variadas. A empresa em estudo utiliza as peças que foram descartadas no corte e na filetagem para fabricar “colares” para bombas de chimarrão. Para a produção destes artefatos, a gema passa por um procedimento de furação. Nesta etapa, os furos são feitos manualmente com a utilização de uma máquina que perfura a gema de acordo com o diâmetro desejado, deixando a peça pronta para dar a forma final do “colar”, que será realizada através de uma lapidação automatizada. A Figura 32 apresenta a gema na etapa de furação.

Figura 32 – Peça de ágata na etapa de furação



Fonte: Do autor

A Figura 33 apresenta a etapa de lapidação automatizada, onde é dado o formato final das peças, depois de polidas.

Figura 33 – Lapidação automatizada das peças de ágata



Fonte: Do autor

Os resíduos resultantes da cadeia produtiva são o lodo, composto de pó de pedra misturado com óleo naval e água, e os cacos de gemas que não são reaproveitados no processo. As águas residuárias das etapas do beneficiamento são encaminhadas diretamente para o sistema de tratamento de efluentes e reutilizadas

no processo. Os cacos de gemas resultantes das etapas de corte e filetagem são depositados no pátio da empresa e, posteriormente, comercializados como pedra rolada, agregando valor ao subproduto. Porém, a geração de lodo se destaca principalmente pelo volume gerado, visto que ao final do processo, cerca de 50% da matéria-prima transforma-se em lodo misturado com óleo e água.

Mensalmente, em média 2,5 toneladas de lodo de gemas são geradas pela empresa. Atualmente, alguns processos para retirar o óleo contido neste lodo estão sendo aperfeiçoados, porém ainda sem conclusões definitivas. Por enquanto, o lodo é batido com água em uma betoneira para a retirada do óleo remanescente. A água excedente volta ao processo depois de tratada e o lodo é armazenado em tambores de 200 litros e estocado no pátio da empresa. Segundo Bedin (2014), em cada serra caixão, 48 litros de óleo diesel marítimo são recuperados, o que representa uma eficiência de 68,6%.

O lodo gerado no processo caracteriza-se como uma mistura sólido líquida, composta por hidrocarbonetos saturados (parafínicos ou naftênicos) ou aromáticos e com a presença de gás sulfídrico (FISPQ, 2012). A Figura 34 mostra a estação de tratamento de efluente da empresa e a Figura 35 retrata a armazenagem do lodo de gemas e dos cacos de gemas ao final do processo.

Figura 34 – Estação de tratamento de efluentes da empresa



Fonte: Do autor

Figura 35 – Armazenamento dos cacos de pedra e do lodo de gemas



Fonte: Do autor

Devido à elevada perda no processo, a produção é iniciada com no mínimo 100% a mais de matéria-prima do que se pretende fabricar de artefatos. Das peças fabricadas, em média apenas 65% estão em conformidade enquanto 35% apresentam defeitos como tamanho inadequado, quebras ou trincas, tonalidades diferentes do esperado, entre outros.

4.2 Classificação do resíduo

Considerando os resultados obtidos no decorrer dos ensaios da massa bruta e do resíduo lixiviado, o lodo de gemas foi classificado como perigoso - Classe I, de acordo com a norma ABNT NBR 10.004:2004 – Classificação de Resíduos Sólidos. A identificação dos analitos avaliados na caracterização foi estabelecida de acordo com o processo que deu origem ao resíduo, matérias-primas, insumos e a segregação do mesmo. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para a amostra de lodo de gemas considerando-se a massa bruta deste resíduo, comparando-se com os limites máximos permissíveis da Norma Técnica NBR 10.004.

Tabela 5 – Resultados analíticos obtidos em massa bruta da amostra de lodo de gemas, comparados com a ABNT NBR 10.004:2004

Parâmetro	Resultado	Limite da Norma
pH em água (1:1)	8,16	2,00 a 12,40
Ácido Cianídrico (HCN)	0,58 mg/kg	250,00 mg/kg
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	<40,00 mg/kg	500,00 mg/kg
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)	11.351,3 mg/kg	-

Fonte: Do autor

Através do resultado encontrado para o ensaio de pH, o resíduo de lodo foi caracterizado como não corrosivo, pois não ultrapassa o limite estabelecido pela Norma Técnica NBR 10.004. O resíduo de lodo de gemas também não apresentou íons de cianeto e de sulfeto acima dos limites estabelecidos pela Norma Técnica NBR 10.004, sendo, portanto, considerado como um resíduo não reativo.

Entretanto, o lodo de gemas analisado apresentou na sua massa bruta uma concentração de 11.351,3 mg/kg de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo, indicando contaminação por óleo mineral. De acordo com a norma NBR 10.004 - Anexo A, o óleo de corte e usinagem utilizado (código de identificação F330) é perigoso, o que classifica o resíduo neste ensaio como perigoso, de classe I.

A Tabela 6 apresenta os valores de concentrações de metais obtidos para a amostra de lodo de gemas, considerando-se o lixiviado deste resíduo obtido de acordo com a NBR 10.005 e comparando-se os resultados com os limites máximos permissíveis segundo a Norma Técnica NBR 10.004.

Tabela 6 – Resultados analíticos obtidos no lixiviado da amostra de lodo de gemas, comparados com a Norma Técnica ABNT NBR 10.004:2004

Parâmetro	Resultado (mg/kg)	Limite da Norma (mg/kg)
Arsênio	<0,10	1
Bário	0,30	70
Cádmio	0,007	0,5
Chumbo	26,50	1
Cromo total	<0,01	5
Fluoreto	0,70	150
Mercúrio	<0,001	0,1
Prata	<0,01	5
Selênio	<0,01	1
Níquel	0,85	S/R

Fonte: Do autor

Dos parâmetros analisados no extrato do resíduo obtido (lixiviado), o chumbo apresentou uma concentração acima do limite máximo permitido (26,50 mg/kg) segundo a Norma Técnica NBR 10.004, caracterizando o resíduo como tóxico, sendo para este ensaio como perigoso, de classe I. A presença deste metal tóxico no lodo de gemas se deve ao fato de que a etapa de lixiação é realizada com a utilização de rebolos cuja composição é, normalmente, de uma mistura de ligas de estanho e de chumbo diamantadas na parte externa. Quando esta parte diamantada do rebolo se encontra desgastada, além de perder eficiência, a peça entra diretamente em contato com os materiais trabalhados, fragmentando pequenas partículas da liga que acabam sendo carregadas para o lodo residual (BRASIL, 2016).

4.3 Determinação do teor de óleo do resíduo

Os dados de massas dos balões, utilizados para o cálculo de determinação de óleos e graxas totais no lodo de gemas estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Medidas das massas dos balões para o cálculo de óleos e graxas totais na amostra bruta e na amostra “descontaminada”

Triplícatas	Amostra bruta (g)			Amostra descontaminada (g)		
	Massa 1	Massa 2	Massa final	Massa 1	Massa 2	Massa final
A-1	249,94	255,58	5,64	251,04	251,56	1,62
A-2	242,04	247,54	5,50	262,12	243,62	1,58
A-3	223,55	228,88	5,33	233,15	225,08	1,53
Média final	-	-r	5,49	-	-	1,58
Desvio padrão	-	-	0,16	-	-	0,04

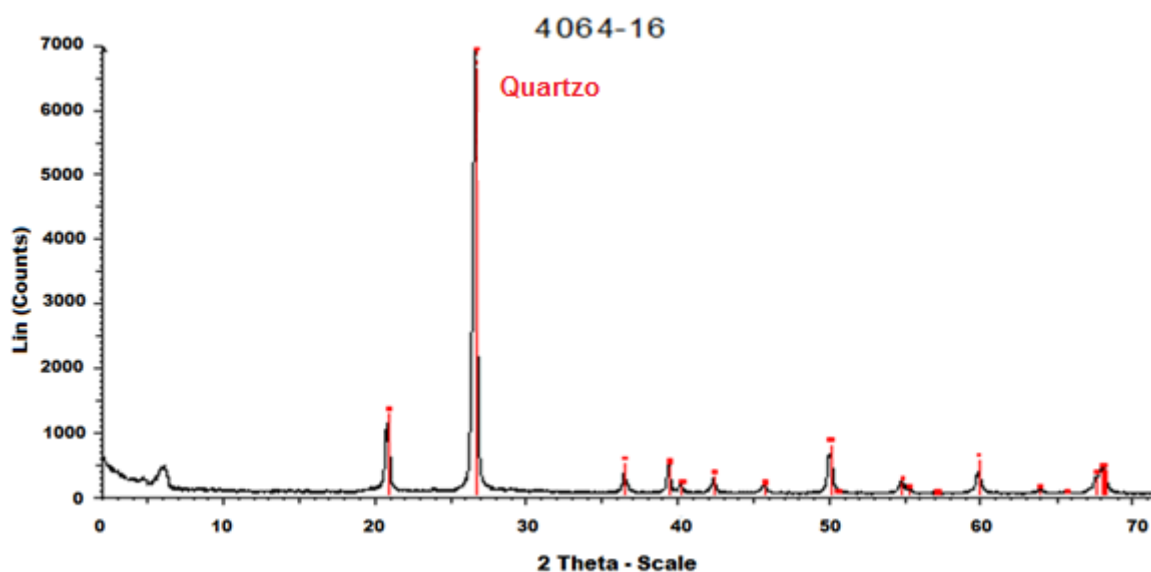
Fonte: Do autor

Os resultados encontrados para o teor de óleos e graxas na amostra bruta foi de 10,98% e para a amostra descontaminada foi de 3,16%. Analisando os resultados encontrados para as amostras de lodo de gemas, antes e depois de passarem pelo processo de extração com água sob agitação em betoneira, foi possível observar uma redução de 71,2% do óleo diesel marítimo que se apresentava incorporado nas amostras brutas. Entretanto, de acordo com Bedin (2014), esse método empírico de descontaminação é demorado e não reduz completamente o óleo existente no resíduo.

