



FLAVIA DE SOUZA OLIVEIRA FURTADO

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA CONTROLE DE
EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM ÁREA NÃO
PAVIMENTADA DE UMA USINA SIDERÚRGICA**

LAVRAS – MG

2020

FLAVIA DE SOUZA OLIVEIRA FURTADO

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA CONTROLE DE EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM ÁREA NÃO PAVIMENTADA DE UMA USINA SIDERÚRGICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

Orientador

LAVRAS - MG

2020

FLAVIA DE SOUZA OLIVEIRA FURTADO

ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA CONTROLE DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM ÁREA NÃO PAVIMENTADA DE UMA USINA PRODUTORA DE AÇO.

STUDY OR ALTERNATIVES FOR CONTROLING EMISSION OF PARTICULATE MATTER IN UNPAVED AREA OF A STEEL PRODUCING PLANT

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 16 de dezembro de 2020.

Doutoranda Gabriela Rezende de Souza UFLA

Mestranda Flávia Vilela Corrêa UFLA

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

Orientador

LAVRAS - MG

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu forças para enfrentar todas as dificuldades nestes cinco anos de curso.

Agradeço aos meus pais Bernardete e Fernando que formam a minha base para sustentar todas as dificuldades e pelo suporte nesta caminhada. As demais pessoas da minha família, meu profundo agradecimento por tudo.

Aos meus amigos que estiveram comigo na escolha do curso e da Universidade, Carolina, Roberta, Rafael e Romulo, mesmo de longe me estiveram ao meu lado dando conforto e incentivo nas busca aos meus objetivos.

Aos meus amigos da Universidade Federal de Lavras Adriele, Yasmim, Renata, Lissa, Larissa, Leonardo, Raiane, Suelem, Carol, Julia, Gabriel e Marcus agradeço imensamente a cada um pela amizade construída nestes anos de graduação. Vocês são muito importantes para mim.

A todos os membros e ex-membros da Preserva Júnior Projetos de Engenharia Ambiental e Sanitária pela melhor oportunidade que tive durante a minha graduação. Aos professores que compartilharam seus conhecimentos e que sem dúvidas me marcaram para o resto da minha vida.

Aos colaboradores da usina siderúrgica por todo apoio no levantamento das informações. A minha banca Gabriela Rezende e Flávia Vilela por se disponibilizarem a contribuir com o trabalho. Ao meu orientador Luiz Fernando Coutinho de Oliveira pela honra de poder ser meu orientador.

Por último, mas não menos importante, ao meu namorado Leandro, que chegou à minha vida no final do curso e que sei que para sempre estará comigo.

A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

A usina siderúrgica de grande referência no Brasil possui áreas não pavimentadas que são revestidas com escória de aciaria elétrica. Este tipo de material, ao ser exposto à movimentação de caminhões é fragmentado em pequenas partículas e com isso, levanta elevada quantidade de material particulado. Esses particulados são altamente nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, portanto, há necessidade da busca de alternativas que sejam viáveis econômica e ambientalmente para a empresa. No presente estudo, a siderúrgica em questão, já possui um orçamento anterior para a pavimentação asfáltica com concretagem betuminosa usinada a quente (CBUQ), para o pátio de caminhões. Devido ao alto valor a ser investido nesta alternativa, essa opção não será implementada pela empresa. Diante disso, foi feito o estudo das seguintes alternativas possíveis de serem empregadas com o intuito de reduzir a geração de material particulado: contratação de um caminhão pipa extra, uso de polímeros como supressor de material particulado e o dimensionamento hidráulico de um sistema de aspersão, usando a água de uma lagoa de águas pluviais existente na empresa. As alternativas elencadas foram comparadas, levando-se em consideração o custo de implantação, sendo a alternativa mais viável financeiramente a de implantação do sistema de aspersão de água seguidas das alternativas, contratação de caminhão pipa extra, pavimentação asfáltica e uso de polímeros adicionados a água.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica. Aspersão de água. Polímeros.

ABSTRACT

The steel plant of great reference in Brazil has unpaved areas that are covered with electric steel slag. This type of material, when exposed to the movement of trucks, is fragmented into small particles and with this, they raise a high amount of particulate matter. These particles are highly harmful to human health and the environment, so there is a need to search for alternatives that are economically and environmentally viable for the company. In the present study, the steelmaker in question already has a previous budget for asphalt paving with hot-machined bituminous concrete (CBUQ), for the truck yard. Due to the high value to be invested in this alternative, the company will not implement this option. In view of this, the study of the following possible alternatives to be employed was performed aiming in order to reduce the generation of particulate matter: hiring an extra water truck, using polymers as a suppressor of particulate matter and the hydraulic design of a sprinkler system, using water from an existing rainwater pond at the company. The listed alternatives were compared, taking into account the cost of implementation, with the most financially viable alternative being the implementation of the water sprinkler system followed by the alternatives, hiring an extra water truck, asphalt pavement and the use of polymers added to water.

Keywords: Atmospheric pollution. Sprinkling water. Polymers.

LISTA DE SIGLAS

CaO	Óxido de Cálcio
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos
GPS	<i>Global Position System</i>
IABR	Instituto Aço Brasil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCC	Índice Nacional da Construção Civil
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
MgO	Óxido de Magnésio
PM 10	Material Particulado com 10 micrometros
PM 2,5	Material Particulado com 2,5 micrometros

