UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

WALDIR MAGALHÃES DA SILVA

RECUPERAÇÃO DE RESÍDUO NA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA: DE PASSIVO AMBIENTAL A MATÉRIA PRIMA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.

MANAUS - AM

2023

WALDIR MAGALHÃES DA SILVA

RECUPERAÇÃO DE RESÍDUO NA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA: DE PASSIVO AMBIENTAL A MATÉRIA PRIMA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) da Universidade Federaldo Amazonas (UFAM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS MARQUES DA SILVA PAULA.

MANAUS - AM

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586r

Silva, Waldir Magalhães da
Recuperação de resíduo na indústria metal mecânica: de passivo ambiental a matéria prima para construção civil : de passivo ambiental a matéria prima para construção civil / Waldir Magalhães da Silva . 2023
51 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marcos Marques da Silva Paula
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Resíduo. 2. Incineração. 3. Bloco de concreto. 4. Incorporação.
I. Paula, Marcos Marques da Silva. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

WALDIR MAGALHÃES DA SILVA

RECUPERAÇÃO DE RESÍDUO NA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA: DE PASSIVO AMBIENTAL A MATÉRIA PRIMA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Amazonas, sob orientação do Prof. Dr. Marcos Marques da Silva Paula como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcos Marques da Silva Paula - UFAM

Prof. Dra. Consuelo Alves da Frota - UFAM

Prof. Dr. José Henrique Alano - UFRG

MANAUS - AM

2023

RESUMO

Para garantir a credibilidade no mercado consumidor e o crescimento exponencial, as empresas precisam atuar com melhorias de qualidade no meio ambiente. Infere-se que é necessário desenvolver alternativas para minimização dos impactos ambientais e associar essas melhorias com a redução dos custos de produção. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho visa avaliar o reaproveitamento do resíduo gerado na indústria metal mecânica proveniente dos processos de polimento que geram passivo ambiental. Definiu-se que o reaproveitamento será no agregado miúdo para a fabricação de blocos de concreto, e para isso foram feitas diferentes proporções de substituição da areia pela borra de polimento – 5%, 10%, 15%, 20% - avaliando o desempenho físico-mecânico dos blocos de concreto produzidos, foi necessário classificar o resíduo seguindo a NBR 10004/2004 e após o resultado de que o resíduo é classificado como não inerte, ou seja, resíduo não perigoso tornou-se viável seguir com a avaliação. Posteriormente, foi avaliado a relação entre a resistência mecânica e absorção de água dos blocos seguindo a NBR 6136/2016. Na etapa de dosagem das amostras, definiu-se a quantidade de material para cada traço de referência, fator que influenciou a relação de areia com a borra de polimento, e notou-se que as diferentes proporções de incorporação da borra de polimento em substituição do agregado miúdo areia atenderam ao critério de absorção de água (≤10%). A resistência à compressão dos blocos de concreto foram superiores a 3,0MPa em todos os traços, ou seja, atendeu ao valor indicado para os blocos de classe C, durante a realização dessa pesquisa e com os resultados disponibilizados para a empresa, foram fabricados lotes com os parâmetros do traço R5. Nessa etapa de produção, em massa, dos blocos de concreto fabricados com 5% de incorporação da borra de polimento seca analisou-se visando a comparação com o traço de referência e os blocos atenderam aos requisitos físicos normativos, tais como: absorção de água, área líquida, análise dimensional, índice de vazios e massa específica. E com o processo de incorporação, contribuiu-se para a redução na emissão de CO_2 e na redução com custos de operação oriundos do processo de incineração. Diante disso, com a implantação do trabalho existe a estimativa de uma economia superior a R$ 150.000,00/ano no somatório da empresa geradora, além da diminuição na emissão de mais 1tonelada/ano na emissão de $C0_2$.

Palavras-chave: Resíduo, incineração, bloco de concreto, incorporação.

ABSTRACT

To ensure consumer market expectations and exponential growth, companies need to act with quality improvements in the environment. It is inferred that it is necessary to develop alternatives to minimize environmental impacts and associate these improvements with the reduction of production costs. Given this scenario, the objective of this work is to evaluate the reuse of waste generated in the metalworking industry from the polishing processes that generated environmental liabilities. It was defined that the reuse will not be fine aggregate for the manufacture of concrete blocks, for this different proportions of replacement of sand by polishing sludge were made - 5%, 10%, 15%, 20% - and evaluating the physical performance - Mechanical analysis of the concrete blocks produced, it was necessary to classify the waste following NBR 10004/2004 and after the result that the waste is classified as non-inert, that is, non-hazardous waste became viable with the evaluation. subsequently, the relationship between the mechanical strength and water absorption of the blocks was evaluated following NBR 6136/2016. In the sample dosing step, define the amount of material for each reference mix, a factor that influences the ratio of sand to polishing sludge. It was noted that the different proportions of incorporation of the polishing sludge in substitution of the fine aggregate sand met the filling of water absorption (≤10%). The resistance to resistance of the concrete blocks was greater than 3,0MPa in all traits, that is, it met the value indicated for class C blocks. with the parameters of the trait R5. In this stage of mass production of concrete blocks manufactured with 5% incorporation of dry polishing sludge, the analysis was carried out seeking comparison with the reference mix and the blocks met the normative physical requirements, such as: water absorption, liquid area, dimensional analysis, void ratio and specific mass. And with the incorporation process, it contributed to the reduction in CO_2 emissions and the reduction with operating costs oriented to the incineration process. In view of this, with the implementation of the work, there is an estimate of savings of more than R$ 150,000.00/year in the sum of the generating company, in addition to the reduction in the emission of over 1 ton/year in the emission of $C0_2$.

Keywords: Waste, incineration, concrete block, incorporation.

LISTA DE FIGURAS/FLUXOGRAMA

Figura 1 – Características do bloco vazado.....18
Figura 2 – Tipo de resíduo e quantidade destinada para incineração.....20
Figura 3 – Segregação dos tipos de borra: Cromo, fosfato e polimento.....21
Figura 4 – Quantidade (%) destinada para incineração no ano de 2021.....21
Figura 5 – Esquemático dos processos que geram a borra de polimento.....22
Figura 6 – Quantidade de borra de polimento gerada por mês.....23
Figura 7 – Tanque de conteção com resíduo de polimento do aro.....23
Figura 8 – Esquemático do fluxo de destinação da borra de polimento.....25
Fluxograma 1 – Planejamento experimental.....27
Figura 9 – Frasco de Le Chatelier para determinação da massa específica.....29
Figura 10 – Curva granulométrica do insumo areia e bora de polimento.....34
Figura 11 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial (7 dias).....39
Figura 12 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial (14 dias).....40
Figura 13 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial (28 dias).....40
Figura 14 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial (Agrupamento).....42
Figura 15 – Representação dos blocos de concreto fabricados com os parâmetros do traço R5.....44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais blocos comercializados.....17
Tabela 2 – Indústria automotiva: Gestão de resíduos e reciclagem.....19
Tabela 3 – Aspectos para classificação dos resíduos industriais.....24
Tabela 4 – Caracterização do cimento Portland CPV ARI (alta resistência inicial).....29
Tabela 5 – Proporção dos agregados utilizados para a produção dos traços em gramas.....31
Tabela 6 – Ensaio de caracterização dos agregados graúdos e miúdos.....35
Tabela 7 – Resultado analítico da amostra para massa bruta.....35
Tabela 8 – Resultado analítico da amostra para parâmetros inorgânicos de lixiviação.....36
Tabela 9 – Resultado analítico da amostra para parâmetros orgânicos de lixiviação.....36
Tabela 10 – Tempo de lixiviação e pH final do lixiviado.....37
Tabela 11 – Resultado analítico da amostra para parâmetros inorgânicos de solubilização.....37
Tabela 12 – Resultado analítico da amostra para parâmetros orgânicos de solubilização.....38
Tabela 13 – pH do solubilizado.....38
Tabela 14 – Propriedades físicas dos traços avaliados.....39
Tabela 15 – Média e desvio padrão das dimensões e área líquida dos blocos formulados pelo traço R5.....43

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIAÇÕES E NOMENCLATURAS

ONU – Organizações das Nações Unidas
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
PNRS – Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos
Empresa X – Empresa geradora do resíduo da borra de polimento seca
BC – Bloco de concreto
f_{bk} – Resistência característica à compressão axial
M_r – Massa de resíduo
P – Percentual de areia a ser substituída
M_a – Massa total de areia no traço
Y_a – Massa específica da areia
Y_r – Massa específica do resíduo
pH – Grau de acidez
SVOC's – Compostos orgânicos semi-voláteis
VOC – Compostos orgânicos voláteis
LQ – Limite de quantificação
ºC – Graus Celsius
VMP – Valores máximos permitidos
p/p – Peso por peso
HCN – Cianeto de hidrogênio
Mg/L – Miligrama por litro
µg/L – Micrograma por litro
Á.liq – Área líquida
Á.Brut – Área bruta
t – Toneladas
CO_2 – Gás carbônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....11
2 JUSTIFICATIVA.....13
3 OBJETIVOS.....15
3.1 Objetivo geral.....15
3.2 Objetivos específicos.....15
4 REVISÃO DE LITERATURA.....16
4.1 Bloco de concreto.....16
4.2 Empresa geradora dos resíduos de borra.....19
4.3 Borra de polimento de aro seca.....22
4.4 Fluxo de destinação da borra de polimento de aro seca.....24
4.5 Custos e impactos ambientais causados pela incineração da borra de polimento.....25
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....26
5.1 Materiais agregados.....28
5.2 Aglomerante.....29
5.3 Métodos.....30
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....34
6.1 Propriedade física dos materiais.....34
6.2 Massa bruta do resíduo da borra de polimento seca.....35
6.3 Análise de lixiviação para o resíduo da borra de polimento seca.....36
6.4 Análise de solubilização para o resíduo da borra de polimento seca.....37
6.5 Resultado das propriedades físicas dos traços.....38
6.6 Resultado das propriedades mecânicas dos traços.....39
6.7 Resultado dimensional dos blocos.....43
7 CONCLUSÃO.....45
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....46
9 ANEXOS.....49

1 INTRODUÇÃO

A indústria desempenha um papel crucial na sociedade, e para garantir que os valores culturais da organização sejam transmitidos aos consumidores, é necessário estabelecer temas estratégicos que minimizem os impactos negativos e maximizem os positivos. Por exemplo, grandes temas socioambientais que são fundamentais para o desenvolvimento sustentável das organizações. Em outras palavras, a utilização consciente dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente são aspectos essenciais para assegurar a continuidade das atividades e o desenvolvimento econômico.

O gerenciamento responsável da enorme quantidade de resíduos sólidos gerados nas cidades, sejam industriais, domésticos ou comerciais, tem sido um dos grandes desafios enfrentados pelos entes públicos. (Boscov, 2008). A exploração dos recursos naturais, devido ao crescimento do setor industrial e associado ao capitalismo exacerbado, gerou a necessidade de mudanças legais e zelo ambiental. Os processos de transformação utilizados na indústria causam impactos ambientais. Por exemplo, poluição do solo, da água e do ar. E diante desse cenário, torna-se imprescindível ações de sustentabilidade para controle, minimização e redução dos impactos inerentes as atividades desenvolvidas. Dentre as inúmeras ações de sustentabilidade é relevante destacar o mapeamento da geração de resíduo pela fonte geradora e o entendimento de como o resíduo é gerado, visando implementar alternativas para adotar práticas que contribuam para o desenvolvimento industrial e contribuir diretamente na solução de um dos principais objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda das Nações Unidas de 2030: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. (ONU, 2015).

Nesse sentido, alternativas sustentáveis têm sido analisadas para gerar benefícios com reflexo direto na redução do consumo de recursos naturais não renováveis. Como exemplo o processo de incorporação na substituição dos agregados naturais em obras de contenção, blocos de concreto, tijolos, sistemas de drenagem, produção de argamassas entre outros. (Callejas, 2017).

Dessa forma, o material derivado da sobra de produção que não possui utilidade após o processamento e que, geralmente são tratados ou descartados denomina-se como resíduo. Conforme a Norma Brasileira 10004/2004, quando cita a classificação de resíduos sólidos destaca-se o oriundo das atividades industriais que segundo a norma podem apresentar características de biodegradabilidade, de combustibilidade e que quando entram em contato com certos materiais sofrem contaminação podendo assumir propriedades tóxicas. A tratativa

para o resíduo incipiente da fabricação deve ser estudada para evitar impactos ambientais que influenciam diretamente na saúde do ser humano. Com isso, evidencia-se a regulamentação da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, a partir da qual, as empresas devem adotar meios de destinação correta. No Brasil, esse tema é incipiente, há falta de mecanismos que facilitem outras alternativas, além das tradicionais adotadas, tais como: Destinação final nos aterros sanitários e incineração.