4.4 Composição mineralógica do resíduo

O resultado para o ensaio de Difração de Raios-X (DRX) pode ser observado na Figura 36, onde o material predominante é o dióxido de silício (SiO_2). Esse resultado se assemelha ao dos estudos de Tramontina e colaboradores (1998), Bruxel (2011) e Bedin (2014) que já haviam caracterizado o pó de ágata em suas pesquisas e detectado a presença majoritária de quartzo na forma amorfa, criptocristalina e cristalina em suas amostras. Da mesma forma, Moura e colaboradores (2006) identificaram em suas amostras de lodo de serragem de pedras ornamentais, o quartzo tipicamente cristalino, indicando que o resíduo não possui propriedades aglomerantes ou pozolânicas.

Figura 36 – Difratoograma da amostra de lodo de gemas



Fonte: Do autor

4.5 Composição química do resíduo

O silício (Si) foi o principal constituinte encontrado na amostra de lodo de gemas. A partir da Fluorescência de Raios-X (FRX) obteve-se 97,43% deste elemento presente na amostra, seguido pelo ferro (Fe) com 0,24% e pelo alumínio (Al) com 0,13%. Estes elementos foram encontrados em termos de óxidos e expressos como dióxido de silício (SiO_2), óxido férrico (Fe_2O_3) e óxido de alumínio

(Al₂O₃) respectivamente. Os resultados da composição química da amostra, expressos óxidos foram descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Composição química elementar da amostra de lodo de gemas

Elemento	Teor (%)	Elemento	Teor (%)	Elemento	Teor (%)
Al ₂ O ₃	0,13	P ₂ O ₅	<0,05	Cr ₂ O ₃	<0,10
CaO	<0,05	SiO ₂	97,43	PbO	<0,10
F ₂ O ₃	0,24	TiO ₂	<0,05	SrO	<0,10
K ₂ O	<0,05	B ₂ O ₃	-	ZnO	<0,10
MgO	<0,05	Li ₂ O	-	ZrO ₂ + HfO ₂	<0,10
MnO	<0,05	BaO	<0,10	Cr ₂ O ₃	<0,10
Na ₂ O	0,07	Co ₂ O ₃	<0,10	Perda Fogo	1,95

Fonte: Do autor

A presença de sílica como material majoritário na composição do lodo de gemas, oriundo do beneficiamento de ágatas, deve-se à formação geológica do local de origem destas gemas, como Ametista do Sul e Salto do Jacuí. Estes dois municípios situam-se na Bacia do Paraná que faz parte do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul e, segundo Xavier (2009), esta região é formada predominantemente por rochas vulcânicas mesozoicas. De acordo com Janasi e colaboradores (2007), a matriz dessas rochas é composta essencialmente por quartzo, feldspato alcalino (ortoclásio) e material vítreo.

4.6 Caracterização físico-química dos materiais

Para a caracterização físico-química tanto para do resíduo de lodo de gemas como dos agregados, foram realizadas as análises de massa unitária, massa específica, teor de material pulverulento, teor de umidade e composição granulométrica.

4.6.1 Determinação da massa unitária

A massa unitária foi determinada tanto para os agregados como para o resíduo de lodo de gemas, utilizando um recipiente padrão para cubagem com volume de $6,861 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Os valores medidos estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores das massas medidas para o cálculo de massa unitária com os respectivos resultados

Material	Massas medidas (kg)				Massa unitária (mg/kg)
	A-1	A-2	A-3	Média	
Brita nº 0	1,072	1,077	1,075	1,075	1.566,83
Areia grossa	1,098	1,098	1,100	1,099	1.601,80
Areia média	1,079	1,079	1,081	1,079	1.574,11
Areia fina	1,053	1,055	1,052	1,053	1.572,66
Lodo de gemas	0,875	0,878	0,876	0,877	1.278,24

Fonte: Do autor

4.6.2 Determinação da massa específica no estado seco

Como as medidas de absorção dos materiais não interferem nessa pesquisa, o ensaio de massa específica foi realizado nos agregados apenas em seu estado seco. A massa específica do agregado graúdo foi determinada apenas para a brita nº 0. Em todos os tipos de areia e no resíduo de lodo de gemas foi determinada a massa específica do agregado miúdo. Os valores das medidas para a determinação da massa específica nos agregados e no resíduo estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores para as medidas das massas na determinação de massa específica no estado seco e os respectivos resultados

Material	M1 (Média g)	M2 (Média g)	M3 (Média g)	Massa específica (kg/m ³)
Brita nº 0 *	526,53	798,50	-	2.935,01
Areia grossa	672,10	251,40	827,90	2.629,70
Areia média	676,30	250,50	831,80	2.636,84
Areia fina	672,20	249,80	829,40	2.697,62
Lodo de gemas	874,20	298,30	989,20	1.627,39

M1 = Massa do picnômetro M2 = Massa da amostra M3 = Massa da amostra com água

* Brita nº 0: M1 = Massa da amostra com água M2 = Massa da amostra seca em estufa

Fonte: Do autor

Os valores de massa específica são fundamentais para estimar o volume dos agregados na impossibilidade da utilização de massa na composição do traço. Para Fernandes (2008), os valores ideais de massa específica para os agregados, a fim de se obter uma peça de concreto de boa qualidade e durabilidade, está entre 2.200 e 2.900 kg/m³. Os resultados encontrados nos agregados atendem ao proposto pelo autor, entretanto, o valor encontrado para o lodo de gemas está abaixo do sugerido, o que pode influenciar na composição do traço de concreto e, conseqüentemente, nas demais características reológicas e mecânicas do produto final, uma vez que as

propriedades do concreto estão intimamente ligadas (RODRIGUES; FUCALE, 2014).

4.6.3 Determinação do teor de material pulverulento

Os dados referentes às medidas obtidos durante o ensaio de determinação de material pulverulento estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores das massas para o cálculo de material pulverulento

Material	Massa A (g)				Massa B (g)			
	A-1	A-2	A-3	Média	A-1	A-2	A-3	Média
Brita nº 0	990,00	988,50	989,40	989,30	988,10	986,80	987,60	987,50
Areia grossa	958,10	960,20	957,50	958,60	953,50	955,10	952,70	953,77
Areia média	955,00	953,50	955,40	954,63	946,40	944,90	946,70	946,00
Areia fina	952,20	954,10	953,80	953,37	940,10	941,90	942,70	941,57
Lodo gemas	498,20	499,80	498,90	498,97	125,80	125,60	125,20	125,53

Fonte: Do autor

A Tabela 12 demonstra os resultados para a determinação de material pulverulento nas amostras dos agregados e do resíduo.

Tabela 12 – Resultados para o teor de material pulverulento dos materiais

Material	% Material pulverulento
Brita nº 0	0,18
Areia grossa	0,50
Areia média	0,90
Areia fina	1,24
Lodo de gemas	74,84

Fonte: Do autor

A Norma Técnica NBR NM 46 estabelece os seguintes limites máximos de material pulverulento: a) agregado miúdo – em concretos submetidos ao desgaste superficial o limite é de 3,0%. Nos demais concretos o limite passa para 5,0%; b) agregado graúdo – para esta classe, todos os concretos têm limite de 1,0% de material pulverulento. Estes limites podem aumentar para 5% e 7% em massa, respectivamente, se o material passante da peneira 0,075 mm for totalmente constituído de grânulos oriundos de rocha britada (ABNT, 2001a). Os valores encontrados para os agregados naturais estão todos dentro dos limites

estabelecidos pela Norma Técnica. Porém, para o resíduo de lodo de gemas, o teor de material pulverulento está bem acima do limite. Para Romano (2004), as partículas deste resíduo, por serem muito finas, podem contribuir para o preenchimento de vazios do traço, e influenciar um, maior envolvimento do cimento nos agregados fortalecendo as ligações entre si. Por outro lado, se formar uma película envolvendo os agregados e não se separar durante a mistura, estas partículas podem prejudicar a resistência da massa de concreto.

4.6.4 Determinação do teor de umidade

Os resultados obtidos para umidade dos agregados não podem ser considerados valores absolutos, uma vez que estes materiais possuem uma umidade natural quase sempre diferente, dependendo das condições em que foram extraídos de suas jazidas. As areias naturais são provenientes de jazidas hídricas e a brita, por ser oriunda de jazidas rochosas recebe um banho de aspersão de água para evitar a produção de poeira durante a sua produção. Já a umidade do resíduo do lodo de gemas depende basicamente do sistema de retirada do óleo e do tempo de estocagem. Além do mais, todos estes materiais podem ser encontrados estocados à céu aberto, desprotegidos das chuvas. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Medidas das massas para a determinação de umidade nos materiais

Material	Massa A (g)				Massa B (g)			
	A-1	A-2	A-3	Média	A-1	A-2	A-3	Média
Brita nº 0	821,30	820,90	820,40	820,87	819,80	820,10	819,70	819,87
Areia grossa	820,20	821,10	820,30	820,53	796,80	797,20	796,40	796,80
Areia média	820,20	822,40	821,70	821,43	780,50	782,40	781,60	781,50
Areia fina	818,20	819,10	820,30	819,20	760,80	761,50	762,40	761,57
Lodo de gemas	819,20	820,10	820,30	819,87	741,80	741,40	742,50	741,90

Fonte: Do autor

A Tabela 14 demonstra os resultados encontrados na determinação de umidade nos agregados naturais e no resíduo de lodo de gemas.

Tabela 14 – Resultados obtidos para umidade dos agregados e do resíduo

Material	% umidade
Brita Nº 0	0,12
Areia grossa	2,98
Areia média	5,11
Areia fina	7,57
Lodo de gemas	10,51

Fonte: Do autor

Segundo Romano (2004), os agregados miúdos possuem, normalmente, certa umidade, porém valores entre 4 e 6% proporcionam um inchamento máximo destes agregados, interferindo na produção de massas de concreto.

4.6.5 Composição granulométrica

A Tabela 15 apresenta as medidas de massa e os percentuais retidos e acumulados da corrida granulométrica em cada peneira específica.