LISTA DE SÍMBOLOS

kg Quilograma

L Litro

L/m² Litro Por Metro Quadrado

m Metro

mm Milimetro

m² Metro Quadrado

m³ Metro Cúbico

t Tonelada

°C Grau Celsius

µm Micrometro

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do índice INCC mensais desde Janeiro de 2016.....	23
Tabela 2 - Valores do índice IPCA mensais desde Janeiro de 2016.....	23
Tabela 3 - Cenários para contratação de caminhão pipa extra.....	24
Tabela 4 - Cronograma do teste usando o polímero <i>Fitosoil Forte</i>	25
Tabela 5 - Informações do teste usando o polímero <i>Fitosoil Forte</i>	27
Tabela 6 - Orçamento da Drenagem realizado pela Diretoria de Engenharia da Siderúrgica.	36
Tabela 7 - Orçamento da Pavimentação CBUQ pela Diretoria de Engenharia.	37
Tabela 8 - Orçamento da Sinalização pela Diretoria de Engenharia da Siderúrgica.	38
Tabela 9 - Valores reajustados considerando os índices INCC e IPCA.	39
Tabela 10 - Orçamento de caminhão pipa extra.....	40
Tabela 11 - Cronograma de realização do teste usando o polímero <i>Fitosoil Forte</i>	43
Tabela 12 - Custo do Polímero <i>Fitosoil Forte</i> para a central de caminhoneiros.....	46
Tabela 13 - Ensaio de condutividade hidráulica do solo na central de caminhoneiros.....	47
Tabela 14 - Cálculos hidráulicos para o sistema de aspersão de água.	50
Tabela 15 - Cálculos hidráulicos para o sistema de aspersão de água.	50
Tabela 16 - Orçamento de gastos com mão-de-obra.....	53
Tabela 17 - Orçamento de gastos com materiais.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de aço bruto em milhões de toneladas dos anos de 2015 a 2017.	12
Figura 2 - Geração específica de coprodutos e resíduos.	13
Figura 3 - Produção de resíduos e coprodutos em 2016.	14
Figura 4 - Produção de resíduos e coprodutos em 2017.	14
Figura 5 - Esquema simplificado da geração de escória na aciaria elétrica.	16
Figura 6 - Foto de 9 de setembro de 2020 na central de caminhoneiros da siderúrgica.	20
Figura 7 - Foto do levantamento de material particulado proveniente do solo.	21
Figura 8 - Delimitação em vermelho da área da central de caminhoneiros da usina.	21
Figura 9 - Área de aplicação do polímero <i>Fitosoil</i> Forte sinalizada em branco.	26
Figura 10 - Anéis concêntricos.	29
Figura 11 - Ensaio de condutividade hidráulica cravando o anel interior no solo.	29
Figura 12 - Soquete para compactação da amostra.	30
Figura 13 - Caminhão pipa contratado para umectação de vias na usina siderúrgica.	33
Figura 14 - Central de caminhoneiros sendo umectada pelo caminhão pipa.	34
Figura 15 - Área da central de caminhoneiros e lagoa de águas pluviais.	34
Figura 16 - Realização do teste usando o polímero <i>Fitosoil</i> Forte.	42
Figura 17 - Fotografia de 7 de agosto de 2020 na central de caminhoneiros da siderúrgica. ..	44
Figura 18 - Fotografia de 12 de agosto de 2020 do levantamento de material particulado proveniente do solo na central de caminhoneiros da siderúrgica.	44
Figura 19 - Fotografia de 14 de agosto de 2020 na central de caminhoneiros.	45
Figura 20 - Esboço do Layout usando o <i>AutoCad</i> para o sistema de aspersão.	48
Figura 21 - Aspersor <i>Rain Bird</i> Série 35A-TNT.	48
Figura 22 - Aspersor <i>Rain Bird</i> Série 35A-TNT.	49
Figura 23 - Layout do sistema de aspersão no <i>Google Earth</i>	51
Figura 24 - Escolha da bomba.	51
Figura 25 - Escolha da bomba.	52
Figura 26 - Bomba KSB Meganorm.	53
Figura 27 - Matriz Custo-Benefício das Alternativas.	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Importância do Aço	12
2.2	Escória de Aciaria Elétrica	14
2.3	Qualidade do Ar em Locais Não Pavimentados.....	16
2.4	Pavimentação Asfáltica	17
2.5	Caminhão Pipa para Controle de Emissão de Material Particulado.....	18
2.6	Uso de Polímeros	18
2.7	Uso de Sistema de Aspersão de Água	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Área de Estudo	20
3.2	Orçamento para Pavimentação Asfáltica	22
3.3	Orçamento Caminhão Pipa Extra	24
3.4	Estudo de Caso do Uso de Polímeros.....	24
3.5	Estudo de Caso do Uso de um Sistema de Aspersão de Água	28
3.6	Comparação e Viabilidade entre as Possibilidades Encontradas	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	O que é feito atualmente.....	32
4.2	Orçamento Pavimentação Asfáltica	35
4.3	Orçamento Caminhão Pipa Extra	39
4.4	Estudo de Caso de Uso de Polímeros.....	41
4.4	Estudo de Caso para Sistema de Aspersão de Água	46
4.5	Comparação e Viabilidade entre as Possibilidades Encontradas	54
5	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

O aço é um componente de extrema importância para o funcionamento da economia do Brasil, formado por uma liga metálica de ferro e carbono, faz parte de diversas cadeias produtivas como em indústrias automobilísticas, embalagens, na construção civil e naval e ainda pode ser transformado em diversos produtos por conta das características que possui.

As siderúrgicas instaladas no Brasil no começo do século XX eram em sua maioria empresas pertencentes ao estado, quando ao final deste século, foram vendidas ao capital externo e devido a isso houve um grande desenvolvimento no setor. Segundo a Associação Mundial do Aço, o Brasil está em nona posição na lista dos maiores produtores do mundo e o maior na América Latina (IABR, 2020).

A usina deste estudo possui capacidade produtiva anual de até 1.000.000 de toneladas de aço bruto. Tem como área total aproximadamente 4.000.000 m², na qual além da área de produção, possui prédio administrativo, área de reflorestamento, almoxarifado, pátio de metálicos, pátio de resíduos e coprodutos, refeitório, entre outros. Com cerca de 1300 funcionários sendo 500 funcionários indiretos.

As siderúrgicas podem dividir suas etapas de produção em usinas do tipo integrada, semi-integrada e não integrada. As usinas integradas fazem todo o processo produtivo desde as etapas de redução, refino e laminação do aço. Já as usinas semi-integradas, são as que fazem a fase de refino e laminação. As usinas não integradas fazem apenas uma parte da produção sendo laminação, trefilação ou redução.