A partir disso, este trabalho consiste em avaliar outra alternativa de reaproveitamento para o resíduo oriundo do processo de polimento numa empresa localizada no polo industrial de Manaus - Amazonas e que atua no setor de fabricação, doravante denominada de “Empresa da indústria automotiva” . Esse resíduo possuía como destinação o processo de incineração que gerava emissão de CO_2 na atmosfera e descarte das cinzas no aterro sanitário, localizado em Manaus-AM, além de custos com operação que envolvem a logística da coleta e do transporte. Vale ressaltar que a Empresa da indústria automotiva opera sua linha de produção em 24 horas por dia distribuídos em jornadas compostas por turnos. Consequentemente, devido ao volume desse resíduo necessita-se que a operação seja realizada com periodicidade quinzenal ou mensal, impactando diretamente os gastos gerais de fabricação.

Diante deste cenário, identifica-se uma oportunidade de melhoria para ser analisada na qual destaca-se a alteração da alternativa de reaproveitamento que antes era um passivo ambiental e depois tornou-se matéria prima para construção civil. Então, este trabalho apresentará a metodologia e os resultados das caracterizações físicas e mecânicas da incorporação do resíduo ao bloco de concreto. E posteriormente, será apresentado os resultados obtidos com a implementação desse estudo.

2 JUSTIFICATIVA

Devido o crescimento exponencial na geração de resíduos e os impactos causados provenientes da destinação inadequada, instituiu-se o Panorama dos Resídos Sólidos (PNRS). De acordo com os dados do programa PNRS, a geração de resíduos no Brasil saiu de 66,7 milhões de toneladas em 2010 para 79,1 milhões em 2019, uma diferença de 12,4 milhões de toneladas. Este estudo cita que cada brasileiro produz, em média, 379,2 Kg de resíduo por ano, o que corresponde a mais de 1 Kg por dia. Outro ponto importante, é que a região norte possuí baixa participação no rol de municípios com iniciativas de coleta seletiva e com programas de destinação sustentavéis como medidas alternativas. (Pires, 2021).

Diante deste cenário, é necessário adotar medidas que ensejam mudanças para favorecer na contribuição dos índices ambientais. Ou seja, tornou-se imprescindível rever conceitos de processos para contribuir significativamente com a sociedade. Este estudo demonstra que a parceria e integração da indústria com a universidade é sinônimo de eficácia e que essa integração matricial está atrelada ao tripé das universidades: Ensino, pesquisa e extensão. (Brasil, 1998).

Pesquisas recentes têm focado na incorporação de resíduos nas misturas destinadas a confecção dos blocos de concreto (BC). Visando aperfeiçoar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas e também produzir materiais mais sustentáveis que reduzam a enorme quantidade de resíduos sólidos gerados. (Callejas, 2017). Como exemplo, na produção dos blocos de concreto têm-se: A utilização de resíduos da madeira de Pinus spp. como substituição ao agregado miúdo na produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural. (Lima, 2014); A potencialidade do uso de cinza de casca de arroz em blocos de concreto de alvenaria estrutural: Segundo NBR 6136, 2017. (Padilha, 2017); Estudo comparativo entre blocos de concreto para alvenaria de vedação comuns e blocos de concreto com adição de papel reciclado. (Prazeres, 2018); Confecção de bloco de concreto para vedação com substituição parcial do agregado miúdo por serragem. (Mozer, 2019).

O bloco de concreto é constituído por mistura homogeneizada, usualmente composta por materiais como o cimento portland, agregado miúdo, agregados graúdo, água e aditivos, sua moldagem é realizada por meio de vibração e prensagens. Esses insumos são adequadamente dosados visando à produção de um concreto “seco” destinado a fabricação de blocos de concreto para alvenaria estrutural e também de vedação. São classificados de acordo com seu uso, em termos de requisitos mínimos de resistência característica à compressão axial (f_{bk}) e porcentagens de absorção de água (%): a) Classe A, com função estrutural, para uso em

elementos de alvenaria ($f_{bk} \geq$ 8Mpa) e porcentagem de absorção de água individual do bloco e média menor ou igual a 9% e 8%, respectivamente; b) Classe B, com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do solo (4Mpa $\leq f_{bk} \geq$ 8Mpa) e porcentagem de absorção de água individual do bloco e média menor ou igual a 10% e 9%, respectivamente; e, c) Classe C, com ou sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do solo ($f_{bk} \geq$ 3Mpa) e porcentagem de absorção de água individual do bloco e média menor ou igual a 11% e 10% respectivamente. Para o agregado leve, os valores de porcentagens de absorção de água individual e média se reduzem para 16% e 13%, respectivamente. As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos são de (± 2,0mm) para largura, (± 3,0mm) para altura e comprimento, enquanto a área líquida do bloco de concreto deve ser igual ou inferior a 75% da área bruta. (NBR 6136, 2016).

Conforme as potencialidades observadas nas pesquisas apresentadas, este trabalho foca na recuperação de resíduo na indústria metal mecânica: De passivo ambiental a matéria prima para contrução civil como medida alternativa e contribuição na redução do impacto ambiental. Como contribuição deste estudo, além de preencher a lacuna no conhecimento sobre o tema, a fabricação dos blocos de concreto com a incorporação da borra de polimento seca contribui para assegurar padrões de produção e de consumos sustentáveis e indagar que é possível reduzir custos de fabricação com a implantação de medidas alternativas que substituam as medidas convencionais.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Preparar blocos de concreto incorporando resíduo da indústria metal mecânica automotiva e avaliar sua classificação físico-mecânica.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Classificar o resíduo da borra de polimento conforme NBR 10004/2004;
- Caracterizar os materias que compõe os agregados para determinar a granulometria, massa unitária e massa específica;
- Caracterizar a massa específica do cimento;
- Caracterizar a borra de polimento: Solubilização e lixiviação;
- Realizar ensaios para caracterização dos blocos de concreto – Mecânicos: Resistência à compressão, absorção de água e análise dimensional;
- Realizar ensaios para caracterização dos blocos de concreto – Físicos: Análise dimensional e índice de vazios;
- Avaliar o desempenho físico e mecânico do bloco de concreto quando submetido a diferentes teores da borra de polimento de aro seco, sendo eles 5%, 10%, 15% e 20%.
- Avaliar a relação entre a resistência mecânica dos blocos de concreto e a absorção de água;
- Alcançar a dosagem requerida para Classe C e a resistência mínima de 3Mpa no concreto utilizado para fabricação dos blocos.

4 REVISÃO DA LITERATURA

As novas necessidades convocam as empresas a uma participação ativa na implementação de programas que a levarão ao desenvolvimento sustentável, ou seja, as políticas da indústria têm papel fundamental na redução do impacto ao meio ambiente e no uso dos recursos naturais através de processos com produção eficiente, faz-se necessário medidas que contemplem estratégias preventivas e minimização de desperdícios. (Souza, 2015).

O uso de resíduos, em componentes da construção civil, tem sido um dos temas mais trabalhados e debatidos por pesquisadores, sendo que diversos conhecimentos da área já foram adquiridos. Porém, ainda existe a necessidade de seguirem os estudos. Com a possibilidade de se conquistar uma melhor colocação para o setor a partir do emprego destes resíduos como componentes em concreto, pesquisadores vêm buscando conscientizar ceramistas, construtores, engenheiros, arquitetos e o próprio mercado consumidor quanto à importância destes produtos. (Prudêncio, 2003).

A indústria é um setor fundamental para a economia global, mas também é responsável por impactos ambientais significativos devido ao alto consumo de recursos naturais. Por isso, é cada vez mais importante buscar alternativas de métodos e materiais mais sustentáveis que possam ser incorporados de maneira viável.

4.1 BLOCO DE CONCRETO

O conceito de bloco de concreto surgiu pela primeira vez nos Estados Unidos por volta de 1900, sendo que em 1904 já se escontravam em operação nas máquinas semiautomáticas voltadas para a produção dos blocos. Quando tratamos do bloco de concreto no Brasil, os mesmos começaram a ser produzidos no final dos anos 50, embora sua plena aceitação pelo mercado de construção civil tenha ocorrido na década de 70. (Schankoski, 2012).

Portanto, é possível dizer que os métodos voltados para a fabricação de concretos secos utilizados no contexto dos blocos de concreto já existem há mais de meio século, como é o caso da metodologia proposta por Wilk e Grant em 1948 e de Pfeiffenberger em 1985. Entre as questões abordadas por essas propostas se encontram a faixa granulométrica ideal da composição de agregados e o módulo de finura desses agregados. (Gomes, 2017).

A maioria das normas desenvolvidas com foco em blocos vazados de concreto define esta proposta de forma incompleta, em se tratando especificamente da norma NBR 6136/2016, aponta que o bloco de concreto é definido como um elemento de alvenaria cuja área líquida deve ser igual ou inferior a 75% da área bruta, levando em consideração que a área bruta pode

ser descrita como a área da seção perpendicular aos eixos dos furos sem desconto das áreas dos vazios, ao passo que a área líquida corresponde a área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontando as áreas máximas dos vazios. (Schankoski, 2012). Na tabela 1, observa-se as dimensões dos principais blocos comercializados.

Tabela 1 – Principais blocos comercializados

Designação	Nominal	20	15		12,5			10		7,5
	Módulo	M-20	M-15		M-12,5			M-10		M-7,5
	Amarração	½	½	½	½	½	$^{1}/_{3}$	½	½	½
Linha		20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	7,5x40
Altura (cm)		19	14	14	11,5	11,5	11,5	9	9	6,5
Largura (cm)		19	19	19	19	19	19	19	19	19
Comprimento (cm)	Inteiro	39	39	29	39	24	36,5	39	19	39
	Meio	19	19	14	19	11,5	x	19	9	19
	2/3	x	x	x	x	x	24	x	x	x
	1/3	x	x	x	x	x	11,5	x	x	x
	Amarração L	x	34	x	x	x	x	x	x	x
	Amarração T	x	54	44	x	36,5	36,5	x	29	x
	Compensador A	90	90	x	90	x	x	90	x	90
	Compensador B	40	90	x	40	x	x	40	x	40
Peso unitário (Kg)		16,2	13	8,7	10,4	5,6	9	8	3,6	x

Fonte: (MOHAMAD, 2020). Análise de alvenaria estrutural.

> A norma americana ASTM C 90, por sua vez, descreve que o bloco de concreto é como uma unidade obtida a partir da mistura de cimento portland, água e agregados minerais, com ou sem adição de outros materiais. A norma brasileira refere-se ao bloco com foco nas suas dimensões, enquanto a norma americana conceitua com base nos materiais constituintes. (Schankoski, 2012).

De forma geral, um bloco de concreto pode ser descrito como uma unidade de alvenaria composta de mistura homogênea formada por cimento portland e agregado miúdo e graúdo, sendo posteiormente conformada por meio de vibração e prensagem, podendo alcançar dimensões superiores a 250 x 120 x 55 mm (comprimento x largura x altura). (Schankoski, 2012).

Para o caso dos concretos secos afirma-se que devido a menor quantidade de água empregada no processo de fabricação, apresenta-se uma consistência seca, e ao serem compactados em moldes por pressão permitem a desforma imediata das peças. E na etapa de prensagem dos blocos de concretos secos para moldagem dos blocos de concreto é necessária a utilização de equipamentos chamados de vibroprensas, capazes de compactar e expulsar o ar presente na mistura, por meio da vibração aliada a compressão. O que representou um salto

qualitativo em relação aos processos de fabricação convencionais, pois as vibroprensas permite mais eficiência na etapa de fabricação do bloco de concreto. (Gomes, 2017).

O bloco de concreto é considerado como um dos principais componentes de um projeto de alvenaria estrutural, devido à sua capacidade de conferir resistência à compressão. E afirma-se que estes blocos podem ser descritos como unidades ou elementos construtivos, configurando-se como componente básico da alvenaria, sendo que uma unidade sempre terá como característica três dimensões principais, na forma de comprimento, largura e altura. (Rodrigues, 2016). Na figura 1, apresenta-se as características do bloco vazado.

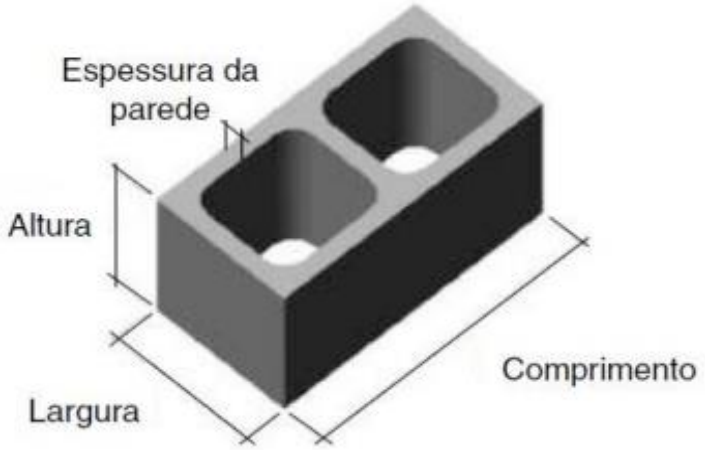


Figura 1 – Características do bloco de concreto vazado – Fonte: (NBR 6136, 2016).

Os concretos de consistência seca, empregados na produção de blocos, possuem características de um concreto levemente umedecido, sendo necessária a utilização de máquinas que conferem compacidade à mistura para retirada do ar aprisionado. A qualidade do maquinário e a do processo produtivo são fundamentais para o alcance da resistência e da qualidade desejada. A resistência dos blocos é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração, sendo a eficiência da vibroprensa a responsável direta pela qualidade final das unidades produzidas. (Buttler, 2007).