Tabela 15 – Resultados das granulometrias dos agregados e do lodo de gemas

Composição granulométrica					
	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Brita 0	Lodo
Peneiras (mm)	Massa (gramas)				
12,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00
4,8	0,00	26,00	78,00	549,00	13,80
2,4	0,00	102,00	159,00	330,00	20,80
1,2	0,00	200,00	222,00	48,00	25,20
0,6	0,00	228,00	208,00	10,00	58,20
0,3	0,00	341,00	231,00	6,00	24,40
0,15	0,00	93,00	89,00	8,00	37,20
0,075	925,00	0,00	0,00	0,00	30,60
Fundo	75,00	10,00	13,00	24,00	789,80
Total	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

Fonte: Do autor

A quantidade de partículas menores que 75 μm encontrada na amostra de resíduo de lodo de gemas foi aproximadamente 79% do material passante na peneira, diferentemente do encontrado nos estudos propostos por Tramontina e colaboradores (1998), Cecchin (2011) e Bedin (2014) que quantificaram 95% das partículas com tamanho menor do que 75 μm . Isso se deve ao fato de algumas partículas sólidas provenientes do corte das ágatas estarem presentes no lodo de

gemas. Com isso, observa-se a importância da análise granulométrica sempre antes de elaborar uma dosagem ideal para a fabricação de qualquer tipo de artefato, uma vez que, tanto os agregados como os resíduos a serem adicionados podem apresentar variações em suas granulometrias.

4.7 Formulação dos traços utilizados para a produção dos *pavers*

Para a produção da amostra padrão, utilizada como referência, usou-se uma dosagem formulada pela empresa colaboradora, sem a utilização do lodo de gemas na formulação. Após a análise dos materiais, fez-se a nova distribuição granulométrica reproduzindo a dosagem padrão da empresa colaboradora. A Tabela 16 apresenta a nova distribuição granulométrica referente ao traço padrão, utilizado como material de referência.

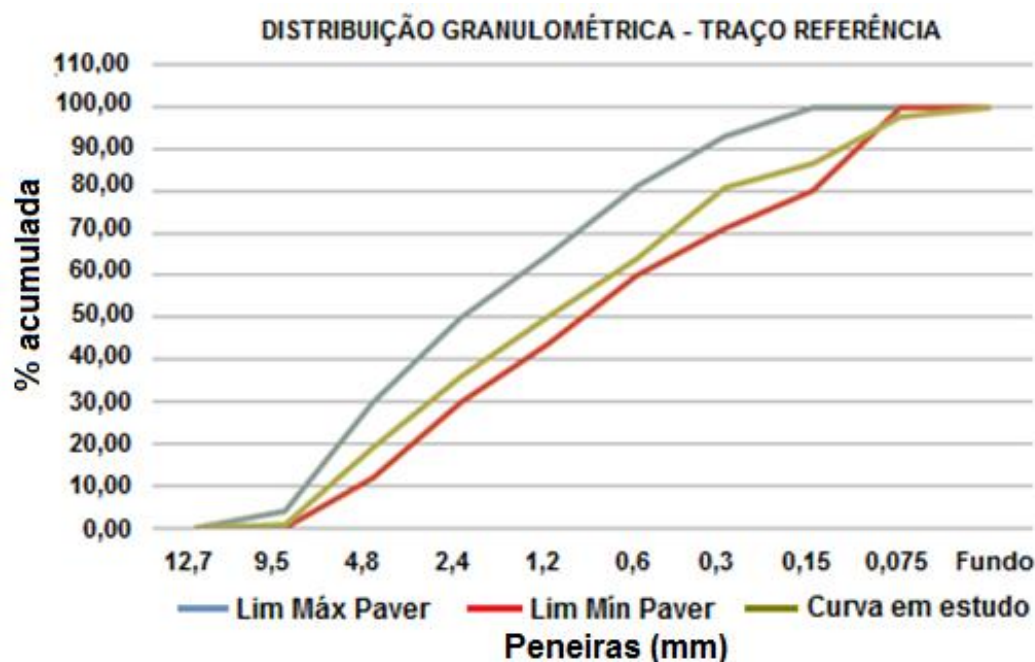
Tabela 16 - Dosagem para o traço referência AF12/LG0 (12% de areia/0% de lodo)

Dosagem do traço de referência							
Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Lodo	Brita 0	Soma	% retida	% acumulada
12,20%	24,41%	36,62%	0,00%	26,77%			
-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
-	-	-	-	6,69	6,69	0,67	0,67
-	6,35	28,56	-	146,92	181,80	18,22	18,89
-	24,90	58,23	-	88,31	171,40	17,18	36,07
-	48,83	81,30	-	12,85	143,00	14,33	50,40
-	55,66	76,17	-	2,68	134,50	13,48	63,87
-	83,25	84,59	-	1,61	169,50	16,98	80,85
-	22,70	32,59	-	2,14	57,44	5,76	86,61
111,00	-	-	-	-	111,00	11,12	97,73
9,00	2,44	4,76	-	6,42	22,62	2,27	100,00
120,00	244,13	366,20	-	267,61	997,90	100,00	3,37

Fonte: Do autor

O Gráfico 1 mostra a dosagem considerada padrão pela empresa colaboradora e denominada na pesquisa de traço de referência. A formulação representada por este traço é utilizada pela empresa para a produção de *pavers* que são normalmente comercializados e utilizados na pavimentação de ruas, estradas, avenidas, pátios e estacionamentos.

Gráfico 1 – Limites para o Traço Referência - AF12%/LG0%



Fonte: Do autor

Para obterem-se as dosagens experimentais de massa de concreto seco a fim de utilizá-la na fabricação dos *pavers*, o mesmo procedimento para obtenção do traço referência foi realizado, porém substituindo-se parcialmente a areia fina pelo resíduo do lodo de gemas. A escolha da areia fina para ser substituída se deu devido ao fato deste agregado natural ser o mais parecido, em termos de granulometria, com o resíduo de lodo de gemas.

Para tal substituição fez-se uma simulação empírica, substituindo-se a areia fina pelo lodo de gemas nas proporções de areia/lodo de gemas 0%/12,20%, 4,10%/8,10%, 6,10%/6,10%, 8,10%/4,10% e 10,10%/2,10%. Após a construção dos gráficos do traço de referência, verificou-se o menor desvio da curva dentro dos limites superiores e inferiores para *pavers*, de acordo com os Gráficos de 2 a 6. As Tabelas 17 a 21 mostram os resultados para os traços referentes às dosagens experimentais.

A Tabela 17 mostra os resultados para o ensaio granulométrico com substituição total da areia fina por 12,20% de resíduo de lodo de gemas.

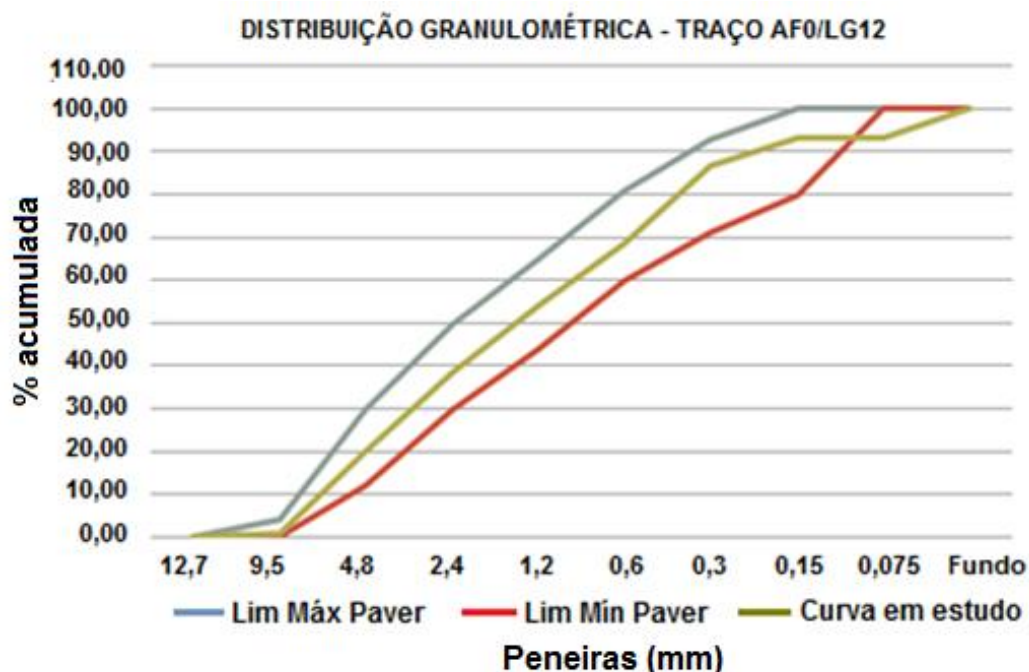
Tabela 17 - Dosagem para o traço AF0/LG12 (0% de areia/12% de lodo)

Dosagem do traço AF0/LG12							
Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Lodo	Brita 0	Soma	% retida	% acumulada
0,00%	24,41%	36,62%	12,20%	26,77%	0,00%		
-	-	-	-	-	-	-	0,00
-	-	-	-	6,69	-	6,69	0,71
-	6,35	28,56	0,84	146,92	-	182,67	19,45
-	24,90	58,23	1,27	88,31	-	172,71	18,39
-	48,83	81,30	1,54	12,85	-	144,51	15,39
-	55,66	76,17	3,55	2,68	-	138,06	14,70
-	83,25	84,59	1,49	1,61	-	170,94	18,20
-	22,7	32,59	2,27	2,14	-	59,71	6,36
-	-	-	1,87	-	-	1,87	0,20
-	2,44	4,76	48,22	6,42	-	61,84	6,59
-	244,13	366,20	61,05	267,61	-	938,98	100,00

Fonte: Do autor

O Gráfico 2 demonstra a substituição total da areia fina pelo resíduo de lodo de gemas, ou seja, substituíram-se os 12,20% da areia fina pelo lodo de gemas.

Gráfico 2 – Limites para o Traço AF0%/LG12%



Fonte: Do autor

A Tabela 18 mostra os resultados para o ensaio granulométrico com substituição parcial da areia fina por 8,10% de resíduo de lodo de gemas.