Apesar do potencial poluidor, as usinas siderúrgicas do tipo semi-integrada desempenham papel muito importante ao meio ambiente porque a matéria-prima utilizada para a produção do aço é a sucata metálica, que é totalmente reciclada neste processo (CARVALHO, 2015). A siderúrgica em questão é do tipo semi-integrada, usando como matéria-prima a sucata metálica e o ferro gusa para transformar em aço na aciaria elétrica para sua posterior laminação e trefilação.

A problemática deste trabalho é encontrada na maioria das empresas siderúrgicas, que apresentam vias e pátios sem pavimentação asfáltica, possuindo como revestimento do solo, escória de aciaria elétrica, que é um subproduto gerado na produção do aço. Estima-se que a escória de aciaria seja aproximadamente 12% da produção bruta do aço (IABR, 2018). Este subproduto é a impureza do processo produtivo do aço que possui elevado teor de óxidos de cálcio e magnésio.

Uma das áreas que recebe a escória de aciaria elétrica como revestimento do solo é a central de caminhoneiros. Por este local, todos os motoristas de caminhão que acessam a usina precisam estacionar, para passar pela expedição avançada, pertencente à área da logística da unidade, fazendo a marcação do carregamento/descarregamento que será feito.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2020), os materiais particulados são uma mistura complexa de sólidos com diâmetro reduzido podendo apresentar características físicas e químicas diversas, sendo classificado de acordo com o seu diâmetro, por ter relação direta entre o diâmetro e a possibilidade de penetrar no trato respiratório. Os efeitos do material particulado sobre a saúde humana incluem o agravamento de sintomas respiratórios como asma, inflamação nos pulmões, câncer respiratório, arteriosclerose além do aumento de internações hospitalares que podem levar a morte.

A solução definitiva para reduzir a emissão de materiais particulados que são levantados pelo trânsito de caminhões seria a pavimentação asfáltica da central de caminhoneiros. A Diretoria de Engenharia da usina fez um orçamento detalhado no ano de 2016, considerando o valor da mão-de-obra e materiais necessários para cada tipo de atividade. Entretanto, essa alternativa apresentou valor financeiramente inviável para a siderúrgica.

A partir disso, a busca de alternativas para tentar mitigar os impactos ambientais e para a saúde pública foi baseada no que outras unidades da referida siderúrgica já aplicam. As alternativas já empregadas em outras unidades são o uso de lava-rodas, como o nome já diz é um pequeno reservatório de água com altura suficiente para que o caminhão passe por ele e o pneu tenha contato com a água, semelhante a uma lavagem da roda.

Por estar com o pneu molhado, a emissão de material particulado do local é reduzido por certa distância. Podem-se usar também canhões de névoa que são espécie de aspersores de água com alta pressão que a projetam a longas distâncias. O uso de polímeros e produtos adicionados à água também trazem resultados satisfatórios e por último, o uso de sistemas de aspersores de água que requerem obra de engenharia para projetar o sistema de aspersão.

O dimensionamento do sistema de aspersão e o seu custo de investimento podem apresentar, apesar de valores elevados, custo bem menor ao comparado ao uso da pavimentação asfáltica do local e qualidade satisfatória quanto ao controle de emissão de material particulado.

Desse modo, este estudo objetiva analisar os custos para as alternativas do uso de um tipo de polímero, contratação de um segundo caminhão pipa e a instalação de um sistema automatizado de aspersão de água que podem ser aplicadas pela usina siderúrgica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

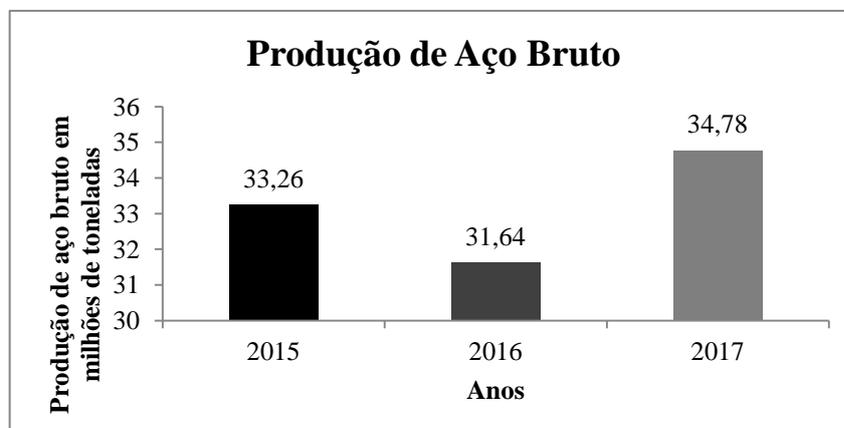
2.1. Importância do Aço

O aço está presente em diferentes formas no cotidiano das pessoas sendo nos meios de transportes, utensílios domésticos, construção civil, embalagens e recipientes, produção de energia, na agricultura, dentre outros. Dessa forma, a produção de variados tipos de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento de um país. No Brasil, o desenvolvimento da produção do ferro e aço se inicialmente em empresas públicas, mas nos anos 90 foi dado início ao processo de privatização das siderúrgicas trazendo maior afluxo de capitais, maior competitividade e objetivo de alcançar a economia de escala (IABR, 2020).

Segundo o Instituto Aço Brasil (IABR), entidade que representa as empresas produtoras de aço no Brasil, no ano de 2019 foram produzidos 32.570.000 t de aço bruto. Com isso, o Brasil possui atualmente o maior parque industrial de aço da América do Sul e é o maior produtor da América Latina, ocupando o sexto lugar como maior exportador líquido de aço e a nona posição como maior produtor de aço no mundo.

O Relatório de Sustentabilidade do IABR referente aos anos de 2016 e 2017 cita que, o aço é 100% reciclável porque seu ciclo de vida é infinito desde que ao final dele, seja recuperado nas siderúrgicas. Conforme a Figura 1, no ano de 2015 foram produzidos 33.260.000 t de aço bruto, em 2016 31.640.000 t e em 2017 34.780.00 t. Em comparação aos anos de 2015 e 2016, a produção de aço bruto no ano de 2017 teve crescimento de 9,92% quando comparado ao ano de 2016 e de 4,57% referente ao ano de 2015, o que reflete que a produção de aço bruto varia de acordo com a demanda do mercado (IABR, 2018).