Como vantagens da utilização de blocos de concreto, mencionam-se:

i. Elimina quase 100% das formas e das caixarias, consequentemente reduzindo o custo da mão de obra em carpintarias e materiais;
ii. Redução marcante no uso de ferragem, concreto e mão de obra do armados;
iii. Simplificação das instalações elétricas e hidráulicas pela ausência da necessidade de adaptações nas paredes;
iv. Utilização de revestimento com menor espessura, em geral menor que 4 mm

internamente e 6 mm nas faces externas das paredes;

v. Facilidade para treinar a mão de obra que executará o serviço;

vi. Facilidade de detalhamento do projeto, resultando em maior rapidez e facilidade na execução;

vii. Boa resistência ao fogo, ótimo isolamento térmico e acústico;

viii. Grande flexibilidade arquitetônica, pelas dimensões dos blocos, variedades de cores, permitindo detalhamentos estéticos;

ix. Custo final da obra diminuído consideravelmente. (Cavalcante, 2017).

Pensando na sustentabilidade e no reaproveitamento dos materiais, muitos estudos têm sido feitos com o objetivo de utilizar resíduos industriais na produção de blocos de concreto, pela sua capacidade de reduzir tanto o consumo de matérias primas quanto o descarte de resíduos industriais. Nesse sentido, exemplifica-se que se os blocos foram empregados em um contexto de vedação, as pesquisas devem se voltar para a resistência à compressão, bem como a taxa de absorção de água. (Borges, 2012).

4.2 EMPRESA GERADORA DOS RESÍDUOS DE BORRA

Este estudo foi realizado em uma empresa localizada no polo industrial de Manaus, que atua na fabricação de veículos automotores. Por questões de política da empresa, optou-se por não utilizar seu nome oficial, sendo denominada como “Empresa da indústria automotiva”. Em relação à gestão de resíduos da empresa, foi observado que ela possui uma política ativa de gerenciamento e minimização dos impactos ambientais, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Empresa X: Gestão de resíduos e reciclagem

Resíduos perigosos	2019 peso (t)	2020 peso (t)
Reciclagem	795,32	677,23
Recuperação	0	0
Incineração	1.813,81	1.910,84
Aterro	0	0
Outros (especificar) - incorporação	0	0
Outros (especificar) - coprocessamento	923,92	733,95
Resíduos não-perigosos	2019 peso (t)	2020 peso (t)
Reutilização	0	0
Reciclagem	48.281,56	35.123,75
Compostagem	434,42	160,19

Incineração	1.136,84	1.659,05
Aterro	686,19	610,26
Outros (especificar) – Coprocessamento	2.076,90	1.970,88
Outros (especificar) – Ultrafiltração	0	0
VOLUME TOTAL	53.245,33	42,846,16

Fonte: (Empresa da indústria automotiva, 2021). Solicitação para análise dos relatórios da gestão de resíduos.

Assim sendo, nota-se que a Empresa da indústria automotiva gerencia seus resíduos provenientes de suas atividades e dedica-se a aprimorar seus processos produtivos através do desenvolvimento de novos métodos que visam a redução, reutilização e reciclagem. Com base nisso, foi preciso fazer um levantamento dos tipos de resíduos gerados e a quantidade destinada ao processo de incineração, cujos dados podem ser vistos na figura 2.

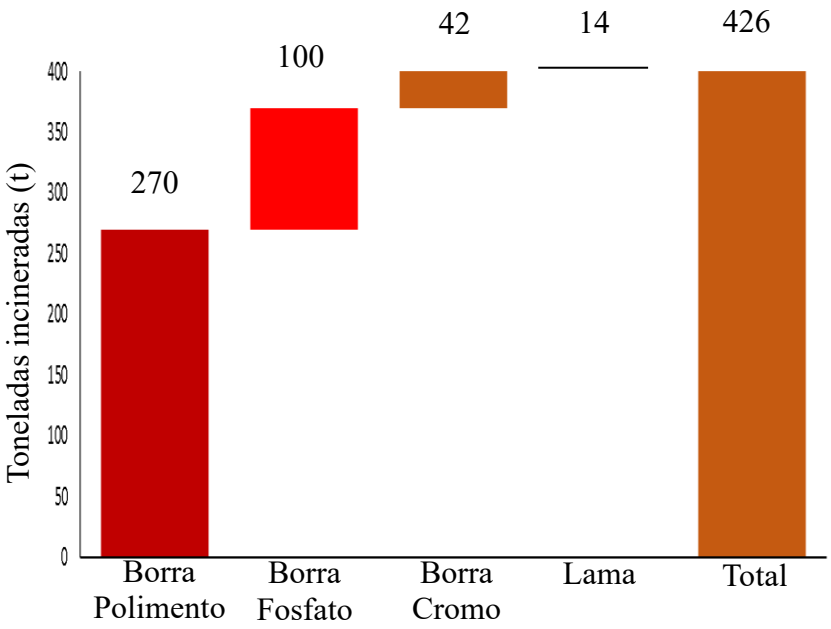


Figura 2 – Tipo de resíduo e quantidade destinada para incineração no ano de 2021 – Fonte: (Empresa da indústria automotiva, 2021).

Após a avaliação dos relatórios ambientais foi necessário segregar os tipos de borras: Polimento, fosfato e cromo (figura 3) para definir qual o tipo que será utilizado no processo de incorporação no bloco de concreto.

Figura 3 – Segregação dos tipos de borra: Cromo, fosfato e polimento, respectivamente. – Fonte: (Empresa da indústria automotiva, 2021).

Tendo como base o ano de 2021, foi necessário estabelecer o quantitativo (%) da representação incinerada no ano para definir a borra a ser trabalhada neste estudo.

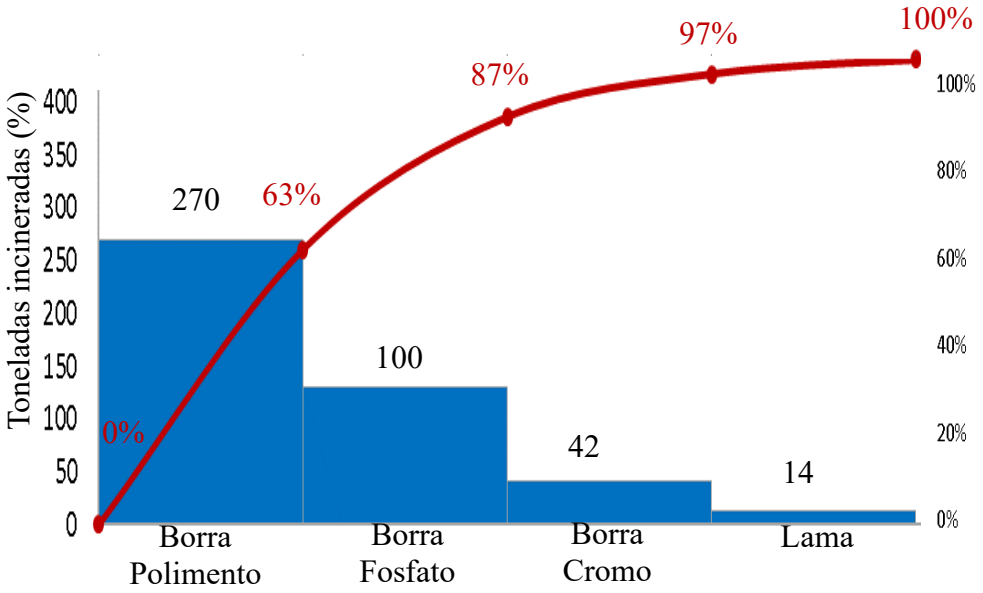


Figura 4 – Quantidade (%) destinada para incineração no ano de 2021 – Fonte: (Empresa da indústria automotiva, 2021).

A partir disso, estabelecendo como critérios para seleção: Custo de operação e maior quantidade destinada ao processo de incineração, ano de 2021, definiu-se que este estudo utilizará a borra de polimento de aro seca para o processo de incorporação no bloco de concreto.

4.3 BORRA DE POLIMENTO DE ARO SECA

A fabricação do aro é composta pelos processos de: Alimentação da matéria-prima, conformação, esmerilhamento de topo, polimentos manuais, polimentos automáticos e puncionadores.

O resíduo da borra de polimento de aro seco ocorrem nos processos de esmerilhamento de topo, polimentos manuais e automáticos, conforme figura 5.

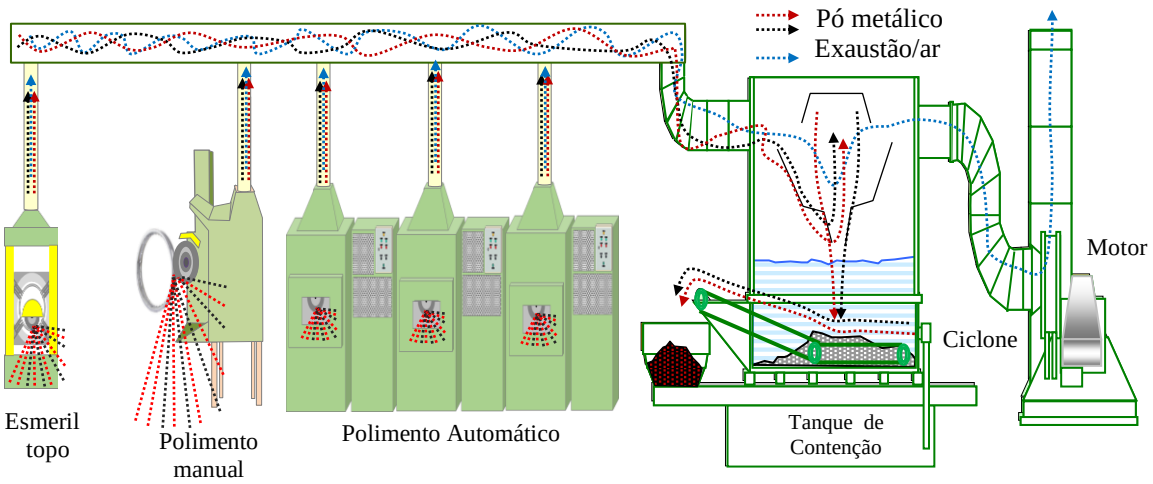


Figura 5 – Esquemático dos processos que geram a borra de polimento – Fonte: (Próprio autor, 2022).

No ano de 2021, a média mensal da geração do resíduo da borra de polimento foi de 23 toneladas. (figura 6). Estes ficam armazenados em tanques de contenção (figura 7) aguardando o início do fluxo de destinação.

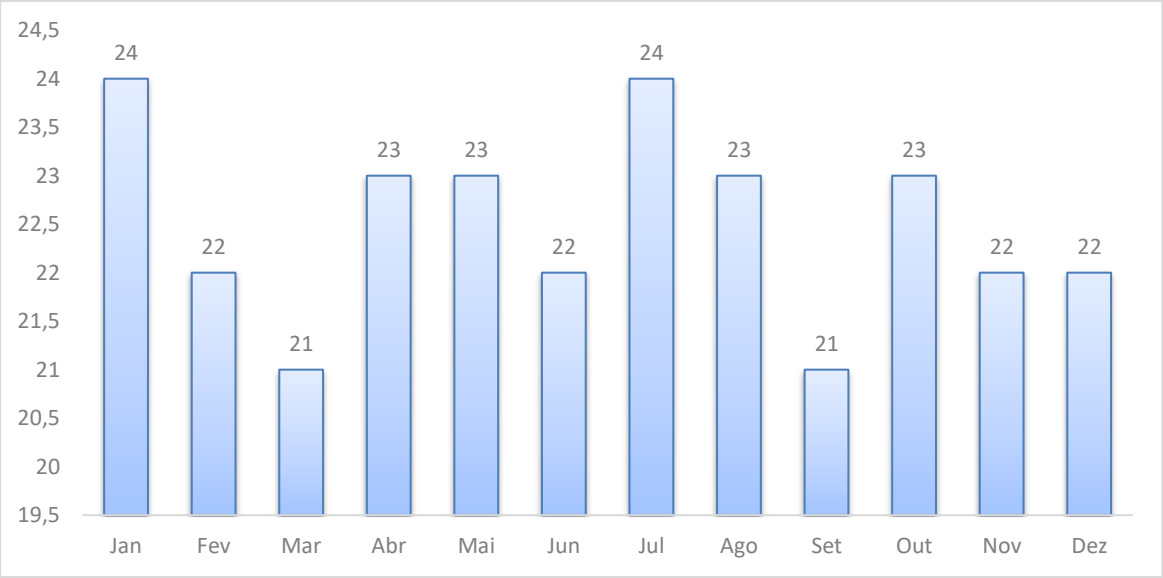


Figura 6 – Quantidade de borra gerada por mês (toneladas) – Ano 2021 – Fonte: (Empresa da indústria automotiva, 2021).

Figura 7 – Tanque de conteção com resíduo de polimento do aro – Ano 2021 – Fonte: (Próprio autor, 2021).

O resíduo da borra de polimento de aro seco, por ser um resíduo industrial deve ser classificado abrangendo dois aspectos (tabela 3): Origem e periculosidade. (NBR 10004, 2004).