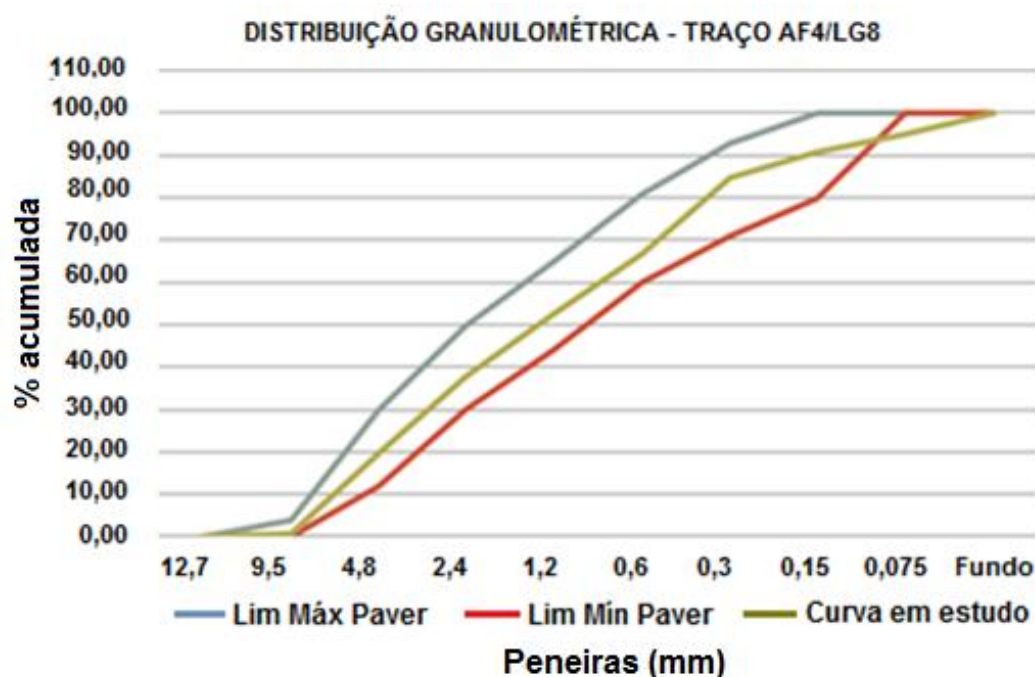
Tabela 18 - Dosagem para o traço AF4/LG8 (4% de areia/8% de lodo)

Dosagem do traço AF4/LG8							
Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Lodo	Brita 0	Soma	% retida	% acumulada
4,10%	24,41%	36,62%	8,10%	26,77%	0,00%		
-	-	-	-	-	-	-	0,00
-	-	-	-	6,69	-	6,69	0,70
-	6,35	28,56	0,56	146,92	-	182,39	19,01
-	24,90	58,23	0,84	88,31	-	172,28	17,96
-	48,83	81,30	1,02	12,85	-	143,99	15,01
-	55,66	76,17	2,36	2,68	-	136,86	14,27
-	83,25	84,59	0,99	1,61	-	170,43	17,76
-	22,7	32,59	1,51	2,14	-	58,94	6,14
37,93	-	-	1,24	-	-	39,16	4,08
3,08	2,44	4,76	31,99	6,42	-	48,69	5,07
41,00	244,13	366,20	40,50	267,61	-	959,43	100,00

Fonte: Do autor

O Gráfico 3 demonstra a substituição parcial da areia fina pelo resíduo de lodo de gemas, ou seja, substituíram-se os 8,10% da areia fina pelo lodo de gemas.

Gráfico 3 – Limites para o Traço AF4%/LG8%



Fonte: Do autor

A Tabela 19 mostra os resultados para o ensaio granulométrico com substituição parcial da areia fina por 6,10% de resíduo de lodo de gemas.

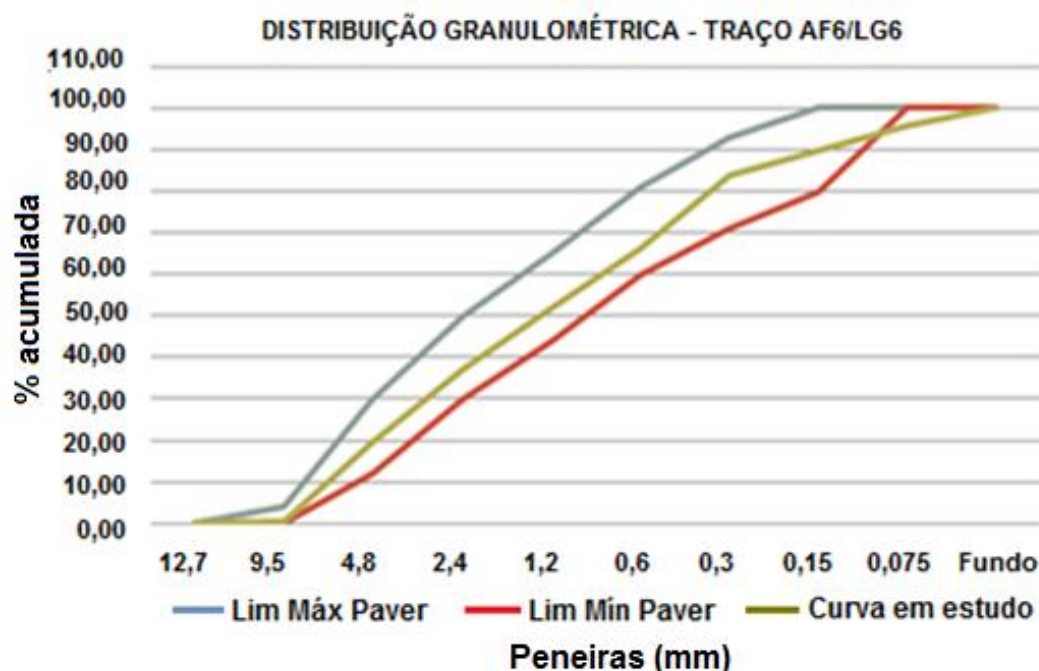
Tabela 19 - Dosagem para o traço AF6/LG6 (6% de areia/6% de lodo)

Dosagem do traço AF6/LG6							
Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Lodo	Brita 0	Soma	% retida	% acumulada
6,10%	24,41%	36,62%	6,10%	26,77%	0,00%		
-	-	-	-	-	-	-	0,00
-	-	-	-	6,69	-	6,69	0,69
-	6,35	28,56	0,42	146,92	-	182,25	18,80
-	24,90	58,23	0,63	88,31	-	172,07	17,75
-	48,83	81,30	0,77	12,85	-	143,74	14,83
-	55,66	76,17	1,78	2,68	-	136,28	14,06
-	83,25	84,59	0,74	1,61	-	170,19	17,56
-	22,70	32,59	1,13	2,14	-	58,57	6,04
56,43	-	-	0,93	-	-	57,36	5,92
4,58	2,44	4,76	24,09	6,42	-	42,29	4,36
61,00	244,13	366,20	30,50	267,61	-	969,43	100,00

Fonte: Do autor

O Gráfico 4 mostra a substituição parcial da areia fina pelo resíduo de lodo de gemas, ou seja, substituíram-se os 6,10% da areia fina pelo lodo de gemas.

Gráfico 4 – Limites para o Traço AF6%/LG6%



Fonte: Do autor

A Tabela 20 mostra os resultados para o ensaio granulométrico com substituição parcial da areia fina por 4,10% de resíduo de lodo de gemas.

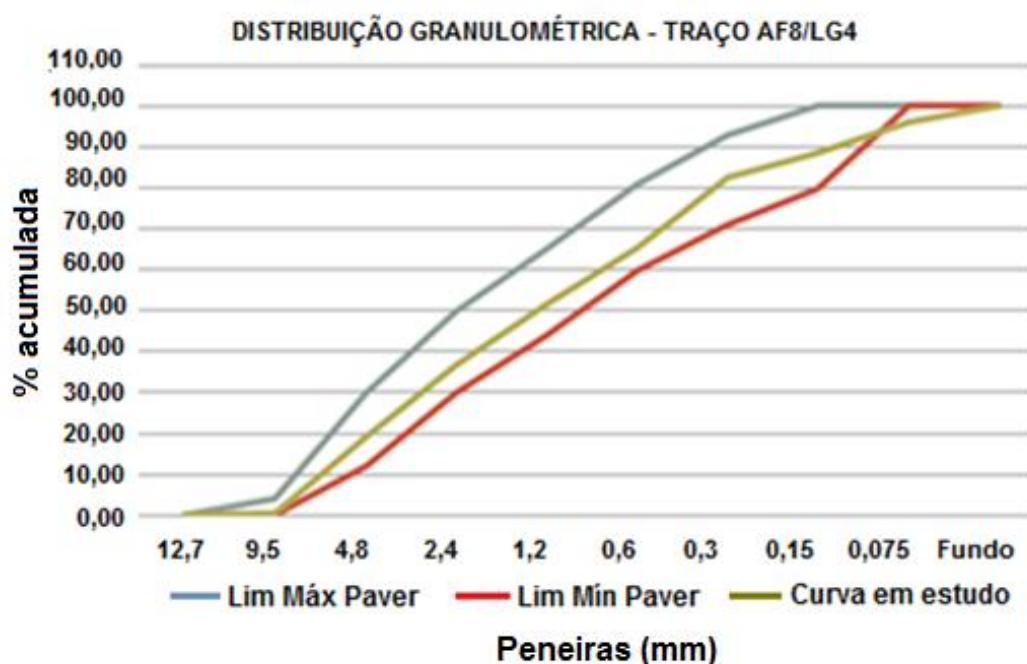
Tabela 20 - Dosagem para o traço AF8/LG4 (8% de areia/4% de lodo)

DOSAGEM DO TRAÇO AF8/LG4							
Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Lodo	Brita 0	Soma	% retida	% acumulada
8,10%	24,41%	36,62%	4,10%	26,77%	0,00%		
-	-	-	-	-	-	-	0,00
-	-	-	-	6,69	-	6,69	0,68
-	6,35	28,56	0,28	146,92	-	182,11	18,59
-	24,90	58,23	0,43	88,31	-	171,86	17,55
-	48,83	81,3	0,52	12,85	-	143,48	14,65
-	55,66	76,17	1,19	2,68	-	135,70	13,85
-	83,25	84,59	0,50	1,61	-	169,95	17,35
-	22,70	32,59	0,76	2,14	-	58,20	5,94
74,93	-	-	0,63	-	-	75,55	7,71
6,08	2,44	4,76	16,19	6,42	-	35,89	3,66
81,00	244,13	366,20	20,50	267,61	-	979,43	100,00

Fonte: Do autor

O Gráfico 5 mostra a substituição parcial da areia fina pelo resíduo de lodo de gemas, ou seja, substituíram-se os 4,10% da areia fina pelo lodo de gemas.