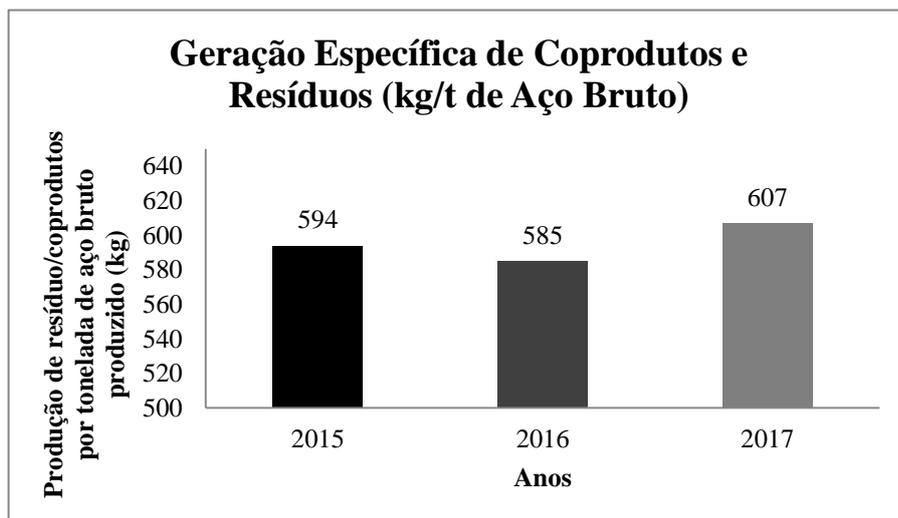
Figura 1 - Produção de aço bruto em milhões de toneladas dos anos de 2015 a 2017.



Fonte: Instituto Aço Brasil – IABR (2018).

Por outro lado, a produção de aço gera uma infinidade de resíduos que podem ser aproveitados para outros fins, chamados de coprodutos. A proporção de resíduo/coproducto gerado a cada tonelada de aço bruto produzido pode variar, em função da matéria-prima utilizada, do processo de fabricação do aço e entre as empresas, da matéria-prima utilizada e do processo de fabricação do aço. Conforme apresentado na Figura 2, em 2017 a cada tonelada de aço bruto produzido no Brasil foram gerados 607 kg de resíduos e coprodutos, em 2016 gerou-se 585 kg e em 2015, 594 kg. Essa quantidade é considerada apenas a geração de resíduos diretos provenientes da produção de aço bruto, os resíduos administrativos e de refeitório, por exemplo, não são contabilizados (IABR, 2018).

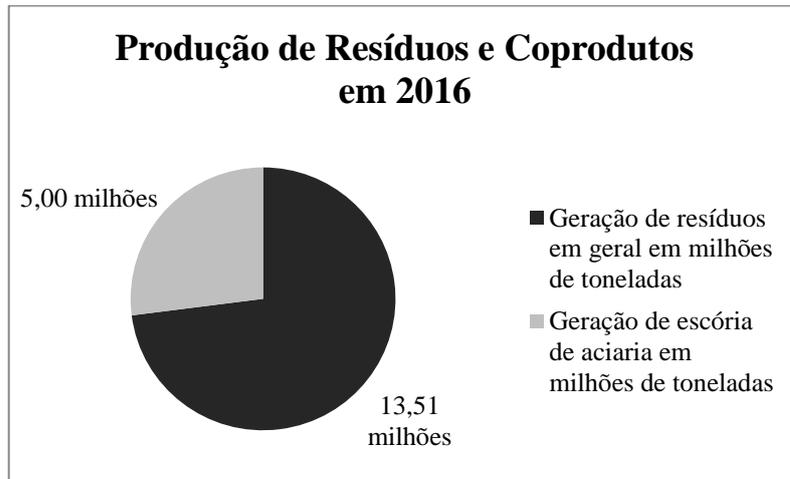
Figura 2 - Geração específica de coprodutos e resíduos.



Fonte: Instituto Aço Brasil – IABR (2018).

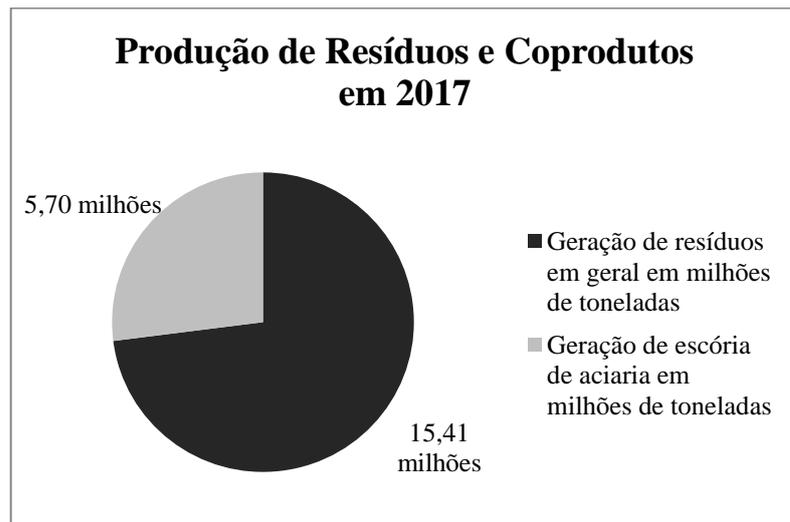
Um dos resíduos gerados na produção do aço é a escória de aciaria, que nos anos 2016 e 2017 representou 27% da geração total de resíduos (IABR, 2018). Considerando que a produção de aço bruto em 2016 foi de 31.640.000 t e em 2017 foi de 34.780.000 t de aço (IABR, 2017) conforme a Figura 1 e considerando a geração específica de coprodutos e resíduos da Figura 2. A geração de resíduos e coprodutos em 2016 foi de 18.510.000 t e em 2017 foi de 21.110.000 t. Por tanto, a geração de escória de aciaria no ano de 2016 foi de 5.000.00 t e em 2017 foi de 5.700.000 t conforme as Figuras 3 e 4. Nota-se, portanto que este resíduo é um passivo ambiental de grande alerta.