Tabela 3 – Aspectos para classificação dos resíduos industriais

Origem	Resíduos sólidos provenientes do ambiente industrial
Periculosidade	Perigosos e Não Perigosos

Fonte: (NBR 10004, 2004).

Classificam-se resíduos perigosos aqueles pertencentes à Classe I, e os descreve com os que isoladamente ou em mistura com outras substâncias, em decorrência da quantidade, concentração, características físicas, químicas ou biológicas, possam causar ou contribuir de modo significativo para proliferação de doenças com potencial de atingimento da saúde pública e danos para o meio ambiente. Os resíduos Classe II, denominados não perigosos são subdivididos em duas classes: Classe II-A-Não inertes podem apresentar propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, e no Classe II-B-Inertes não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção dos aspectos: Cor, turbidez, dureza e calor. (NBR 10004, 2004). Conforme os dados disponibilizados pela Empresa X, o resíduo da borra de polimento de aro seca possui classificação Classe II-A Não Inertes, ou seja, resíduo não perigoso.

4.4 FLUXO DE DESTINAÇÃO DA BORRA DE POLIMENTO DE ARO SECO

Antes da implementação deste trabalho, o gerenciamento do resíduo da borra de polimento de aro seco composto pelas seguintes etapas: coleta, transporte e destinação final (figura 8). É importante ressaltar o controle interno da Empresa, que incluía o monitoramento da quantidade gerada, dos custos de transporte interno, do deslocamento do resíduo para a central de resíduos (já que a empresa possui uma), dos custos de expedição para o transporte externo, dos custos do processo de incineração e do controle da emissão de CO_2 na atmosfera. Como critério para seleção, reforçando, foram considerados o custo de operação e a maior quantidade destinada ao processo de incineração em 2021, o que levou à escolha da borra de polimento de aro seco para a incorporação no bloco de concreto neste estudo.

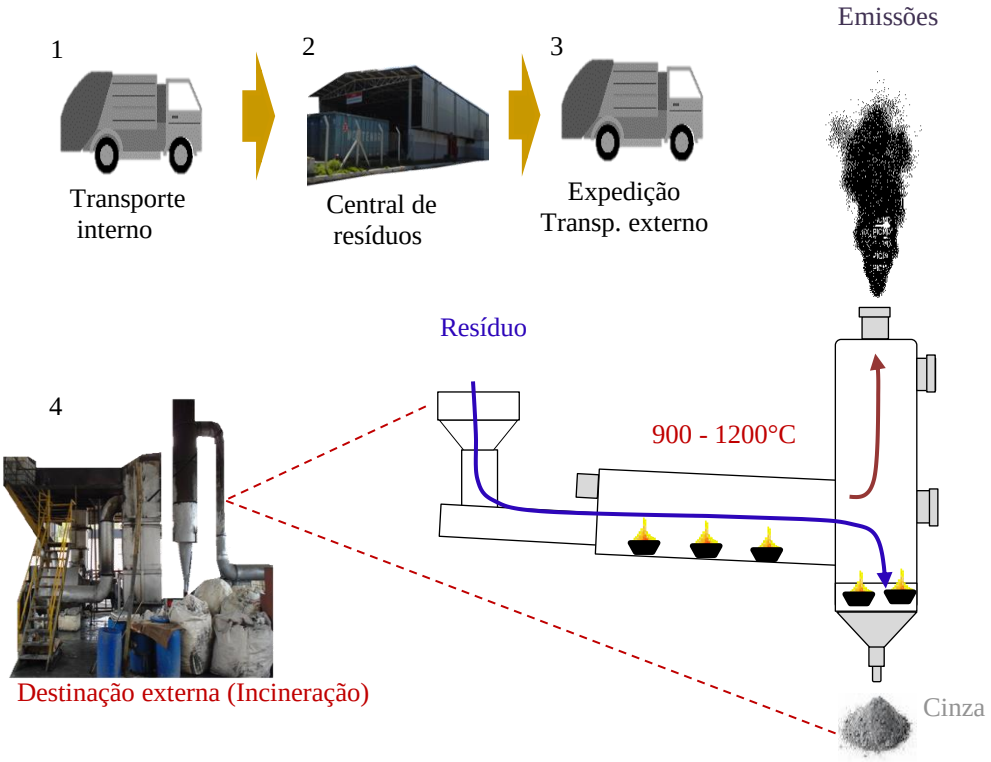


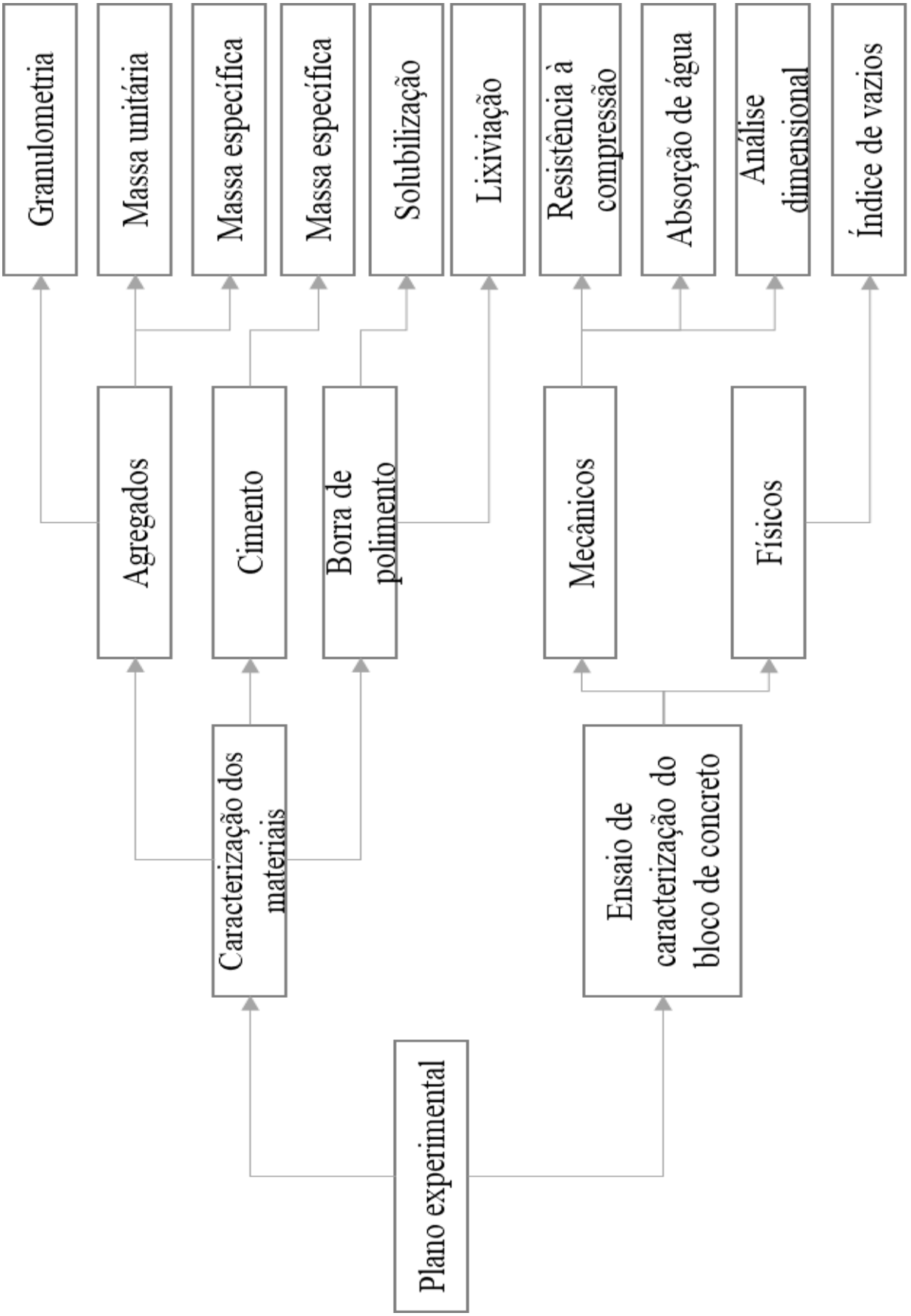
Figura 8 – Esquemático do fluxo de destinação da borra de polimento – Fonte: (Próprio autor, 2022).

4.5 CUSTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA INCINERAÇÃO DA BORRA DE POLIMENTO

Com base nos custos de produção da Empresa automotiva, estima-se que os gastos com a coleta, transporte e incineração da borra de polimento sejam de R$ 157.000,00 por ano. Devido à política da empresa, o valor real não pode ser divulgado, sendo necessário utilizar o termo “estimativa”. Segundo os relatórios disponíveis, essa operação gera uma emissão de 1,1 toneladas de CO_2/ano e descarta cerca de 8,1 toneladas/ano de cinzas no aterro sanitário localizado em Manaus-AM. Neste cenário, é possível identificar uma oportunidade para melhorar a eficiência e reduzir os custos de operação, além de minimizar os impactos ambientais. Com isso, foram iniciados testes analíticos para viabilizar a implementação deste estudo.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em colaboração com uma indústria localizada no polo industrial de Manaus e para a produção dos blocos de concreto, foram utilizados os seguintes materiais: Borra de polimento de aro seca, proveniente do processo fabril, areia, brita 0, cimento e água. O objetivo do experimento é substituir parte da areia pelo resíduo de polimento, avaliando as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de concreto produzidos. Para isso, é necessário planejar a caracterização dos materiais e dos traços utilizados na produção dos blocos, conforme ilustrado no Fluxograma 1.



Fluxograma 1 – Plano experimental

5.1 MATERIAIS

5.1 Agregados

Os agregados graúdos (brita), miúdos (areia) e a borra de polimento utilizados na produção dos blocos de concreto foram disponibilizados pela empresa, localizada no polo industrial de Manaus, a borra de polimento é proveniente do processo fabril de polimento de aro que predominantemente possui aspecto seco.

Com a finalidade de caracterizar as propriedades físicas dos agregados utilizados na moldagem dos blocos de concreto, foram retiradas amostras para serem submetidas aos ensaios de análise granulométrica, massa unitária em estado solto e massa específica. Como parâmetro dos ensaios descritos, utilizou-se como referência o processo das amostras seguindo a norma NBR NM 27. Na borra de polimento realizou-se os testes analíticos para massa bruta, parâmetros inorgânicos de lixiviação, parâmetros orgânicos de lixiviação, parâmetros inorgânicos de solubilização e parâmetros orgânicos de solubilização.

5.2 Aglomerante

A Empresa da indústria automotiva disponibilizou o cimento portland V ARI RS, devido sua alta resistência inicial. Para a determinação da massa específica, utilizou-se o frasco de Le Chatelier com rolha (figura 10), seguindo a NBR NM 23 e para determinação da massa solta aparente, utilizou-se os procedimentos adotados na NBR NM 45, conforme a (tabela 4).

Figura 9 – Frasco de Le Chatelier para determinação da massa específica – Fonte: (Próprio autor, 2022).

Tabela 4 – Caracterização do cimento Portland CPV ARI (alta resistêncial inicial)

Ensaios	Valores obtidos de propriedade
Massa específica (g/cm^3)	3,179
Massa solta aparente (g/cm^3)	1,225

Fonte: (Próprio autor, 2022).

5.3 MÉTODOS

Definiu-se que os blocos fabricados seriam da família (15x40), ou seja, com o intuito de avaliar o impacto da incorporação da borra de polimento de aro seco substituindo o percentual do agregado miúdo (areia) definiu-se que os traços seriam utilizados para confeccionar blocos de concreto nas dimensões 14x19x39cm. Estabeleceu-se também que a dosagem do concreto para a fabricação dos blocos deveria atender a resistência mínima e absorção máxima requerida para a classe C. Dessa forma, a resistência à compressão característica superior a 3 Mpa e a absorção de água inferior a 10%. A produção dos blocos foi realizada em moegas de mistura, disponibilizada pela empresa prestadora de serviços contratada para fabricar blocos de concreto sob demanda. Com isso, as definições atendem os requisitos da NBR 6136.

Utilizou-se como referência nesta pesquisa o traço utilizado na proporção de 1:19,19 ou seja, para cada 1Kg de cimento foram utilizados 19,19Kg de agregados em massa para produzir blocos que possam alcançar resistência superior a 4MPa. Dessa forma, estipula-se o traço de referência para posteriormente substituir parcialmente o agregado miúdo areia por borra de polimento de aro seco e avaliar o comportamento físico-mecânico. Para o início dos experimentos, foi necessário avaliar o levantamento de outras pesquisas que possuem relação com o tema deste trabalho, como exemplo: Blocos de concreto fabricados com incorporação de resíduos sólidos: Uma revisão sistemática. (OLIVEIRA, 2020).

Após as definições e citações supracitadas, a pesquisa foi conduzida em laboratório para avaliar e classificar o tipo de resíduo e também definir a proporção de incorporação no agregado miúdo (areia). Para tanto, definiu-se quatro porcentagens de incorporação para a base cimentícia do bloco: uma com 5%, outra com 10%, outra com 15% e por fim uma com 20% de incorporação. Com isso, deverá ser considerado que a massa ocupada pela areia no concreto passará a ser ocupada por massa de partículas da borra gerada pelo polimento do aro. A partir do traço de referência, calculou-se a incorporação da borra de polimento nos teores supracitados, mantendo-se o volume para o fator água e cimento.