Gráfico 5 – Limites para o Traço AF8%/LG4%



Fonte: Do autor

A Tabela 21 mostra os resultados para o ensaio granulométrico com substituição parcial da areia fina por 2,10% de resíduo de lodo de gemas.

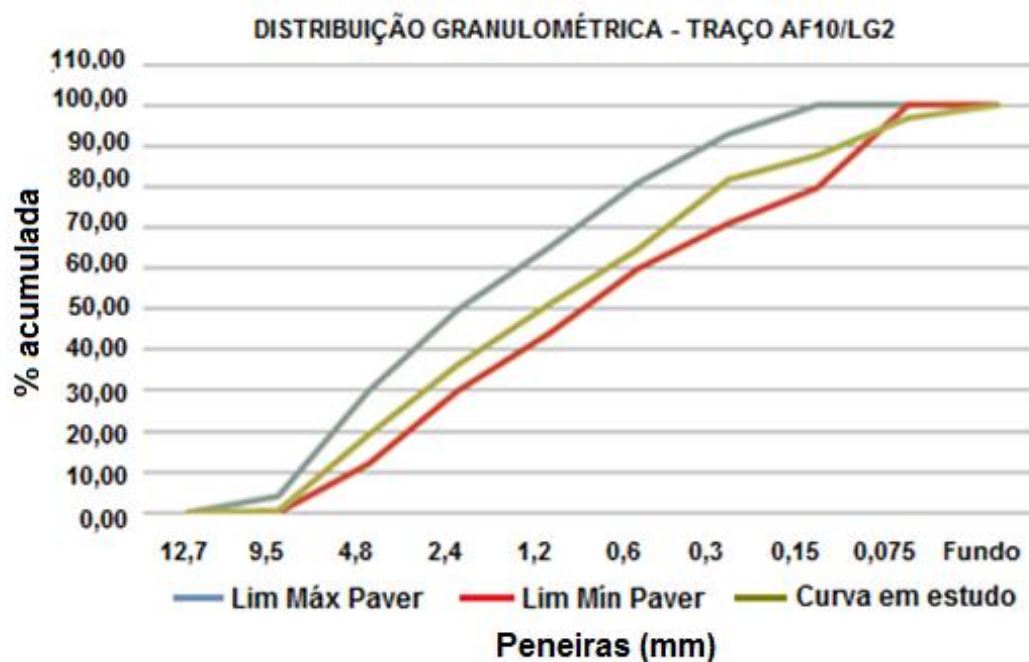
Tabela 21 - Dosagem para o traço AF10/LG2 (10% de areia/2% de lodo)

DOSAGEM DO TRAÇO AF10/LG2							
Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Lodo	Brita 0	Soma	% retida	% acumulada
10,10%	24,41%	36,62%	2,10%	26,77%	0,00%		
-	-	-	-	-	-	-	0,00
-	-	-	-	6,69	-	6,69	0,68
-	6,35	28,56	0,14	146,92	-	181,96	18,42
-	24,90	58,23	0,21	88,31	-	171,64	17,37
-	48,83	81,3	0,25	12,85	-	143,22	14,5
-	55,66	76,17	0,58	2,68	-	135,09	13,67
-	83,25	84,59	0,24	1,61	-	169,69	17,18
-	22,70	32,59	0,37	2,14	-	57,81	5,85
92,50	-	-	0,31	-	-	92,81	9,39
7,50	2,44	4,76	7,90	6,42	-	29,02	2,94
100,00	244,13	366,20	10,00	267,61	-	987,93	100,00

Fonte: Do autor

O Gráfico 6 demonstra a substituição parcial da areia fina pelo resíduo de lodo de gemas, ou seja, substituíram-se os 2,10% da areia fina lodo de gemas.

Gráfico 6 – Limites para o Traço AF10%/LG2%



Fonte: Do autor

Pôde-se observar nos gráficos referentes às dosagens experimentais que as curvas para *pavers* se mantiveram dentro dos limites superiores e inferiores praticamente durante todas as suas projeções. Apenas quando se aproximam ao ponto referente à peneira 75 μm é que as curvas tangenciam fora dos limites, pois é justamente o material mais fino que sofre alteração nas dosagens. As dosagens com as proporções areia fina/lodo de gemas 8,10%/ 4,10% e 10,10%/2,10% foram as que mais se enquadraram dentro dos limites superiores e inferiores para *pavers*.

4.8 Produção dos *pavers*

As etapas de produção dos *pavers* transcorreram normalmente dentro do esperado e algumas observações foram apontadas. Devido à falta de balanças apropriadas para pesagem dos agregados, utilizaram-se os dados de massa unitária para transformar a massa dos materiais em volume. Dessa forma, os materiais foram dosados em jericos e baldes com volumes conhecidos e com resolução de 0,5 litros. As dosagens dos materiais utilizadas na fabricação dos *pavers* estão dispostas na Tabela 22.

Tabela 22 – Dosagens dos materiais utilizados na produção dos *pavers*

	AF12/LG0 (R)	AF0/LG12	AF4/LG8	AF6/LG6	AF8/LG4	AF10/LG2
Cimento (kg)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Areia fina (L)	25,0	0,0	8,5	13,0	17,0	20,5
Areia média (L)	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5
Areia grossa (L)	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
Brita nº 0 (L)	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0
Lodo de gemas (L)	0,0	31,0	21,0	15,5	10,5	5,0
Aditivo (mL)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Água (mL)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0

As etapas de fabricação das peças seguiram o mesmo padrão tanto para o traço de referência como para as dosagens experimentais. Para cada traço foram moldadas 100 peças, o que representa 2,4 m² de *paver* para cada 50 kg de cimento. Essa proporção atende o sugerido por Fernandes (2008), que cita um padrão entre 2,1 e 2,4 para peças com resistência de no mínimo 35 MPa.

4.9 Controle de qualidade dos pavers

Os resultados das análises de dimensão, absorção de água e resistência à compressão em 28 dias, referentes ao controle de qualidade das peças produzidas, estão dispostos na Tabela 23.

Tabela 23 – Resultados das análises de controle de qualidade

AF12/LG0 (REFERÊNCIA)					
Amostras	C (cm)	L (cm)	H (cm)	Absorção Água (%)	Resistência à Compressão 28 dias (MPa)
C1	24,30	10,70	7,60	4,51	30,40
C3	24,30	10,70	7,60	5,61	24,76
C5	24,30	10,70	7,60	3,43	33,85
C6	24,30	10,60	7,60	4,73	26,30
C9	24,30	10,60	7,60	5,03	27,06
C10	24,40	10,60	7,60	4,27	31,07
Média	24,32	10,65	7,60	4,60	28,91
DesvPad	0,04	0,05	0,00	0,74	3,43
AF0/LG12					
C4	24,30	10,50	7,30	4,04	45,45
C5	24,30	10,50	7,30	4,87	32,67
C6	24,30	10,50	7,30	4,48	33,30
C7	24,30	10,50	7,30	4,03	45,74
C8	24,30	10,50	7,30	4,23	40,86
C9	24,30	10,60	7,30	4,37	36,42
Média	24,30	10,52	7,30	4,34	39,07
DesvPad	0,00	0,04	0,00	0,32	5,82
AF4/LG8					
C1	24,30	10,50	7,40	4,31	32,81
C2	24,30	10,80	7,40	3,23	38,23
C3	24,30	10,80	7,40	4,57	24,16
C4	24,30	10,90	7,40	4,54	28,63
C5	24,30	10,80	7,50	3,92	38,15
C10	24,40	10,80	7,30	4,06	33,97
Média	24,32	10,77	7,40	4,10	32,66
DesvPad	0,04	0,14	0,06	0,50	5,50
AF6/LG6					
C1	24,30	10,60	7,30	4,53	26,07
C3	24,30	10,60	7,30	3,72	36,67
C4	24,40	10,60	7,30	3,75	36,57
C5	24,30	10,60	7,30	4,12	35,17
C8	24,30	10,60	7,40	4,29	32,63
C9	24,30	10,60	7,30	2,62	46,43

Média	24,32	10,60	7,32	3,84	35,59
DesvPad	0,04	0,00	0,04	0,67	6,62
AF8/LG4					
C4	24,30	10,60	7,30	2,36	49,22
C5	24,30	10,60	7,30	3,49	40,15
C6	24,30	10,60	7,30	2,70	46,65
C7	24,30	10,60	7,30	3,32	45,22
C9	24,40	10,60	7,40	4,05	38,12
C10	24,30	10,60	7,30	3,44	44,78
Média	24,32	10,60	7,32	3,23	44,02
DesvPad	0,04	0,00	0,04	0,60	4,14
AF10/LG2					
C3	24,40	10,60	7,30	3,26	39,30
C5	24,30	10,60	7,30	3,81	38,74
C6	24,40	10,60	7,30	2,49	44,35
C7	24,30	10,60	7,30	3,01	42,27
C9	24,40	10,60	7,30	2,39	45,62
C10	24,50	10,60	7,30	3,13	40,38
Média	24,38	10,60	7,30	3,01	41,78
DesvPad	0,08	0,00	0,00	0,52	2,79