Figura 3 - Produção de resíduos e coprodutos em 2016.



Fonte: Instituto Aço Brasil – IABR (2018).

Figura 4 - Produção de resíduos e coprodutos em 2017.



Fonte: Instituto Aço Brasil – IABR (2018).

2.2. Escória de Aciaria Elétrica

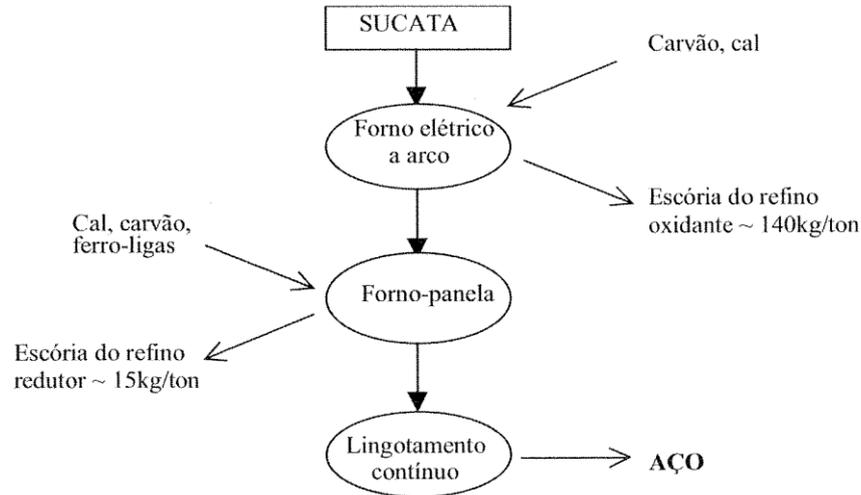
Segundo a Resolução Conama nº 313 de 29 de outubro de 2002 que dispõe sobre inventário nacional de resíduos sólidos, a escória de aciaria é classificada como resíduo classe II ou classe III e tem como código A013 – Escória de produção de ferro e aço, sendo um resíduo inerte e não perigoso. A escória de aciaria é o resultado da impureza do processo de produção do aço.

Diante da quantidade de escória de aciaria, que é gerada na produção de aço, a preocupação com relação a sua gestão, armazenamento e destinação correta vêm crescendo nos últimos anos. A reutilização de escórias de aciaria é promissora no mercado e pode ser usada em diversos setores como a construção civil, especialmente em obras de pavimentação por ser um substituto viável e com custo relativamente baixo. Entretanto, a presença de variados tipos de óxido como ferro, cálcio e silício podem causar reações de expansão dessas escórias e possíveis problemas estruturais nas pavimentações (BONA, 2020).

Como a escória de aciaria, que também é conhecida como agregado siderúrgico possui diferentes aplicabilidades, muitos países passaram a adotar a classificação da escória como sendo um coproduto siderúrgico por poder ser aproveitado para outros fins. No Brasil, é muito utilizado como base em vias não pavimentadas (FREITAS, 2018).

A Figura 5 esquematiza o fluxo da geração da escória sendo proveniente de dois diferentes tipos de fornos, o forno elétrico a arco, no qual ocorre o refino oxidante, gerado em maior quantidade quando comparada com a do forno panela, onde é feito o refino redutor. Este resíduo é proveniente da combinação dos óxidos de magnésio (MgO) e de cálcio (CaO) juntamente com os elementos que são retirados pela oxidação da sucata metálica, formando óxidos e silicatos. Como a escória é obtida do sobrenadante da produção do aço pode ainda conter partículas de aço e/ou ferro metálico (ROHDE, 2003).

Figura 5 - Esquema simplificado da geração de escória na aciaria elétrica.



Fonte: LUCIO (1981).

2.3. Qualidade do Ar em Locais Não Pavimentados

Devido ao processo acelerado quanto à emissão de poluentes atmosféricos nocivos ao meio ambiente, cada vez mais se busca novos tipos de sistema que possam fazer o controle ambiental desses poluentes (GUIMARÃES, 2017). Devido a isso, o Conselho Nacional de Meio Ambiente, Conama, impõe em nível federal, limites para emissão de poluentes, em níveis estaduais e municipais esses limites podem ser complementados por legislações locais (OLIVEIRA, 2014). Em nível federal, tem-se a Resolução Conama nº 491 de 19 de novembro de 2018 que dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) adotou padrões para regular os materiais particulados que são subdivididos em concentração de partículas menores que 10 µm de diâmetro, chamados de PM-10, ou com a sua granulometria ainda menor sendo o diâmetro igual ou inferior a 2,5 µm, chamados de PM-2,5. Esta última pode se fixar no tecido pulmonar, trazendo riscos à saúde humana como irritação e até mesmo necrose (EPA, 2006).

Em vias não pavimentadas que usem, por exemplo, escória de aciaria elétrica como base, quando se tem o tráfego de veículos, a força que a roda faz na superfície do solo causa pulverização do material superficial. Essas partículas são levantadas e lançadas pelas rodas sendo expostas as correntes de ar em cisalhamento turbulento com a superfície. Devido a isso,

ocorre a emissão de material particulado em áreas não pavimentadas, que usam, por exemplo, escória de aciaria elétrica para recobrir a superfície do solo (EPA, 2016).

A quantidade de emissão de material particulado varia linearmente com o tráfego de veículos no local. A melhor opção de controle para este tipo de impacto ambiental é realizar a pavimentação do local, o que requer um investimento extremamente elevado.

Uma opção é fazer a irrigação do local que aumenta a umidade, conglomerando as partículas e reduzindo a possibilidade de ser suspenso quando tiver o tráfego de veículos. A eficiência deste tipo de controle depende da velocidade de infiltração da água no solo, que por sua vez depende da quantidade de água aplicada, grau de compactação do solo, período de tempo entre as aplicações, peso, velocidade e número de veículos que transitam pela área. Depende também de condições meteorológicas como temperatura, velocidade do vento e cobertura das nuvens que são capazes de afetar a evaporação no local (EPA, 2016).