O cálculo para incorporação do resíduo foi baseado na (equação 1), em que M_r é a massa de resíduo a ser utilizada no traço (g), P (%) o percentual de areia a ser substituída pela borra de polimento, M_a a massa total de areia no traço, Y_a a massa específica de areia (g/cm^3) e Y_r a massa específica do resíduo (g/cm^3).

$$Mr = P(\%).\frac{Ma\ x\ Yr}{Ya\ x\ 100} \qquad (1)$$

Durante a realização dos testes e considerando os teores para substituição da borra de polimento, definiu-se os seguintes termos: Traço de referência = Traço Ref; Traço com substituição de areia por borra de polimento na proporção de 5% = Traço R5; Traço com substituição de areia por borra de polimento na proporção de 10% = Traço R10; Traço com substituição de areia por borra de polimento na proporção de 15% = Traço R15 e Traço com substituição de areia por borra de polimento na proporção de 20% = Traço R20. A tabela 5 ilustra o quantitativo de cada insumo utilizados nos traços expressos em gramas (g).

Tabela 5 – Proporção dos agregados utilizados para a produção dos traços em gramas

Traços	Cimento	Areia	Brita	Água	Resíduo: Borra de polimento
Traço Ref	291	3080	1090	412,4	0
Traço R5	291	2956	1090	412,4	124
Traço R10	291	2772	1090	412,4	308
Traço R15	291	2618	1090	412,4	462
Traço R20	291	2464	1090	412,4	616

Fonte: (Próprio autor, 2022).

E com isso, foram confeccionados 12 corpos de prova de forma manual para cada traço (Traço Ref, Traço R5, Traço R10, Traço R15, Traço R20), a moldagem foi realizada em moldes cilíndricos de 5x10cm, onde a mistura foi compactada em camadas com 30 golpes. A desmoldagem ocorreu após 24 horas e os blocos foram submersos através do processo de imersão em água para posteriormente ser realizado os ensaios de absorção de água, índice de vazios e resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias.

Após a definição dos traços, foi realizado os ensaios de massa específica (μ) (equação 2), absorção de água (α) (equação 3) e índice de vazios (Iv) (equação 4). Primeiramente, realizou-se a secagem do corpo de prova por meio de estufa por 24h e posteriormente houve o registro da pesagem dessa massa seca (ml). Após esses procedimentos, os corpos de prova ficaram em temperatura ambiente, que foram imersos em água durante 24h, e posteriormente foram secos e pesados na condição de saturado com superfície seca. E assim, foi determinada a massa do corpo de prova quando imerso por meio de balança hidrostática.

$$\mu = \frac{m1}{m1 - m3} \tag{2}$$

$$\alpha(\%) = \frac{m2 - m1}{m1} x100 \tag{3}$$

$$Iv(\%) = \frac{m2 - m1}{m2 - m3} x100 \tag{4}$$

Os resultados dos ensaios tiveram seus valores representados por meio de média e desvio padrão por meio de três determinações em cada traço confeccionado. O ensaio ocorreu em laboratório com utilização de prensa hidráulica para mensurar a carga de ruptura suportada pelos traços de concreto. O ensaio de resistência à compressão axial foi executado em três corpos de prova de cada traço pesquisado, nas idades de 7, 14 e 28 dias. Na execução dos ensaios, os corpos de prova foram previamente retirados do tanque de cura e após secos e posicionados longitudinalmente na prensa de forma centralizada com as bases da prensa. Após esse procedimento, foi submetido uma carga crescente, em toneladas, com velocidade constante até a ruptura. Para demonstrar o valor da resistência de cada traço foi representado por meio da média simples e desvio padrão nas três determinações. O objetivo é avaliar o atendimento dos requisitos do desempenho físico-mecânico.

Conforme a definição da (tabela 5) da porcentagem de incorporação, estabeleceu-se o procedimento para a produção dos blocos de concreto da família (M15) com dimensões de 140x190x390mm. A partir disso, é necessário observar os requisitos técnicos de absorção de água, análise dimensional, ensaios de compressão, índice de vazios e massa específica.

Os ensaios de absorção de água, massa específica, índice de vazios foram realizados em três blocos de concreto para cada traço. O cálculo da área líquida do bloco (Alq), expresso em cm^2, foi baseada na (equação 5), em que y é a massa específica da água utilizada no ensaio, expressa em g/cm^3; h é a altura média do corpo de prova medida na direção perpendicular à seção de trabalho, expressa em cm.

$$Alq = \frac{m2 - m3}{h\ x\ y} x1000 \tag{5}$$

No ensaio de análise dimensional coletou-se as dimensões na amostra de seis blocos de cada traço: Ref, R5, R10, R15 e R20. Conforme largura (b), altura (h), comprimento (l), espessura das paredes longitudinais (el), espessura das paredes transversais (et), dimensões dos furos. O valor de cada dimensão do corpo de prova foi resultado da média de três determinações em pontos distintos. Para a espessura das paredes foram realizadas duas determinações em cada parede transversal e na parede longitudinal, as dimensões foram aferidas com precisão de 1mm através do paquímetro calibrado.

O ensaio de resistência à compressão foi executado em seis blocos de cada traço, seguindo os procedimentos estabelecidos na NBR 6136, nas idades de 14 e 28 dias. A tensão de ruptura dos blocos (Mpa) foi determinada baseado na NBR 12118.

Em paralelo, realizou-se uma análise mais apurada na borra de polimento de aro seco como métodos analíticos estabeleceu-se parâmetros para serem apurados, tais como: Fluoretos (SMEWW 4500-F-C-Íon-Selective Electrode Method), pH (SMEWW 4500 -H+ -B – Electrometric Method), Ponto de fulgor (Medida em vaso fechado), Cianeto (POP PA 122 / Method OIA-1677), SVOC's (POP PA 076, 096 / USEPA SW 846 - 8270D e 3510C, SMWW 6410B), Mercúrio (POP PA 037 / USEPA 1631,245.7), Ânions (POP PA 032 / USEPA SW 846 - 300.1), Surfactantes (POP PA 023 / SMWW 5540 C), Metais (POP PA 035 / SMWW 3120B, USEPA 6010), Índice de fenóis (Água: POP PA 024 / USEPA SW 846 – 9065), Lixiviação (POP PA 062 / ABNT NBR 10005:2004), VOC (Água: POP PA 075 / USEPA SW 846 8260C, 5021A), VOC 2 lixiviado (POP PA 075 / USEPA SW 846 8260C, 5021A), Sólidos totais (POP PA 009 (Ver.04) / SMWW 2540B), solubilização (POP PA 053 / ABNT NBR 10006:2004), Sulfeto (POP PA 065 / USEPA SW 846 - 9030,9034) e toxafeno (POP PA 093 / USEPA SW 846 – 505).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 PROPRIEDADE FÍSICA DOS MATERIAIS

Na determinação dos extratos de solubilizado e lixiviado do resíduo da borra de polimento de aro seca foi baseada no Standard Methods – SW 846 USEPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number 846, Washington, DC, (BIOAGRI) e como normas de referências: NBR 10004 (Classificação de resíduos sólidos), NBR 10005 (Ensaio de lixiviação), NBR 10006 (Ensaio de solubilização).

As propriedades físicas dos materiais utilizados como matérias primas para a produção do bloco de concreto podem ser observadas na (figura 10) e na (tabela 4). O módulo de finura da areia é 2,26, caracterizando-a como fina, com curva ganulométrica dentro da zona ótima conforme a NBR 7211. O mesmo ocorreu com a borra de polimento de aro seca, com módulo de finura de 2,38, com curva granulométrica inserida dentro dos limites da norma NBR NM 27.

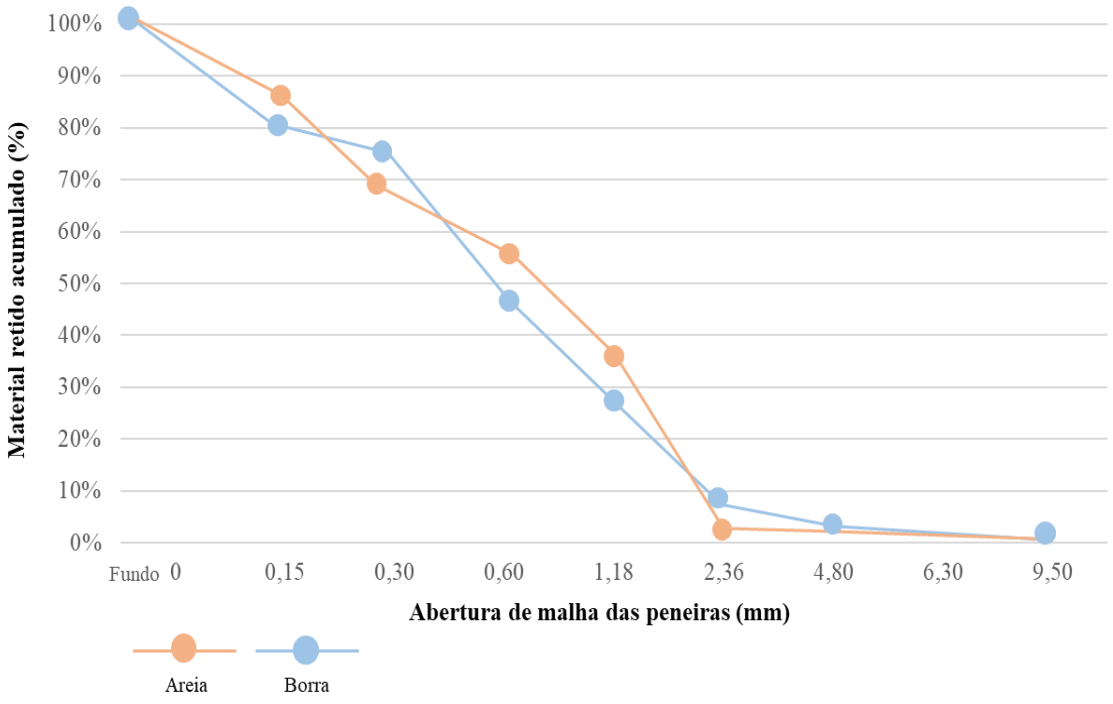


Figura 10 – Curva granulométrica do insumo areia e borra de polimento – Fonte: (Próprio autor, 2022).

Tabela 6 – Ensaio de caracterização dos agregados graúdos e miúdos – Fonte: (Próprio autor, 2022).

Agregado	Foto	Ensaios	Valores obtidos
Areia		Massa específica (g/cm^3)	2,140
		Massa aparente solta (g/cm^3)	1,137
		Diâmetro característico máximo (mm)	2,340
		Módulo de finura	2,260
Brita 0		Massa específica (g/cm^3)	2,030
		Massa aparente solta (g/cm^3)	1,158
		Diâmetro característico máximo (mm)	9,50
		Módulo de finura	5,42
Borra de polimento de aro seco		Massa específica (g/cm^3)	2,196
		Massa aparente solta (g/cm^3)	1,159
		Diâmetro característico máximo (mm)	4,750
		Módulo de finura	2,380

6.2 MASSA BRUTA DO RESÍDUO DA BORRA DE POLIMENTO SECA

Como método analítico utilizou-se os parâmetros de: fluoretos, pH, ponto de fulgor, cianeto, SVOC's, mercúrio, ânions, surfactantes, metais, índice de fenóis, lixiviação, VOC-água, sólidos totais, solubilização, sulfeto e toxafeno. Conforme a NBR 10004, segue o resultado analítico da amostra para massa bruta. (tabela 7) Comparando-se os resultados obtidos com os valores máximos permitidos afirma-se que os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Tabela 7 – Resultado analítico da amostra para massa bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP–NBR 10004:2004
Ponto de Fulgor	ºC	-	30	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)	ºC	0-14	6,2	2,0-12,5 (b)
Sulfeto (como H2S)	Mg/kg	2	3,6	500

(%) de sólidos	%p/p	0,05	96,9	-
Cianeto (como HCN)	Mg/kg	0,2	<0,2	250

Massa bruta – Observações dos parâmetros.
(a) = Avaliação da inflamabilidade – Item “a” do tópico 4.2.1.1 da NBR 10004:2004;
(b) = Avaliação da corrosividade – Item “a” do tópico 4.2.1.2 da NBR 10004:2004;
(d) = Valor máximo para resíduos;
> Avaliação da reatividade – Item “e” do tópico 4.2.1.3 da NBR 10004:2004;
LQ: Limite de quantificação;
VMP: Valores máximos permitidos pela norma ABNT NBR 10004:2004;
Resultados referem-se à amostra da borra de polimento seca.