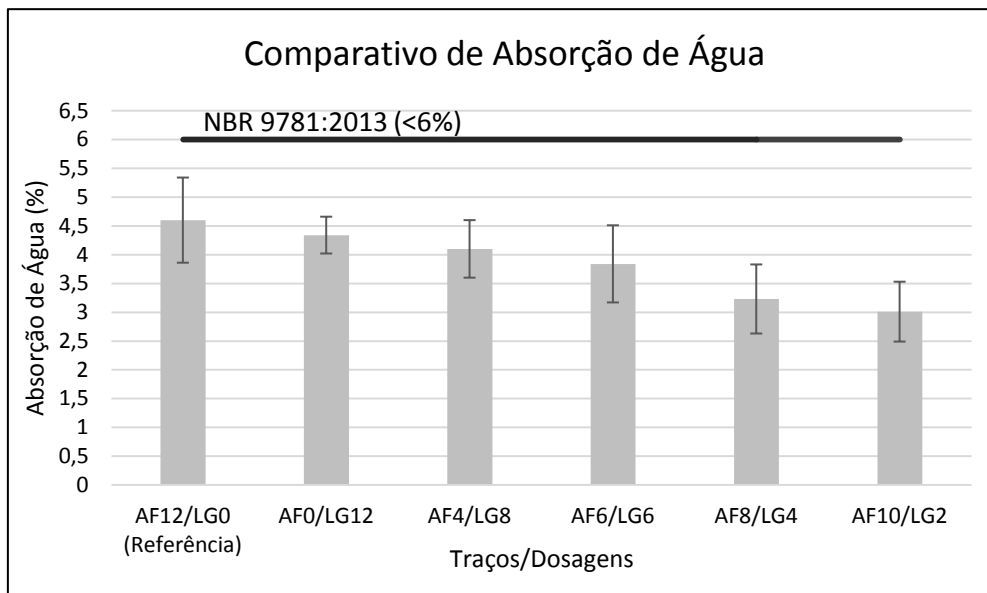
*C = Comprimento; *L = Largura; *H = altura/espessura; *DesvPad = Desvio Padrão
 Fonte: Do autor

Os resultados foram comparados com a norma ABNT NBR 9.781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Nos ensaios das dimensões observou-se que nenhuma peça produzida atingiu a espessura de 8 cm, recomendada pela Norma Técnica. Isso se deve ao fato de que a empresa colaboradora padronizou internamente uma medida de espessura menor do que o recomendado. Já as dimensões da largura e do comprimento encontraram-se todas de acordo com a exigência da Norma Técnica, com baixo desvio padrão, comprovando uma moldagem eficiente do processo.

A introdução do resíduo de lodo de gemas na massa de concreto, de acordo com os dados observados no Gráfico 7, conferiu uma absorção de água menor do que a do traço referência. Pôde-se observar que a média da absorção variou de 3,01% a 4,6%, sendo que quanto maior foi a quantidade de lodo de gemas adicionado ao traço, maior foi o valor de absorção de água encontrado. Os traços AF10/LG2 e AF8/LG4 foram os traços que apresentaram os menores índices. Aferiu-se que a absorção de água de todas as dosagens analisadas atendeu aos

parâmetros exigidos pela Norma Técnica, em que diz que a absorção de água determinada, deve ser menor ou igual a 6%.

Gráfico 7 – Resultados do ensaio de absorção de água



Fonte: Do autor

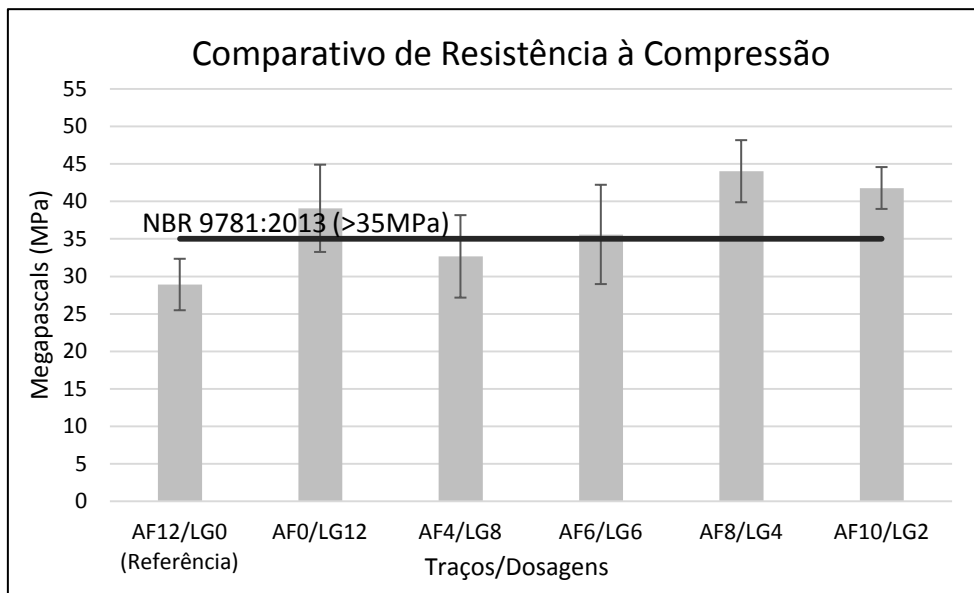
Com a substituição da areia fina por um material de característica pozolônica com menor massa específica, houve o aumento da quantidade de pasta na mistura, o que resultou numa melhoria do aspecto reológico das dosagens onde foi adicionado o resíduo de lodo de gemas.

Esta melhoria, segundo Carmo e Portella (2008), está diretamente relacionada ao menor diâmetro das partículas deste tipo de resíduo, uma vez que reduzem o tamanho e o volume dos vazios, aumentando a densidade do concreto e, conseqüentemente, diminuindo a absorção de água até certa quantidade de mistura. Dependendo da composição granulométrica do traço, pode ainda melhorar o desempenho da resistência à compressão e a durabilidade das peças produzidas, devido principalmente ao processo de refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta de cimento hidratada.

Porém, devido à alta absorvidade de água deste tipo de material, segundo estudos de Lovato (2007) e Tenório (2007), quanto maior for a adição ao traço, maior será a absorção de água do produto final. O Gráfico 8 apresenta o

comparativo entre os resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado nas diferentes dosagens de massa de concreto.

Gráfico 8 – Resultados do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Do autor

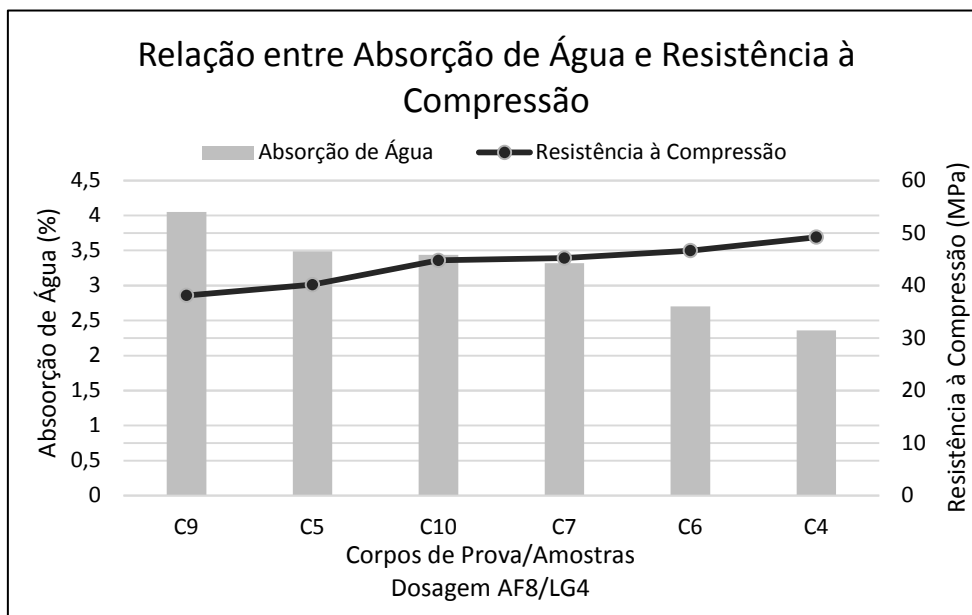
Pôde-se observar nos resultados do ensaio de resistência à compressão que todas as dosagens que tiveram a substituição parcial e, até mesmo total da areia fina pelo resíduo de lodo de gemas, tiveram um aumento em seus valores em comparação ao traço referência.

Os resultados das médias variaram entre 28,91 MPa e 44,02 MPa, sendo que a dosagem que apresentou melhor resultado foi a AF8/LG4. A única dosagem que o resultado médio de resistência à compressão ficou abaixo do que exige a Norma Técnica foi o traço AF4/LG8.

Ao se analisar os resultados individuais de resistência à compressão da Tabela 23, pôde-se observar que estes valores particulares foram discrepantes, apresentando um desvio padrão entre 2,79% e 6,62%, havendo tanto resultados abaixo como acima dos exigidos pela Norma Técnica.

O Gráfico 9 apresenta os resultados da resistência à compressão e da absorção de água para as amostras de uma mesma dosagem, nesse caso a AF8/LG4.