2.4. Pavimentação Asfáltica

O asfalto é um resíduo que é gerado a partir do refino do petróleo sendo composto por hidrocarbonetos aromático, alifáticos, parafínicos, compostos que contêm carbono, hidrogênio e oxigênio, em especial o hidrocarboneto aromático policíclico que é altamente carcinogênico e cancerígeno (GUIMARÃES, 2003).

A pavimentação asfáltica é composta por múltiplas camadas, base asfáltica, base, sub-base e reforço. O tipo de pavimentação deve levar em consideração fatores como tipo de tráfego, solo, vida útil, dentre outros fatores. O tipo mais utilizado no Brasil é o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), formado pela mistura de agregados com tamanhos e materiais diversos, que possui maior resistência a vários fatores como o tráfego. Já o concreto usinado a frio são mais econômicos e indicados a vias com baixo volume de tráfego (ZAGONEL, 2013).

O concreto betuminoso usinado a quente pode suportar maior compressão, ou seja, suporta um fluxo maior de tráfego de veículos pesados diários que transitam sobre o revestimento asfáltico. Diante disso, o CBUQ possui melhor qualidade como camada final de um revestimento asfáltico (CHITONILA, 2017).

2.5. Caminhão Pipa para Controle de Emissão de Material Particulado

O caminhão pipa é mais utilizado para fins de abastecimento de água potável, mas também pode ser empregado na área de mineração e em vias não pavimentadas. Estes locais para atendimento da legislação vigente requerem umectação contínua para diminuição e controle da emissão de material particulado em suspensão. Por outro lado, os caminhões pipas são abastecidos por combustíveis fósseis altamente poluentes como o diesel. Além disso, requer custo de mão-de-obra (operadores) e manutenção periódica e preventiva (MAGALHÃES, 2020).

2.6. Uso de Polímeros

A palavra polímero vem do grego *poli*, que significa “muitas”, e *meros*, que significa “partes”. Portanto, o polímero é constituído por muitas macromoléculas desses compostos que se originam da ligação de várias moléculas minúsculas, denominadas monômeros (FOGAÇA, 2016).

Os polímeros inicialmente tinham objetivo de conter apenas a emissão de material particulado, em pilhas de minérios por se aderir à superfície do material, ocasionando a impossibilidade de se desprender pela ação do vento. Porém, com o passar do tempo foram produzidos polímeros com outras finalidades, como para supressão de material particulado em vias não pavimentadas (NAZARENO, 2018).

O uso de produtos, como polímeros com intuito de serem supressores de material particulado vem ganhando cada vez mais espaço no mercado, por ser um produto mais sustentável devido à possibilidade de poder economizar grande quantidade de água, por ser um produto inovador e com certa eficiência. Por outro lado, esses produtos ainda requerem um investimento muito elevado quando comparado ao uso de água não tratada somente. (NAZARENO, 2018).

A eficiência do uso de supressores de poeiras químicos depende da taxa de diluição usado na mistura, da taxa de aplicação, tempo entre as aplicações, tamanho, velocidade e quantidade de tráfego de veículos e a condições meteorológicas. Estes produtos são atraentes tecnologicamente devido suas características físicas e químicas (EPA, 2016).

2.7. Uso de Sistema de Aspersão de Água

A adequada escolha para o tipo de umectação em locais não pavimentados para ser um mecanismo de controle de poluição é essencial para determinar a sua correta eficiência. A aspersão fixa é um método inovador e eficiente, quando comparada com caminhões pipas, pois a mesma oferece menores custos de manutenção, não necessita de operadores, não emite poluição já que a mesma opera pelo emprego de energia elétrica pelo e não por combustíveis fósseis como o diesel utilizado nos caminhões pipas e combate a poeira em suspensão de forma eficiente (MAGALHÃES, 2020).

Esse tipo de sistema é constituído por aspersores, tubulações e o sistema de pressurização da rede hidráulica, composto por um conjunto motor-bomba. A aspersão simula uma chuva artificial que pode ser idealizada para cada situação, com a finalidade de promover o umedecimento do solo.

Para o dimensionamento de tubulações hidráulicas é usado a equação de Hazen-Wiliams, na qual o estudo de carga é fundamental. Com esta equação pode-se calcular a perda gradativa de energia, mas comumente conhecido como perda de carga devido a perda gradativa da água devido ao contato entre a água e as paredes das tubulações, representado pela rugosidade. Quanto maior for o coeficiente de rugosidade e a velocidade da água maior a perda de carga (AZEVEDO NETTO, 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A usina do setor de aço nacional localizada em território brasileiro está presente em vários estados. Segundo a classificação de Köppen (1948), a siderúrgica está localizada em região que o clima é do tipo tropical, com temperatura média anual de 22,4 °C. Na estação verão, ocorrem os maiores registros de precipitação pluviométrica, em média superior a 200 mm e nos meses de junho a agosto, a média é inferior a 30 mm. A intensidade das chuvas, bem como a temperatura do local influenciam diretamente na evaporação de água no solo.

Como pode ser observado nas Figuras 6 e 7, o fluxo de caminhões neste local faz com seja levantado quantidade considerável de material particulado. Esta problemática não ocorre somente em usinas produtoras de aço, mas também pode acontecer em qualquer local que tenha vias não pavimentadas, como em locais que usem escória de aciaria elétrica para o revestimento de vias. Por isso, a necessidade de se encontrar uma alternativa que seja viável economicamente, é de suma importância, para que com isso, os impactos ambientais e impactos negativos causados à saúde humana sejam reduzidos.

Figura 6 - Foto de 9 de setembro de 2020 na central de caminhoneiros da siderúrgica.



Fonte: Do Autor (2020).

Figura 7 - Foto do levantamento de material particulado proveniente do solo.



Fonte: Do Autor (2020).

O tráfego frequente de caminhões na usina em áreas, que possuem em sua base escória de aciaria elétrica, faz com que ela seja fragmentada em pequenas partículas devido ao atrito, e por isso, ocorre emissão de material particulado quando se encontra seco. A central de caminhoneiros apresenta 42.500 m² de área o que equivale a 1% área total usina. A Figura 8 representa a delimitação em vermelho da área da central de caminhoneiros.