6.3 ANÁLISE DE LIXIVIAÇÃO PARA O RESÍDUO DA BORRA DE POLIMENTO

Avaliou-se os parâmetros inorgânicos (tabela 8) e os orgânicos (tabela 9) de lixiviação, seguindo a NBR 10005. E comparando-se os resultados obtidos com os valores máximos permitidos pela NBR 10004 – Anexo F e G, afirma-se que os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Sobre a (tabela 9) para maiores detalhamentos dos outros parâmetros, consultá-la em anexo. Na (tabela 10) apresenta-se o resultado analítico para o tempo de lixiviação e o pH final do lixiviado.

Tabela 8 – Resultado analítico da amostra para parâmetros inorgânicos de lixiviação

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP–NBR 10004:2004
Arsênio	mg/l	0,01	<0,01	1,0
Bário	mg/l	0,01	2,5	70,0
Cádmio	mg/l	0,01	<0,001	0,5
Chumbo	mg/l	0,01	<0,01	1,0
Cromo	mg/l	0,01	0,072	5,0
Fluoreto	mg/l	0,1	0,3	150
Mercúrio	mg/l	0,00005	<0,00005	0,1
Prata	mg/l	0,005	<0,005	5,0
Selênio	mg/l	0,005	<0,008	1,0

Tabela 9 – Resultado analítico da amostra para parâmetros orgânicos de lixiviação

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP–NBR 10004:2004
1,1-Dicloroeteno	mg/l	0,001	<0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/l	0,001	<0,001	1,0
Benzeno	mg/l	0,001	<0,001	0,5
Metiletilcetona	mg/l	5	<5	200
Cloreto vinila	mg/l	0,001	<0,001	0,5
Clorofórmio	mg/l	0,001	<0,001	6,0
Hexaclorobenzeno	mg/l	0,0005	<0,0005	0,1
Metoxicloro	mg/l	0,0005	<0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/l	0,0002	<0,0002	2,0

Toxafeno	mg/l	0,0001	<0,0001	0,5

Tabela 10 – Tempo de lixiviação e pH final do lixiviado – (NBR10005/2004)

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP–NBR 10004:2004
Tempo de lixiviação	H	-	18	16-20
Solução de extração	-	-	1	-
pH final do lixiviado	-	-	5,00	-

6.4 ANÁLISE DE SOLUBILIZAÇÃO PARA O RESÍDUO DA BORRA DE POLIMENTO

Avaliou-se os parâmetros inorgânicos (tabela 11) e os orgânicos (tabela 12) de solubilização, seguindo a NBR 10006. E comparando-se os resultados obtidos com os valores máximos permitidos pela NBR 10004 – Anexo F e G, afirma-se que os parâmetros bário, cromo, índice de fenóis, fluoreto, surfactantes atendem os limites máximos permitidos. No entanto, os parâmetros alumínio, ferro e manganês ultrapassaram o valor máximo permitido pela norma especificada no anexo G (Solubilizado) devido a natureza da amostra. No entanto, esse fato não alterará a classificação do resíduo. Comparando-se os resultados obtidos com os valores máximos permitidos pela NBR 10004, afirma-se que a maioria dos parâmetros atendem o limite máximo permitido, na (tabela 13) apresenta-se o pH do solubilizado.

Tabela 11 – Resultado analítico da amostra para parâmetros inorgânicos de solubilização

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP–NBR 10004:2004
Alumínio	mg/l	0,01	0,3	0,2
Arsênio	mg/l	0,01	<0,01	0,01
Bário	mg/l	0,01	0,691	0,7
Cádmio	mg/l	0,001	<0,001	0,005
Chumbo	mg/l	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/l	0,05	<0,05	0,07
Cloreto	mg/l	10	<10	250
Cobre	mg/l	0,005	0,123	2,0
Cromo	mg/l	0,01	0,148	0,05
Ferro	mg/l	0,01	2,8	0,3
Fluoreto	mg/l	1	1,4	1,5
Índice de Fenóis	mg/l	0,01	<0,01	0,01
Manganês	mg/l	0,01	0,6	0,1
Mercúrio	mg/l	0,00005	<0,00005	0,001
Nitrato	mg/l	1	<1	10,0
Prata	mg/l	0,005	<0,005	0,05
Selênio	mg/l	0,008	<0,008	0,01
Sódio	mg/l	0,5	43,9	200

Sulfato	mg/l	10	25,6	250
Surfactantes	mg/l	0,1	0,4	0,5
Zinco	mg/l	0,01	3,8	5,0

Tabela 12 – Resultado analítico da amostra para parâmetros orgânicos de solubilização

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP–NBR 10004:2004
2,4,5-T	mg/l	0,01	<0,01	0,002
2,4,5-TP	mg/l	0,01	<0,01	0,03
2,4-D	mg/l	0,005	<0,005	0,03
Aldrin e Dieldrin	mg/l	0,0003	<0,0003	0,00003
Clordano (isômeros)	mg/l	0,001	<0,001	0,0002
DDT (isômeros)	mg/l	0,005	<0,005	0,002
Endrin	mg/l	0,001	<0,001	0,0006
Hexaclorobenzeno	mg/l	0,005	<0,005	0,001
Metoxicloro	mg/l	0,005	<0,005	0,02
Toxafeno	mg/l	0,0001	<0,0001	0,005
Heptacloro	mg/l	0,0002	<0,0002	0,00003
Lindano (g-BHC)	mg/l	0,0005	<0,0005	0,002

Tabela 13 – pH do solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP–NBR 10004:2004
pH final do lixiviado	-	0-14	6,53	-

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo da borra de polimento de aro seca deve ser classificada como Classe II A – Resíduo Não Inerte. Em anexo, seguem os resultados analíticos do controle de qualidade do mercúrio, dos metais totais, da recuperação de surrogates, do parâmetro ítrio e do dibromofluorometano.

6.5 RESULTADO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS TRAÇOS

Foram avaliadas as propriedades físicas dos traços pesquisados (Traço Ref, Traço R5, Traço R10, Traço R15, Traço R20), tais como: massa específica seca, índices de vazios e absorção de água, conforme a (tabela 14), com seus valores médios e com o desvio padrão. Durante a avaliação dos traços observou-se que a elevação da massa específica possui relação com o entrosamento entre as partículas, o que possivelmente pode gerar uma redução no índice de vazios e de absorção de água. Em todos os traços atendeu-se o requisito normativo estabelecido pela NBR 6136 de até 10% de absorção de água.

Tabela 14 – Propriedades físicas dos traços avaliados

Parâmetro	Massa específica seca (g/cm^3)	Índice de vazios (%)	Absorção de água (%)
Traço Ref	1,87±0,033	17,92±0,057	4,67±0,056
Traço R5	1,69±0,021	16,32±0,060	5,38±0,030
Traço R10	1,74±0,072	16,94±0,128	6,71±0,107
Traço R15	1,78±0,041	17,18±0,081	7,01±0,068
Traço R20	1,79±0,038	17,92±0,057	4,67±0,056

6.6 RESULTADO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS TRAÇOS

Observa-se, na figura 11, o resultado obtido do ensaio de resistência mecânica à compressão axial na idade de 7 dias, e na figura 12 o resultado do ensaio de resistência mecânica na idade de 14 dias e na figura 13 o resultado do ensaio de resistência mecânica na idade de 28 dias. Conforme o decorrer das idades nota-se a elevação da resistência média à compressão axial e também que os traços (Traço R5 e traço R10) apresentaram melhor desempenho seguindo os critérios estabelecidos na NBR 6136 no que tange as propriedades.

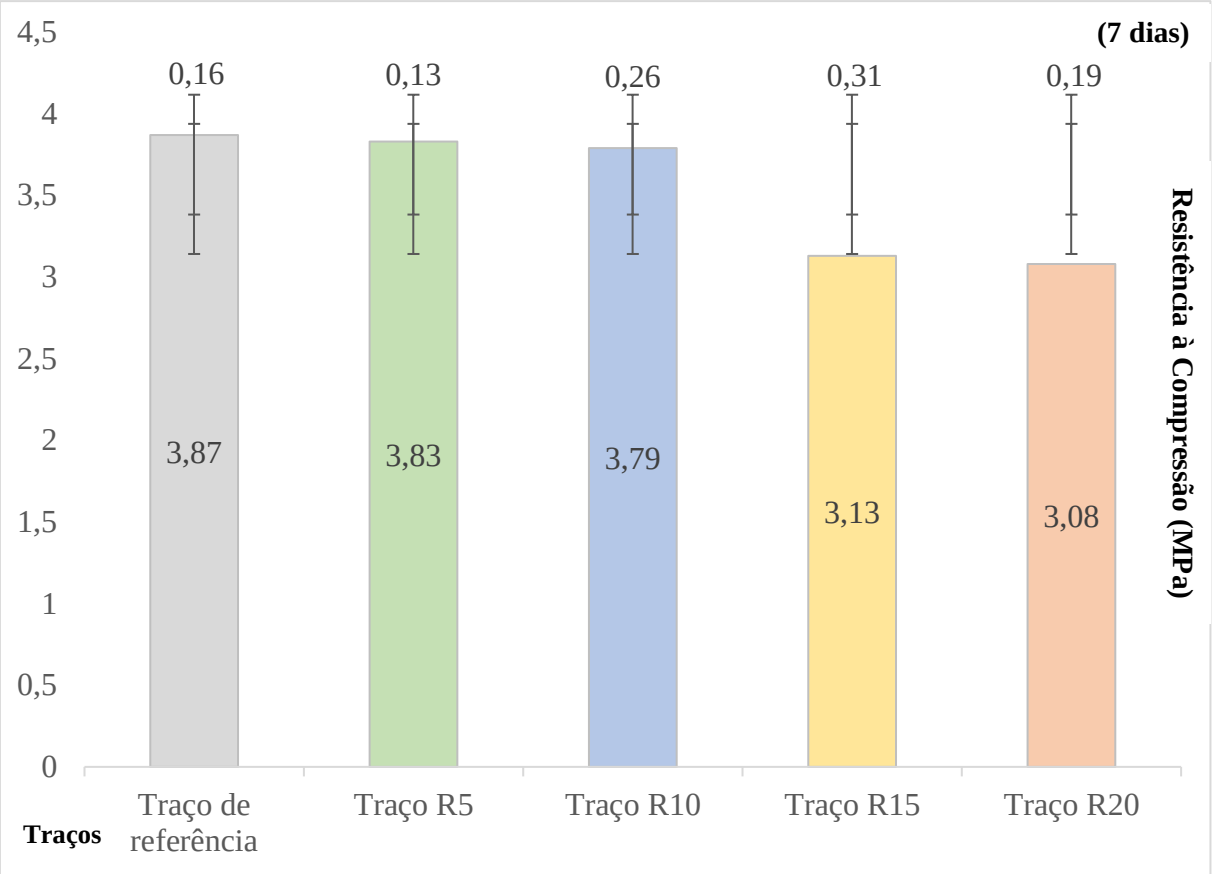


Figura 11 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial (7 dias) – Fonte: (Próprio autor, 2022).

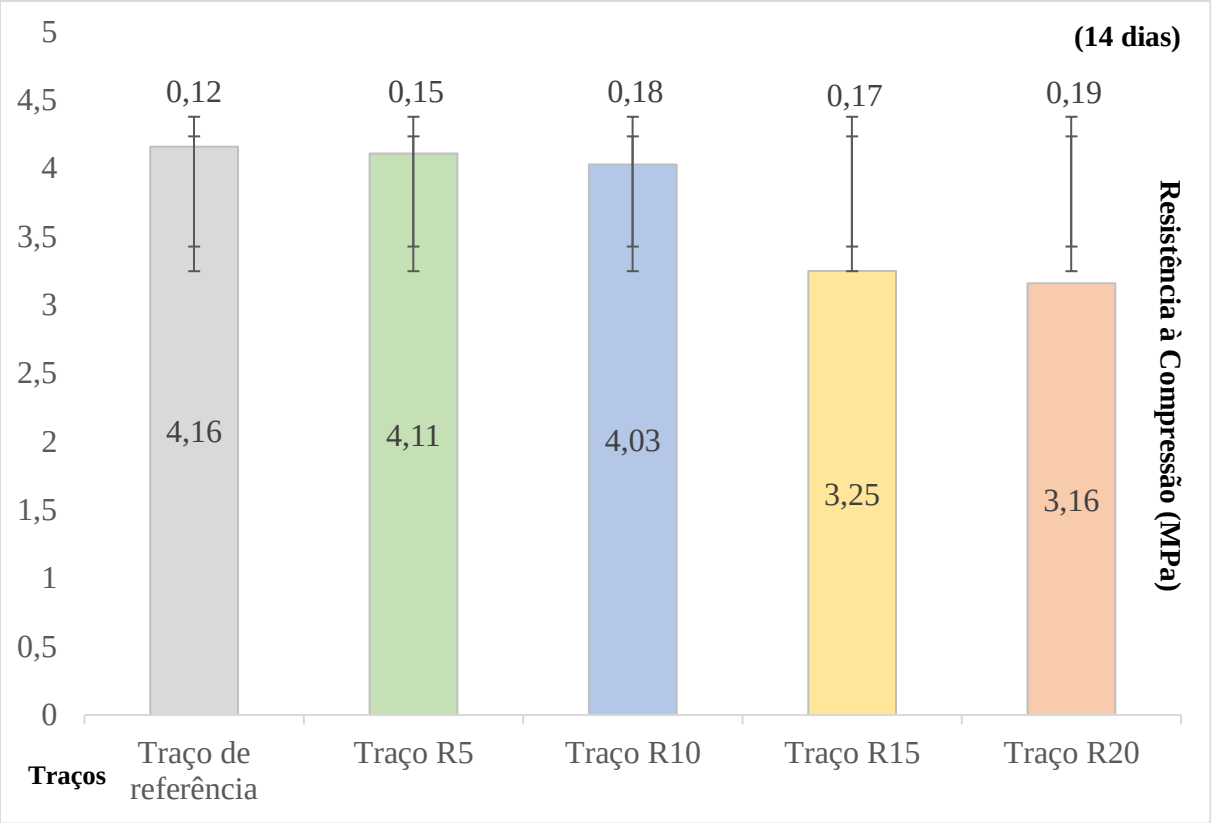


Figura 12 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial (14 dias) – Fonte: (Próprio autor, 2022).