Gráfico 9 – Relação entre absorção de água e resistência à compressão da amostra de traço AF8/LG4



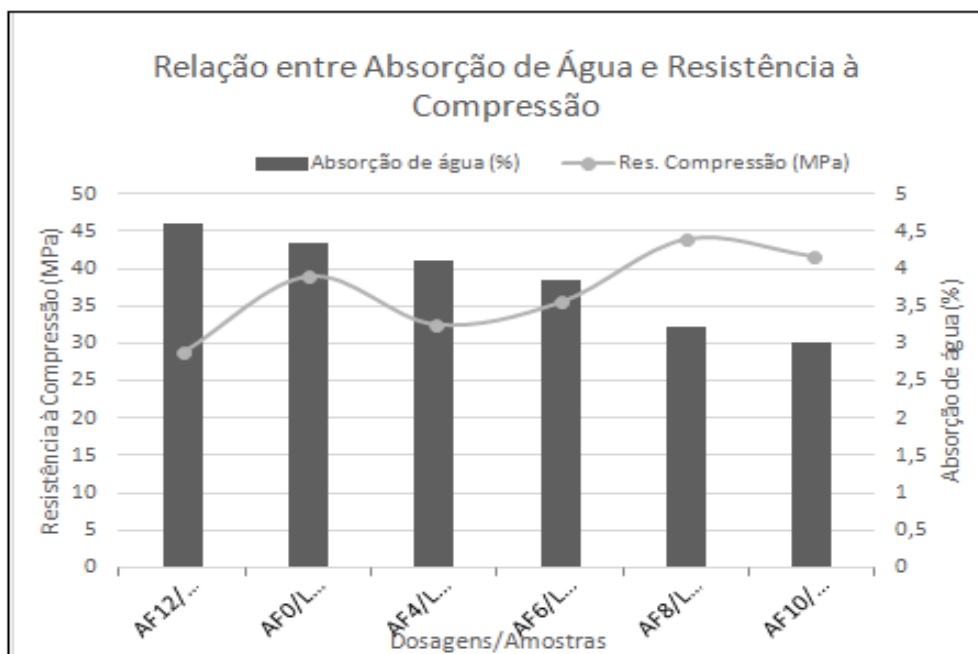
Fonte: Do autor

Através dessa relação entre a resistência à compressão e absorção de água avaliou-se que, dentro de um mesmo traço, quanto menor foi a absorção de água, maior foi a resistência à compressão das amostras. Esse comportamento ocorreu para todos os corpos de provas e isso, provavelmente, deve-se se à eficiência da mistura formulada a partir da substituição parcial da areia fina pelo resíduo do lodo de gemas.

Por fim, o Gráfico 10 mostra os comparativos entre os resultados de resistência à compressão e absorção de água, obtidos para as amostras produzidas por meio do traço referência e as demais amostras estudadas.

Este gráfico mostra que tanto para o parâmetro resistência à compressão como para o parâmetro absorção de água, os resultados médios obtidos nas amostras produzidas por meio das dosagens experimentais foram melhores que o resultado médio apresentado na amostra de referência.

Gráfico 10 – Comparação da resistência à compressão e da absorção de água entre os traços estudados



Fonte: Do autor

Os resultados obtidos nos experimentos da pesquisa permitiram, sobretudo, a compreensão da formulação de dosagens experimentais para a fabricação de um piso intertravado de concreto, onde se substituiu em diferentes proporções a areia fina pelo lodo de gemas. Os resultados contribuíram ainda para analisar o produto fabricado de acordo com sua qualidade.

5 CONCLUSÃO

O trabalho indicou que é possível utilizar o resíduo de lodo de gemas como substituto do agregado miúdo, neste caso a areia fina, na fabricação de pisos intertravados de concreto, em dosagens devidamente formuladas. É importante salientar que os resultados desta pesquisa referem-se especificamente aos experimentos realizados, não devendo ser considerados absolutos, uma vez que se faz necessário a realização de estudos complementares a fim de confirmar o desempenho da utilização do resíduo de lodo de gemas em formulações de concreto.

O emprego do lodo de gemas nas formulações dos traços apresentados trouxe melhorias nas propriedades do produto final, como aumento da resistência à compressão e a diminuição da absorção de água, se comparado ao padrão fabricado. Sob o aspecto ambiental, identificou-se a presença de chumbo e de HTP, o que propõe cuidados especiais na manipulação e no gerenciamento deste resíduo.

Para se conhecer a segurança ambiental do produto fabricado é necessário submetê-los a testes específicos que avaliem o seu lixiviado identificando os constituintes presentes passíveis de contaminação.

É possível afirmar que há indícios de economia na produção dos *pavers* em função dos custos dos agregados reciclados em comparação aos agregados

naturais, fazendo com que este produto seja uma proposta alternativa para o setor da Construção Civil, no que diz respeito aos tipos de pavimentos. Entretanto, é importante que se avalie a logística de transporte deste resíduo até o fabricante dos pavers.

Num panorama atual de desenvolvimento sustentável, a reutilização de um resíduo industrial torna-se uma importante alternativa para a preservação ambiental, contribuindo para um melhor gerenciamento de resíduos e, conseqüentemente, para a diminuição da exploração dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

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

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Pavimento Intertravado é alternativa sustentável para economia de recursos. 2011**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pavimento-intertravado-e-alternativa-sustentavel-para-economia-de-recursos>. Acesso em 08 abr. 2016.

ABETRE - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos. **Panorama das estimativas da geração de resíduos industriais - Relatório final - Maio 2013**. Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2013. Disponível em <<http://www.abetre.org.br/biblioteca/publicacoes/publicacoes-abetre/FGV%20-%20Panorama%20das%20Estimativas%20de%20Ger.%20de%20Res.%20Industriais%20-%20Rel.%20Final.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9.781:2013 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.953:2011 – Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução**. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11.768:1992 – Aditivos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1992.

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

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7.251:1982 – Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 46:2001 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2001a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7.218:1987 – Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 53:2003 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 52:2003 – Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica.** Rio de Janeiro, 2003c.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7.211:2005 – Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.005:2004 – Procedimento para obtenção de lixiviado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 26:2001 – Agregados – Amostragem.** Rio de Janeiro, 2001c.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 27:2001 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.** Rio de Janeiro, 2001d.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 30:2001 – Agregado miúdo – Determinação de absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003c.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 49:2001 – Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2001b.

AMBIENTE BRASIL. **Classificação de resíduos.** Texto digital. Disponível em <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/residuos/classificacao,_origem_e_caracteristicas.html>. Acesso em 11 set. 2015.

BARROS, C. J. **Os resíduos sólidos urbanos na cidade de Maringá – Um modelo de gestão.** Departamento de Engenharia Química. Universidade Estadual do Maringá. Maringá, 2002.

BATISTI, Vanessa de Souza. TATSCH, Ana Lúcia. **O Arranjo Produtivo Local (APL) gaúcho de gemas e joias: estruturas produtiva e comercial, arranjos institucional e educacional e relações interorganizacionais.** Ensaio FEE. v. 33, n. 2. Porto Alegre, 2012.

BEDIN, Marcos Felipe Maule. **Remoção da fração líquida (óleo e água) presente no resíduo da serragem de ágatas por prensagem.** Dissertação. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

BRANCO, Pércio de Moraes; GIL, Cláudio Antônio. **Mapa gemológico do Estado do Rio Grande do Sul.** CPRM. 2. ed. Porto Alegre, 2002.

BRANCO, Pércio de Moraes. A riqueza brasileira em gemas. I Seminário sobre *design* e gemologia de pedras, gemas e joias do Rio Grande do Sul. Soledade, 2009.

BRASIL, Ana Maria. **Equilíbrio ambiental e resíduos na sociedade moderna.** Ed. FAARTE. São Paulo, 2004.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). **Relação de Informações Sociais (RAIS).** Brasília, 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Como lapidar uma gema.** Brasília, 2016. Disponível em: < http://www.redeaplmineral.org.br/pormin/noticias/minerais-e-rochas-descricao-aplicacao-e-ocorrencias/lapidacao_de_gemas_e_diamantes.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2016.

BRUXEL, Fernando Roberto. **A problemática dos resíduos provenientes do setor de gemas: avaliação da incorporação de lodo de gemas na massa cerâmica.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2011.

BRUXEL, Fernando Roberto; OLIVEIRA, Eniz Conceição; STÜLP, Simone; MULLER C. S.; ETCHEPARE, Hélio D. **Estudo da adição de resíduo (lodo) de gemas na massa cerâmica vermelha.** Revista Cerâmica. n. 58, 2012.

CARMO, João Bosco Moreira do. PORTELLA, Kleber Franke. **Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto.** Cerâmica, v. 54, n. 331, São Paulo, 2008.

CASAGRANDE, Marcos Cardoso; SARTORI, Morgana Nuernberg; GOMES, Vaneide; DELLA, Viviana Possamai; HOTZA, Dechamir; DE OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes. **Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico.** Revista Cerâmica Industrial. n. 13, 2008.

CECCHIN, Iziqiel. **Descontaminação de resíduo contaminado com diesel com a aplicação de soilwashing modificado.** Curso de Engenharia Ambiental.

Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2011.

COLUMBIA MACHINE, INC. **Instruction Manual**. Vancouver, 1969.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 313 - Gestão de resíduos e produtos perigosos**. 2012.

CORRÊA, Lásaro. Roberto. **Sustentabilidade na construção civil**. Monografia. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, 2009.

COSTA, Manfred. **Beneficiamento de gemas no Vale do Taquari - diagnóstico e modelo para análise e redução de perdas nos processos produtivos**. Departamento de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

COSTA, Manfred; AMARAL, Fernando Gonçalves. **Modelo para análise e redução de perdas nos processos produtivos das empresas beneficiadoras de gemas no vale do taquari**. Artigo. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, 2007.

COSTA, Rodrigo Morem; JORNADA, Maria Isabel H. **O Arranjo Produtivo Local (APL) de pedras, gemas e joias do Alto da Serra do Botucaraí – Rio Grande do Sul (RS)**. Porto Alegre: FEE, 2013.

COSTENARO, Alessandra. **Indústrias de pedras preciosas: um estudo dos fatores competitivos em empresas de Soledade - RS**. Dissertação. Centro de Ciências Sociais e Humanas. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

CRUZ, Luís Otávio Maia. **Pavimento intertravado de concreto – estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

DEMAJOROVIC, Jacques. **A evolução dos modelos de gestão dos resíduos sólidos e seus instrumentos**. In: "Política ambiental e gestão dos recursos naturais", Cadernos Fundap, mai/ago. 1996.

DE NEGRI, Fernanda. **Padrões tecnológicos e de comércio exterior das firmas brasileiras**. IPEA. Brasília, 2005.

DI GREGORIO, Leandro Torres. **Orientações para fabricação de blocos de concreto e Pisos intertravados. Projeto SHS – Solução Habitacional Simples**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2012.

DOWSON, A. **Mix Design for Concrete Block Paving. Procedures**. I International Conference on CBP, 1980.

DREXHAGE John. MURPHY, Deborah. **Sustainable Development: From Brundtland to Rio 2012**. International Institute for Sustainable Development (IISD). United Nations Headquarters, New York, 2010.

EIRES, Rute Maria Gonçalves. **Materiais não convencionais para uma construção sustentável utilizando cânhamo, pasta de papel e cortiça**. Dissertação. Escola de Engenharia. Universidade do Minho, 2006.