Figura 8 - Delimitação em vermelho da área da central de caminhoneiros da usina.



Fonte: Google Earth (2020).

3.2. Orçamento para Pavimentação Asfáltica

A diretoria de engenharia da siderúrgica fez um orçamento detalhado em 2016 com o custo da mão-de-obra, serviços e materiais necessários. A fim de usar esse orçamento como comparação as alternativas estudadas neste trabalho, foi feita uma busca por índices econômicos que pudessem expressar os valores nos dias atuais. Inicialmente, optou-se por escolher os melhores índices que tentassem se ajustar em um orçamento para pavimentação asfáltica. Os índices encontrados foram Índice Nacional de Custo da Construção Civil (INCC) e Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).

O INCC é um índice que tem a finalidade de quantificar a variação de preços relacionados à construção civil, sendo muito utilizado para reajuste das parcelas de imóveis que são comprados durante a fase de construção. Por ser o principal índice referente à construção civil, foi aplicado a este trabalho.

O IPCA é o índice oficial do Governo Federal para medição de metas inflacionárias. Serve para medir a inflação em um determinado período de tempo de uma cesta de serviços e produtos sendo usado para reajustar preços de maneira geral.

Ambos os índices são calculados mensalmente, o INCC é calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e o IPCA pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Como índices são uma estimativa para reajuste de preços que nem sempre refletem a realidade e também por não existir um índice específico para este fim, os dois índices encontrados, INCC e IPCA, foram aplicados a este trabalho para fins de comparação entre eles.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores calculados para os dois índices, IPCA e INCC, desde janeiro de 2016 até o mês de outubro de 2020. Sendo aplicados os valores reajustados mês a mês desses valores para fins de comparação com as alternativas apresentadas neste trabalho.

Tabela 1 - Valores do índice INCC mensais desde Janeiro de 2016.

INCC	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	2019 (%)	2020 (%)
Janeiro	0,32	0,29	0,28	0,40	0,26
Fevereiro	0,52	0,53	0,14	0,19	0,35
Março	0,79	0,36	0,23	0,19	0,38
Abril	0,41	-0,08	0,28	0,49	0,18
Maio	0,19	0,13	0,30	0,09	0,21
Junho	1,52	1,36	0,76	0,44	0,32
Julho	1,09	0,22	0,72	0,91	1,17
Agosto	0,26	0,40	0,30	0,34	0,82
Setembro	0,37	0,14	0,17	0,60	1,16
Outubro	0,17	0,19	0,33	0,12	-
Novembro	0,17	0,28	0,26	0,15	-
Dezembro	0,36	0,14	0,13	0,14	-
Total (%)	5,81	3,96	3,90	4,06	4,85
Total Acumulado (%)			22,94		

Fonte: FGV (2020).

Tabela 2 - Valores do índice IPCA mensais desde Janeiro de 2016.

IPCA	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	2019 (%)	2020 (%)
Janeiro	1,27	0,32	0,29	0,32	0,21
Fevereiro	0,90	0,33	0,32	0,43	0,25
Março	0,43	0,25	0,09	0,75	0,07
Abril	0,61	0,14	0,22	0,57	-0,31
Maio	0,78	0,31	0,40	0,13	-0,38
Junho	0,35	-0,23	1,26	0,01	0,26
Julho	0,52	0,24	0,33	0,19	0,36
Agosto	0,44	0,19	-0,09	0,11	0,24
Setembro	0,08	0,16	0,48	-0,04	0,64
Outubro	0,26	0,42	0,45	0,10	-
Novembro	0,18	0,28	-0,21	0,51	-
Dezembro	0,30	0,45	0,15	1,15	-
Total (%)	6,12	2,86	3,69	4,23	1,34
Total Acumulado (%)			18,24		

Fonte: IBGE (2020).

3.3. Orçamento Caminhão Pipa Extra

Uma alternativa para aumentar a frequência de umectação das áreas não pavimentadas desta siderúrgica é contratar um novo caminhão pipa junto à empresa terceira que fornece o caminhão pipa, um novo caminhão pipa. Totalizando dois caminhões que estariam à disposição da siderúrgica para irrigação de vias não pavimentadas. Assim, foram estudados diferentes cenários para a possível contratação.

O caminhão pipa atual fica à disposição da usina siderúrgica 24 horas por dia todos os dias da semana, sendo que no turno de 8 horas às 16 horas a demanda pelo uso do caminhão pipa é maior. Assim, foi feito o orçamento considerando os valores de segunda-feira à sábado e de segunda-feira à domingo, visto que no domingo espera-se menor quantidade de caminhões na usina. Também foi orçado como seria se o caminhão pipa trabalhasse por 1, 2 ou 3 turnos. Com isso, foi feito um estudo para decidir qual cenário seria mais vantajoso financeiramente e que traria maior retorno quanto à eficiência da umectação no local.

Tabela 3 - Cenários para contratação de caminhão pipa extra.

INCLUSÃO DE CAMINHÃO PIPA COM 20 m³	
Cenário A - 01 Turno	
1 – Segunda à sábado	2 – Segunda à Domingo
Cenário B - 02 Turnos	
1 – Segunda à sábado	2 – Segunda à Domingo
Cenário C - 03 Turnos	
1 – Segunda à sábado	2 – Segunda à Domingo

Fonte: Do Autor (2020).

3.4. Estudo de Caso do Uso de Polímeros

O uso de polímeros para supressão de material particulado é uma alternativa para locais em que ocorre emissão excessiva de material particulado. Além de reduzir o consumo de água para a umectação de vias, pilhas de minérios e resíduos, o polímero pode ser mais eficiente na redução deste tipo de emissão.

Para testar a eficiência do uso de polímeros neste tipo de local, buscou-se por fornecedores que pudessem disponibilizar o polímero de forma gratuita para teste. O polímero usado é comercializado por uma empresa que tem em sua carta de produtos diversos polímeros indicados para este fim, sendo o polímero *Fitosoil Forte*, o mais indicado para este caso. De acordo com a sua Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos,

FISPQ, o produto é recomendado para ser usado como estabilizador a base de macromoléculas de origem vegetal que ao ser aplicado em superfícies naturais podem controlar a emissão de partículas fazendo com que haja estabilidade química das características estruturais do solo.