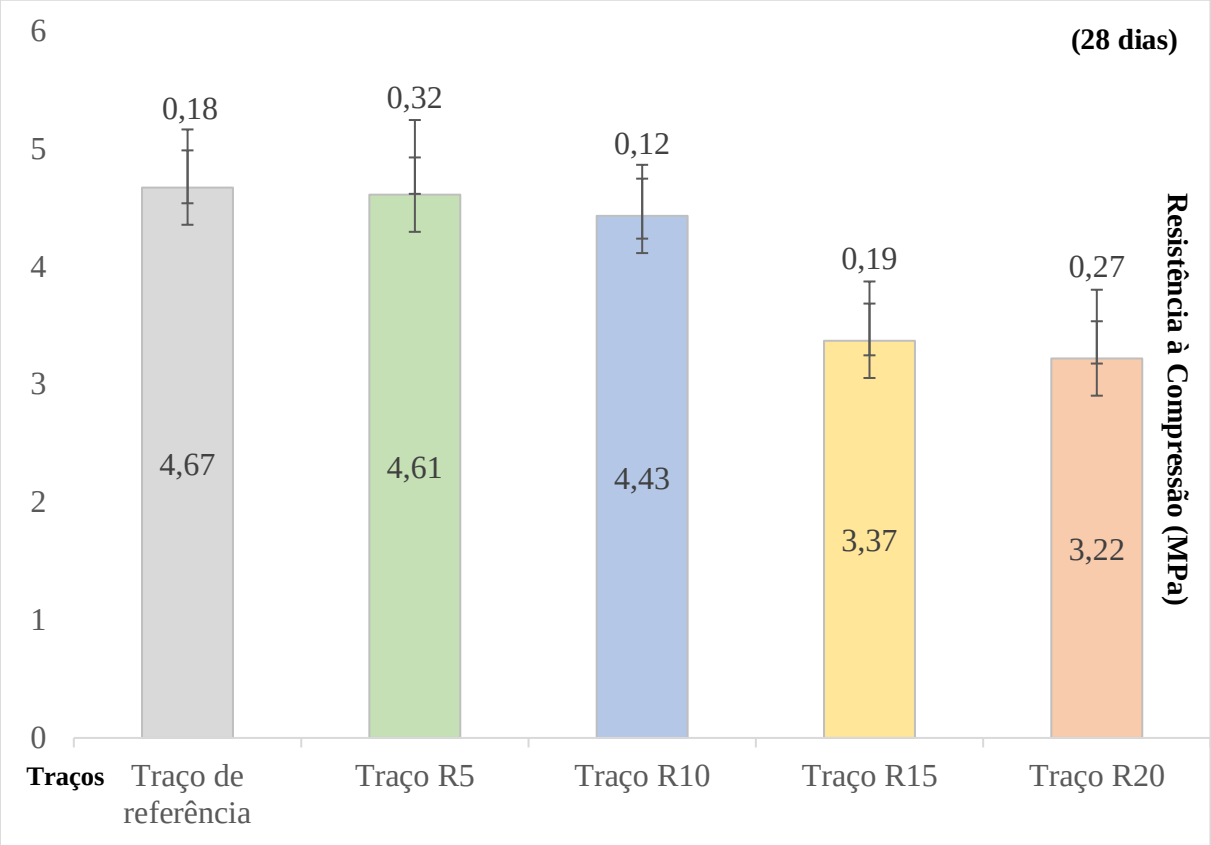


Figura 13 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial (28 dias) – Fonte: (Próprio autor, 2022).

Sobre o requisito mecânico requerido para os traços, nota-se que todos possuem potencialidade de superar o limite máximo normativo (≥ 3,0 MPa). Analisando os resultados obtidos, todos os traços (R5, R10, R15 e R20) atenderam aos requisitos mecânicos para os blocos de Classe C que são para uso em elementos de alvenaria acima do solo (fbk ≥ 3Mpa), mas os traços (R10 e R5) nas idades de 14 dias e 28 dias atingiram limites de resistência que pertencem Classe B com função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima do solo (4Mpa≤fbk ≥ 8Mpa). (NBR 6136).

Na relação da resistência à compressão média com o teor de substituição nas várias idades, é possível perceber que há uma tendência de elevação da resistência com o mínimo da substituição conforme o limite, ocorrendo posteriormente um decaimento da resistência. Isso indica que quanto menor o percentual de substituição maior a resistência à compressão. (Figura 14).

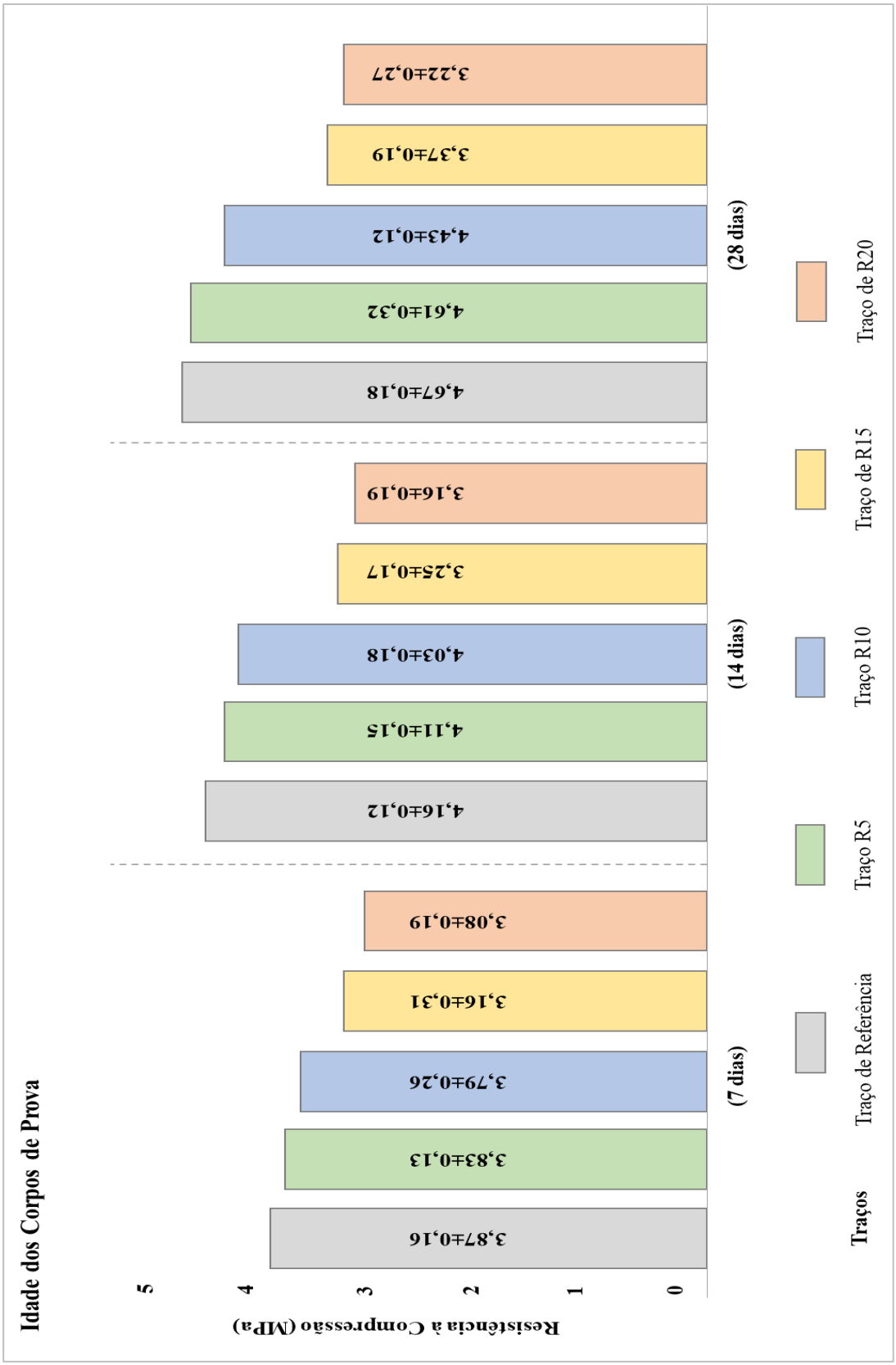


Figura 14 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial (Agrupamento) – Fonte: (Próprio autor, 2022).

6.7 RESULTADO DIMENSIONAL DOS BLOCOS

Na análise dos valores obtidos nas medições das dimensões dos blocos avaliados pode-se concluir que todos os blocos com dimensões nominais de 140 mm x 190 mm x 390 mm (largura, altura e comprimento) satisfazem os requisitos na NBR 6136, na qual especifica uma tolerância máxima de (±2mm) para a largura e (±3mm) para altura e para o comprimento. Portanto, na área líquida os blocos apresentaram valores similares, considerando que foram confeccionados no mesmo molde. A NBR 6136 ressalva que o bloco vazado de concreto simples, com ou sem função estrutural, deve possuir área líquida ou inferior a 75% da área bruta. Logo, os blocos analisados atendem este requisito. Nessa fase foi necessário a fabricação de um lote em massa para atendimento de uma demanda da Empresa X, baseado no resultado analítico dos dados, optou-se pela produção do traço R5, e diante desse fato aproveitou-se para coletar mais amostras para análise dimensional. (tabela 15). De acordo com os aspectos atendidos foi possível utilizar os blocos (figura 15), conforme representação, dos lotes fabricados com os parâmetros do traço R5.

Tabela 15 – Media e desvio padrão das dimensões e área líquida dos blocos formulados pelo traço R5

Dimensões dos blocos				
Parâmetros	Traço Ref	Desvio padrão	Traço R5	Desvio padrão
Largura (cm)	14,00	0,45	13,99	0,41
Altura (cm)	18,96	1,31	18,95	1,07
Comprimento (cm)	39,05	0,50	39,04	0,30
Paredes longitudinais (mm)	18,40	0,23	18,55	0,40
Paredes transversais (mm)	18,57	0,22	18,89	0,26
Furos longitudinais (mm)	158,36	0,38	158,34	0,34
Furos transversais (mm)	90,61	0,83	90,11	0,60
Área líquida (mm^2)	25.443,02	-	25.258,75	-
Área bruta (mm^2)	54.639,58	-	54.628,32	-
(Á.liq/Á.Brut) (%)	46,56	-	46,24	-

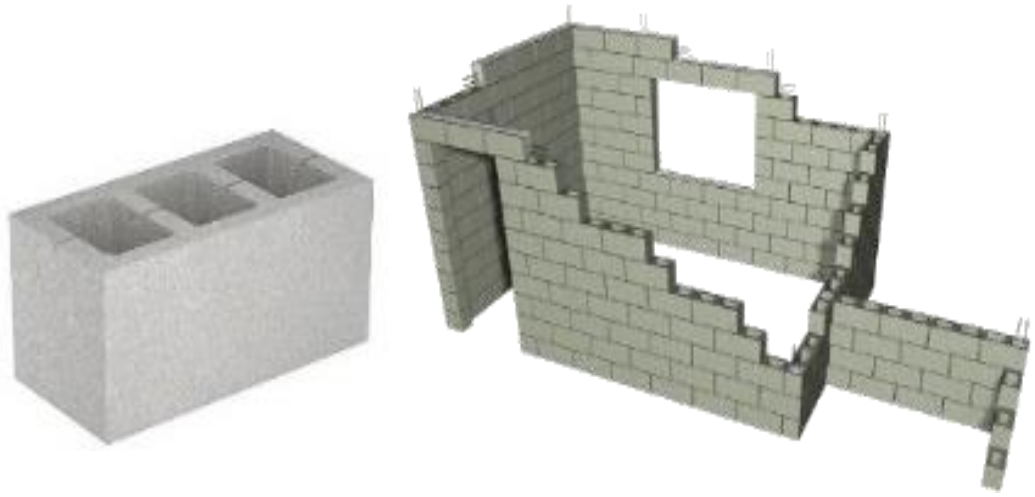


Figura 15 – Representação dos blocos de concreto fabricados com os parâmetros do traço R5 – Fonte: (Próprio autor, 2022).