FEE/RS - Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. **Dados do Vale do Taquari**. 2014. Disponível em: <<http://dados.fee.tche.br/>>. Acesso em: 20 set. 2015.

FEE/RS - Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. **População**. 2013a. Disponível em: <http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/estatisticas/pg_populacao.php>. Acesso em: 25 ago. 2015.

FEE/RS - Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. **Resumo estatístico RS — Coredes**. 2013b. Disponível em: <http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_coredes.php>. Acesso em: 12 mar. 2016.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Portaria nº 016/2010**, de 26 de abril de 2010. Porto Alegre, 2010.

FERNANDES, Idário Domingues. **Blocos e pavers - Produção e controle de qualidade**. Ed. Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais. Ribeirão Preto, 2008.

FERREIRA JÚNIOR, Sylvio. **Produção de blocos de concreto para alvenaria – práticas recomendadas**. ABCP – Boletim Técnico 103. 3. ed. São Paulo, 1995.

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico, 2012.

FIORITI, Cesar Fabiano; INO, Akemi; AKASAKI, Jorge Luís. **Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus**. Acta Scientiarum Technology - Portal de Periódicos. v. 32. n. 3. Maringá, 2010.

GOERGEN, Dario André. **Utilização do resíduo “carepa” de aço na fabricação de blocos de concreto**. Curso de Química Industrial, Centro Universitário Univates. Lajeado, 2006.

GUERREIRO, Fernando Dalla Vecchia. **A interdição dos garimpos e seus impactos no desenvolvimento de salto do Jacuí – RS entre os anos de 2010 e 2014**. Monografia. Departamento de Economia e Relações Internacionais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

HEEMANN, Roberto; STRIEDER, Adelir José. **Caracterização geológica das seqüências vulcânicas na região de Salto do Jacuí (RS-Brasil)**. I Simpósio sobre

Vulcanismo e Ambientes Associados. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

HOLDERBAUM, Maurício. **Gestão de resíduos da construção civil: análise da cidade de Porto Alegre**. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

IBGM – Instituto brasileiro de gemas e metais preciosos. **O setor de gemas e metais preciosos em grandes números 2010: informações setoriais. Perfil/Grandes números**. Disponível em: http://www.ibgm.gov.br/consulta_nova/resultadocadeiadegemasanuario. Acesso em: 03/10/ out. 2016.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. v. 2. Ibracon. São Paulo, 2007.

JANASI, Valdecir de Assis. MONTANHEIRO, Tarcisio José. FREITAS, Vivian Azor. de. REIS, Pedro Moraes. NEGRI, Francisco de Assis, DANTAS, Fernanda Amaral. **Geology, petrography and geochemistry of the acid volcanism of the Paraná Magmatic Province in the Piraju-Ourinhos region, SE Brazil**. Revista Brasileira de Geociências. v. 37. n. 4, 2007.

JUCHEM, Pedro Luiz; DE BRUM, Tania Mara Martini; FISCHER, Adriane Comin; LICCARDO, Antônio; CHODUR, Nelson Luiz. **Potencial gemológico da região sul do Brasil**. I Seminário sobre Design e Gemologia de Gemas, Gemas e Jóias do Rio Grande do Sul. Soledade, 2009.

KLEIN, Orlando S. **Pedras preciosas do Rio Grande do Sul: contextos econômico e social**. II Salão das Pedras Preciosas. Secretaria de Energia, Minas e Comunicações. Porto Alegre, 1994.

KRAEMER, Maria Elisabeth Pereira. **A questão ambiental e os resíduos industriais**. Artigo. XXV ENEGEP. Porto Alegre, 2005.

LOPES, Marcio Donizeti. **Responsabilidade ambiental das empresas**. Iusgentium. v.11. n. 6, 2015.

LOVATO, Patrícia Silveira. **Verificação dos Parâmetros de Controle de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Para Utilização em Concreto**. Porto Alegre, 2007. Dissertação. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia Telles. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente. v 1. n. 3, 2008.

LYRA, Mário Limeira de. **Blocos Intertravados de concreto com resíduos de copolímero de etileno-acetato de vinila - EVA para pavimentação de calçadas e passeios públicos**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2007.

MARCHIONI, Mariana Lobo. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.** Dissertação. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

McDOUGALL, Forbes. WHITE, Peter. FRANKE, Marina. HINDLE, Peter. **Gestión Integral de Resíduos Sólidos: Inventario de Ciclo de Vida.** Procter & Gamble Industrial, SCAA. Caracas, 2004.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Pesquisa de dados de exportadores por atividade principal.** Disponível em http://www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br/consulta_nova/resultadoConsulta.asp. Acesso em 28 dez. 2015.

MEHTA, Povindar Kumar. MONTEIRO, Paulo. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. Pini. São Paulo, 2008.

MOURA, Washington. LIMA, Mônica B. Leite. GAMA, João Luiz Calmon Nogueira da. MORATTI, Markus. SOUZA, Fernando Lôrdelo dos Santos. **Produção de pisos intertravados com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais.** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 2006.

NETTO, Rafael Mantuano. **Materiais pozolânicos.** Monografia. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Bookman. São Paulo, 2015.

OTTMAN, Jacquelyn. **Marketing verde – desafios e oportunidades para a nova era do marketing.** Makron Books. São Paulo, 1994.

PETERMANN, Rodrigo. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para pavimentação com metacaulim e sílica ativa.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

PFEIFFENBERGER, Lucas. **Aggregate graduations used for various products formed on the block machine.** Besser Block. Alpena, 1985.

RODRIGUES, Clarissa Ribeiro de Sá. FUCALE, Stela. **Dosagens de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil.** Ambiente Construído. v. 14. n. 1. Porto Alegre, 2014.

ROMANO, Cezar Augusto. **Apostila de tecnologia do concreto.** Instituto Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Engenharia de Produção Civil. Curitiba, 2004.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Norma técnica interna NTS 005 – Óleos e graxas.** São Paulo, 1997.

SANTOS, E. L.; MACIEL L. C. FILHO, J. A. Z. **Distritos Mineiros do Rio Grande do Sul**. DNPM 1º Distrito. Brasília, 1998.

SCHUMANN, Walter. **Gemas do mundo**. 9. ed. São Paulo, 2006.

SESCON-RS – Sindicato das Empresas de Serviços Contábeis e das Empresas de Assessoramento, Perícias, Informações e Pesquisas do Estado do Rio Grande do Sul. **Dados do comércio do Rio Grande do Sul Anuário 2012**. Disponível em <http://sesconrs.com.br/cgibin/template/index.pl?menu=Not%EDcias&chanel=Noticias&opt=0&task=1&acao=view&id=336>. Acesso em 22 mar. 2016.

SILVA, Rodrigo de Almeida. SCHNEIDER, Ivo André H. **Geração de resíduos no processo de ágatas**. Revista de Engenharia Civil. IMED, v. 1. n. 2, 2015.

SINDELAR, Fernanda Cristina Wiebusch. BARDEN, Julia Elisabete; STÜLP, Simone. **Análise da Geração de Resíduos em uma indústria beneficiadora de gemas: um estudo de caso visando o reuso**. International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2013

SISINNO, Cristina L. S. **Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana**. Caderno Saúde Pública. V. 19. Ed. 2. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em <<http://www.scielosp.org/pdf/csp/v19n2/15402.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2015.

SKOOG, Douglas A. WEST, Donald M. HOLLER, James F. CROUCH, Stanley R. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. Thomson. São Paulo, 2006.

SMITH, David. R. **Grand Entrances**. Interlocking Concrete Pavement Magazine. v.10. n. 2, 2003.

SUZIGAN, Wilson. **Identificação, mapeamento e caracterização estrutural de arranjos produtivos locais no Brasil (Relatório Consolidado)**. IPEA/DISET. Brasília, 2006.

TANGO, Carlos Eduardo de Siqueira. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. V International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis, 1994.

TEMPLUM. **Sustentabilidade na construção civil**. Disponível em: <<http://certificacaoiso.com.br/sustentabilidade-na-construcao-civil-com-pbqp-h/>>. Acesso em 19 out. 2015.

TCHOBANOGLIOUS, George; BURTON, Franklim L.; STENSEL, David H. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. Metcalf & Eddy. Nova Iorque, 2003.

TENÓRIO, Jonathas Judá Lima. **Avaliação das Propriedades do Concreto Com Agregados Reciclados de Resíduos da Construção e Demolição Visando**

Aplicações Estruturais. Dissertação. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2007.

THOMAS, Michael. **Supplementary cementing materials in concrete.** CRC Press. New York, 2013.

TOCHETTO, Marta Regina Lopes. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais.** Departamento de Química. Universidade Federal de Santa Maria. CCNE, 2005.

TRAMONTINA, Lanes. CASAGRANDE, Leonardo. GEYER, André. SCHNEIDER, Ivo André Homrich. **Reciclagem do resíduo da serragem de ágatas e ametistas para o aproveitamento em argamassas na construção civil.** XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. ABM. São Paulo, 1998.

VALE, Eduardo. **Análise econômica das pequenas e médias empresas de mineração:** Relatório Final. CPRM. Brasília, 2000.

VIEIRA, Letícia Canal. RIGON, Magali Rejane. DEBASTIANI, Ricardo Salami. BRANDLI, Luciana Londero. **Avaliação dos impactos ambientais do beneficiamento de pedras preciosas.** III Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente de Bento Gonçalves – RS. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2012.

XAVIER, Marilei Bender. **Detecção de Erros Grosseiros no Banco de dados Gravimétrico Terrestre do Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

ZANATTA, Alexandre Lazaretti. **Plano de desenvolvimento com metodologia participativa –APL pedras, gemas e joias (Cidade Polo Soledade).** Graffoluz Editora e Industria Grafica Ltda. Passo Fundo, 2014.

ZANTA, Viviana Maria. **Gestão de resíduos sólidos nas capitais brasileiras: um olhar sob a ótica da governança e sustentabilidade.** Cadernos Adenauer XV. N° 2, 2014. Disponível em <<http://www.kas.de/wf/doc/14815-1442-5-30.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2015.