Diante desses resultados, observa-se que o resultado da área líquida do traço R5 atende o requisito da NBR 6136, pois seu resultado foi inferior a 75%. A massa específica seca dos blocos de referência e do traço R5 são próximas em virtude da similaridade das massas específicas da areia e da borra de polimento de aro seco, o estudo de dosagem indica que o processo mecânico efetivamente proporcionou melhor entrosamento entre as partículas, isso pode ser mostrado quando avalia-se o resultado da absorção de água e do índice de vazios encontrados nos blocos. Os valores encontrados no ensaio de absorção de água para o traço R5 (tabela 14) atende o parâmetro da NBR 6136 que estabelece o limite abaixo de 10%, para o resultado do índice de vazios é proporcional aos valores de absorção de água, pois quanto menor os vazios existentes na estrutura cimentícia, menor será a quantidade de poros na massa de concreto. Dessa forma, os critérios adotados, conforme NBR 6136, foram atendidos, tornando os blocos, sobre esse aspecto, adequados para serem utilizados.

7 CONCLUSÃO

Conforme os objetivos desta pesquisa foram preparados blocos de concreto incorporando o resíduo como substituto no agregado areia em diferentes teores para avaliação identificando-se a possibilidade técnica de recuperar a borra de polimento de aro seca. Para isso, foram considerados os requisitos normativos para os ensaios de solubilização e lixiviação, visando classificar o resíduo da borra de polimento que conforme os resultados apresentados foi categorizado como Resíduo Classe II A – Não Inerte, também foram considerados os requisitos normativos de resistência à compressão axial, absorção de água, área líquida e o controle dimensional, além do índice de vazios, massa específica e massa específica seca com o intuito de agregar conhecimento nesta pesquisa.

Durante a realização dessa pesquisa e com os resultados disponibilizados para a Empresa da indústria automotiva, foi fabricado um lote com os parâmetros do traço R5. E diante dos resultados, a Empresa implementou no seu conceito de fabricação a pesquisa apresentada, ou seja, passando para a fase de execução, cujos resultados foram evidenciados nos gastos gerais de fabricação, dentre alguns ganhos citam-se a redução de custo com o processo de incineração, considerando que o resíduo da borra de polimento de aro seca deixou de ser incinerada, viabilizando o fluxo de incorporação em blocos de concreto, e com a alteração desse fluxo evidenciam-se nos dados internos a redução médial anual de 1,1 toneladas/ano na emissão de CO_2 e eliminação do despejo de 8,1 toneladas/ano de cinzas no aterro sanitário, localizado em Manaus-AM.

Portanto, a pesquisa demonstrou a viabilidade técnica de usar a borra de polimento de aro seca como substituto em percentuais do agregado miúdo areia na produção de blocos de concreto, transformando um resíduo ambiental em matéria-prima para a construção civil. As propriedades físicas e mecânicas atenderam aos requisitos normativos e os estudos futuros devem abordar aspectos de durabilidade em condições de uso. A pesquisa contribui de forma significativa para a indústria e a sociedade, incentivando à adoção de métodos construtivos sustentáveis, gerando qualidade e proporcionando redução de custos e melhoria na conservação do meio ambiente, evidenciando-se a importância do ensino, da pesquisa e da extensão.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, 2015. Disponível em: https:// nacoesunidas.org/pos2015/agenda/2030. Acesso em: 21 jul. 2022.

CALLEJAS. I.J.A., DURANTE, L.C., A.S., "Thermal resistance and conductivity of recycled EPS for Concrete Blocks", Int. Ehg. J. Ouro Preto (REM), v.70, n. 2, pp. 167-173, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004: Classificação de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL, Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos;* e altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, Brasília, DF.

BOSCOV, M.E, *Geotecnia Ambiental*. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p 248, 2008.

PIRES, Y, *Panorama dos resíduos sólidos e dados do programa*, 2021. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/infomaterias/2021. Acesso em: 19 mai. 2022.

BRASIL, Artigo 207 da Constituição Federal. *Tripé das* universidades: *Ensino, pesquisa e extensão.* Brasília, DF, 1998.

LIMA, A.J.M., IWAKIRI, S. "Utilização de resíduos da madeira de pinus spp. como substituição ao agregado miúdo na produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural", *Ciência Florestal*, v. 24, n.1, pp. 223-235, 2014.

PADILHA, S.A, *Potencialidade do uso de cinza de casca de arroz em blocos de concreto de alvenaria estrututal: Segundo NBR 6136, 2016*. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

PRAZERES, M.S., Estudo comparativo entre blocos de concreto para Alvenaria de vedação comuns e blocos de concreto com adição de papel reciclado, 2018. 452 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, São Luíz, 2018.

MOZER, G.Z., LOPES, A.U., WOELFFEL, A.B., Confecção de bloco de concreto para vedação com substituição parcial do agregado miúdo por serragem, *Revista Científica Faesa*, v. 15, n. 2, p. 29-51, jul. 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos, Rio de Janeiro, 2016.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L.R.; SANTOS, S.; DAFICO, D. A. Cinzas da casca de arroz. Coletânea Habitare: Utilização de resíduos na construção civil. Editora Programa de Tecnologia de Habitação, v. 4, p. 242-246, Porto Alegre – RS: ANTAC, 2003.

SOUZA, Maria Tereza Saraiva de. Rumo a prática empresarial sustentável. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v.33, número 4, p. 40-52, ago. 2015.

SCHANKOSKI, R.A. Influência do tipo de argamassa nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto de alta resistência. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufsc/handle. Acesso em: 23 jul. 2022.

GOMES, P. C. C.; ALMEIDA, L. H.; PEREIRA, F.A., Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos. Ambient. constr., Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 267-280, Jul. 2017.

MOHAMAD. G.; Alvenaria estrutural: Materiais, projeto e desempenho, 2º ed., São Paulo, Blucher, 2020.

RODRIGUES. D.S., Análise de blocos cerâmico e blocos de concreto para aplicação em alvenaria estrutural. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia civil, 2016.

BUTTLER, A. M., Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural, Tese (Doutorado em estruturas) – Escola de Engenharia de São Paulo, University of São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: doi:10.11606/T.18.2007.tde-16102007-111106. Acesso em: jul. 2022.

CAVALCANTE, L.C, Estudo do Uso de Vermiculita Expandida em Bloco de Concreto: Análise do peso, comparação das dimensões e ensaios à compressão dos blocos de concreto convencionais, Trabalho de conclusão de curso, Palmas – Tocantins, 2017.
BORGES, A., Produção de blocos de concreto para vedação: Análise da viabiliade técnico-econômica da utilização de agregados reciclados, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2012. Disponível em: https://www.lime.ufrgs.br/handle. Acesso em: Ago.2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 27: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Requisitos, Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7211: Agregados para concreto. Especificação, Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 45:
Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, I.P., CALLEJAS, I.J.A., DURANTE, L.C., Blocos de concretos fabricados com incorporação de resíduos sólidos: Uma revisão sistemática. Engineering and Sciense, v.9, n.3, pp. 36-57, 2020.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. 2013.

STANDARD METHODS – SW 846 USEPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number 846, Washington, DC.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

BIOAGRI – Mérieux NutriSciences Company – Borra de polimento seca – Method Examination of water and wastewater – 20 edition – 1998. Avaliação em 2022.

TORGAL, F.P., JALALI, S.A., *A sustentabilidade dos materiais de construção*, FNAC: São Paulo, 400 p, 2010.

CARDOSO, A.A., *Desempenho termo físico e mecânico de argamassas do revestimento produzida com resíduos sólidos poliméricos, minerais e vegetais*, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil, 2017.

PAVLU, T., FORTOVA, K., DIVIS, J., et al. "The Utilization od Recycled Masonry Aggregate and Recycled EPS for Concrete Blocks for Mortarless Masonry", Materials, v.12, n.12, pp. 1-18, 2019.

LEIVA, C., SOLÍS-GUZMÁN. J., MARRERO, M., et al.. "Recycled blocks with improved sound and fire insulation constaining construction and demolition waste", Waste Management, v.33, pp. 663-671, 2013.

BACHETI, G.P., MAZIERO, R., GARCIA, D.P., "Elaboração e caracterização de blocos de concreto com a incorporação de resíduos de granito", Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v.7, n.3, pp. 273-296, 2018.

GOMES, P.C., PEREIRA, F.A, UCHÔA, S.B.B., et al. "Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos", Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 3, pp. 267-280, 2017.

BARRETO, J.M.L., COSTA, H.N., CANDIDO, L.F., et al. "Análise das propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto prensados sem função estrutural com incorporação de PET reciclado", Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 24, n.2, el12357, 2019.

COSTA, J.A., Estudos de blocos de vedação com substituição parcial do agregado miúdo por borracha de pneu, 67f. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais, Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2020.

COSTA, J.A., JOB, A.E., OKIMOTO, F., et al. "Análises de desempenho térmico e acústico de blocos de concreto com incorporação de borracha de pneu", In: 23º CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 23 ed, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 2018.

9 ANEXOS

Tabela 9 – Resultado analítico da amostra para parâmetros orgânicos de lixiviação (Outros parâmetros)

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP–NBR 10004:2004
1,4-Diclorobenzeno	mg/l	0,001	<0,001	7,5
2,4,5,T	mg/l	0,01	<0,01	0,2
2,4,5-TP	mg/l	0,01	<0,01	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/l	0,001	<0,001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/l	0,0005	<0,0005	20,0
2,4-D	mg/l	0,005	<0,005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/l	0,001	<0,001	0,13
Aldrin e Dieldrin	mg/l	3E-0,5	<3E-0,5	0,003
Benzo(a)Pireno	mg/l	5E-0,5	<5E-0,5	0,07
Clordano (isômeros)	mg/l	0,0001	<0,0001	0,02
Clorobenzeno	mg/l	0,001	<0,001	100
DDT (isômeros)	mg/l	0,0005	<0,0005	0,2
Endrin	mg/l	0,0001	<0,0001	0,06
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,001	<0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/l	0,001	<0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/l	0,002	<0,002	200
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/l	0,001	<0,001	200
Pentaclorofenol	mg/l	0,0005	<0,0005	0,9
Piridina	mg/l	5	<5	5,0
Tetracloreto de carbono	mg/l	0,001	<0,001	0,2
Tetracloroeteno	mg/l	0,001	<0,001	4,0
Tricloroeteno	mg/l	0,001	<0,001	7,0
Heptacloro	mg/l	2E-0,5	<2E-5	0,003
Lindano	mg/l	5E-05	<5E-5	0,2

(Outros parâmetros) Controle de qualidade do laboratório – Mercúrio total – Água

Branco de análise – Mercúrio total - Água

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Mercúrio	µg/l	0,05	<0,05

Mercúrio total - Água

Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Mercúrio	1	µg/l	92	80-120

(Outros parâmetros) Controle de qualidade – Metais totais – Água (Branco de análise)

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Prata	µg/l	5	<0,05
Alumínio	µg/l	10	<10
Arsênio	µg/l	10	<10
Bário	µg/l	10	<10

Cádmio	µg/l	1	<1
Cromo	µg/l	10	<10
Cobre	µg/l	5	<5
Ferro	µg/l	10	<10
Sódio	µg/l	500	<500
Selênio	µg/l	8	<8
Zinco	µg/l	10	<10
Manganês	µg/l	10	<10

Metais totais - Água				
Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Arsênio	0,1	mg/l	117	80-120
Cromo	0,1	mg/l	107	80-120
Cobalto	0,1	mg/l	113	80-120
Lítio	0,1	mg/l	109	80-120
Manganês	0,1	mg/l	111	80-120
Estrôncio	0,1	mg/l	113	80-120

(Outros parâmetros) Recuperação dos surrogates

Branco de análise - Metais totais - Água				
Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Ítrio (M.M.T)	100	%	112	70-130

Metais totais - Água				
Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Ítrio (M.M.T)	100	%	117	70-130

Lixiviado				
Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Ítrio (M.M.T)	100	%	96	70-130

Solubilizado				
Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Ítrio (M.M.T)	100	%	110	70-130

(Outros parâmetros) Branco de análise – VOC - Água

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
1.1-Dicloroeteno	µg/l	1	<1
1.2-Dicloroetano	µg/l	1	<1
1.4-Diclorobenzeno	µg/l	1	<1
Benzeno	µg/l	1	<1
Cloreto vinila	µg/l	1	<1
Clorobenzeno	µg/l	1	<1

Clorofórmio	µg/l	1	<1
Hexaclorobutadieno	µg/l	1	<1
Tetracloreto de carbono	µg/l	1	<1
Tetracloroeteno	µg/l	1	<1
Tricloroeteno	µg/l	1	<1

Branco de análise – VOC - Água

Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
1.1-Dicloroeteno	20	µg/l	93	70-130
Benzeno	20	µg/l	98	70-130
Tricloroeteno	20	µg/l	104	70-130
Tolueno	20	µg/l	98	70-130
Clorobenzeno	20	µg/l	100	70-130

(Outros parâmetros) Recuperação dos surrogates

Branco de análise - VOC - Água

Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Dibromofluorometano	20	%	96	70-130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	108	70-130

VOC - Água

Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Dibromofluorometano	20	%	92	70-130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	99	70-130

Lixiviado

Parâmetros	Quantidade adicionada	Unidade	Resultado da recuperação (%)	Faixa aceitável de recuperação (%)
Dibromofluorometano	20	%	117	70-130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	94	70-130