A quantidade fornecida pelo fornecedor foi de apenas dois tanques reservatórios de 1.000 L cada, totalizando 2.000 L. Também foram fornecidas as mangueiras e a bomba para sucção do polímero.

O cronograma proposto (Tabela 4) foi elaborado da seguinte forma: quatro dias fazendo duas aplicações ao dia, depois quatro dias fazendo uma aplicação ao dia e depois mais três aplicações em dias intercalados como apresentado na tabela abaixo. Totalizando 15 aplicações usando polímero diluído em água.

Tabela 4 - Cronograma do teste usando o polímero *Fitosoil Forte*.

DOMINGO	SEGUNDA- FEIRA	TERÇA- FEIRA	QUARTA- FEIRA	QUINTA- FEIRA	SEXTA- FEIRA	SÁBADO
02/08/2020	03/08/2020	04/08/2020	05/08/2020	06/08/2020	07/08/2020	08/08/2020
-	2 aplicações	2 aplicações	2 aplicações	2 aplicações	1 aplicação	1 aplicação
09/08/2020	10/08/2020	11/08/2020	12/08/2020	13/08/2020	14/08/2020	15/08/2020
1 aplicação	1 aplicação	-	1 aplicação	-	1 aplicação	-
16/08/2020	17/08/2020	18/08/2020	19/08/2020	20/08/2020	21/08/2020	22/08/2020
1 aplicação	-	-	-	-	-	-

Fonte: Do Autor (2020).

Devido à pouca quantidade de polímero disponibilizado pelo fornecedor (2.000 L), o teste não pôde ser feito em todas as vias da central de caminhoneiros. Assim, escolheu-se a via principal onde o tráfego de caminhões é maior. A via foi sinalizada em branco conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Área de aplicação do polímero *Fitosoil Forte* sinalizada em branco.



Fonte: *Google Earth* (2020).

A via em branco possui extensão de 485 m com largura aproximada de 5 m. Por tanto, a área ideal para o teste usando o polímero *Fitosoil Forte* seria de aproximadamente de 2.425 m².

De acordo com o fornecedor, a concentração a ser usada no teste deve ser de 2,5%, concentração ideal para este tipo de solo que foi estabelecida pelo fornecedor baseando-se em outros locais com características semelhantes. Para fazer as 15 aplicações do polímero a 2,5%, dividiu-se a quantidade disponível de polímero, 2.000 L, pela concentração indicada pelo fornecedor, 2,5%. Por isso, a quantidade máxima de água a ser usada no teste é de 78.000 L mais os 2.000 L de polímero, totalizando 80.000 L disponíveis para teste. Dividindo-se esses 80.000 L pela quantidade de aplicações, 15, cada aplicação a disponibilidade será de aproximadamente 5.333 L. Sendo 133 L de polímero e 5.200 L de água. As informações apresentadas foram resumidas na Tabela 5.

Tabela 5 - Informações do teste usando o polímero *Fitosoil Forte*.

TESTE USANDO O POLÍMERO <i>FITOSOIL FORTE</i>	
Concentração de <i>Fitosoil Forte</i>	2,5%
Quantidade de polímero disponível para teste	2.000 L
Quantidade máxima de água + polímero com concentração 2,5%	80.000 L
Quantidade de aplicações	15
Quantidade de água + polímero por teste com concentração 2,5%	5.333 L
Quantidade de polímero por teste	133 L
Quantidade de água por teste	5.200 L
Capacidade do caminhão pipa	20 m ³

Fonte: Do Autor (2020).

De acordo com o fornecedor a quantidade ideal de *Fitosoil Forte* para aplicação base 0,6 L/m². A barra de gotejamento disponível no caminhão pipa apresenta 2,5 m de largura. Para saber quantos metros o caminhão percorre para esvaziar totalmente um caminhão completo abastecido apenas de água, foi solicitado ao motorista do caminhão pipa de um turno que monitorasse no odômetro do veículo, equipamento que mede a distância percorrida. A distância total encontrada em diferentes dias foi de 4.500 m para cada caminhão completo com os 20.000 L de água.

Para determinar a área possível de aplicação do teste, multiplicou-se os 4.500 m pela largura da barra de gotejamento do caminhão pipa, 2,5 m, este valor é o total de área em m² por aplicação com o caminhão pipa cheio. Por tanto, com um tanque cheio do caminhão pipa a área máxima de aplicação do teste é de 9.000 m². Por isso, como foi definido que será usado aproximadamente 5.333,3 L por aplicação, a área do teste poderá ser de apenas 2.400 m². Como a largura da barra de gotejamento é de 2,5 m e a extensão da via definida para o teste apresenta 485 m de comprimento, a área total considerando que o caminhão passe lado a lado na via, totalizando 5,0 m de largura, será de 2.425 m².

A velocidade do caminhão pipa durante a aplicação do polímero *Fitosoil Forte* diluído em água deve ser constante para que todos os locais recebam a mesma quantidade. A área de aplicação do teste apresenta 2.425 m² e a quantidade de polímero de 133 L o que dá um taxa de irrigação de 0,055 L/m² de *Fitosoil Forte*. Para saber a quantidade ideal de aplicações para

atingir a quantidade ótima de *Fitosoil* no solo dividiu-se a taxa da quantidade ideal do polímero por aplicação de $0,6 \text{ L/m}^2$ pela taxa de irrigação do *Fitosoil* Forte do caminhão que é de $0,055 \text{ L/m}^2$. Com isso, obteve-se o total de 10,90 aplicações para atingir a quantidade ótima de *Fitosoil* Forte no solo, onde após atingir esse valor, a eficiência do produto será máxima devido à formação de uma película protetora no solo.

3.5. Estudo de Caso do Uso de um Sistema de Aspersão de Água

Para realizar a análise de viabilidade da implantação de um sistema de aspersão de água, na central de caminhoneiros da siderúrgica, primeiramente foi realizado o levantamento planialtimétrico, seguido do ensaio de condutividade hidráulica do solo. Essas análises foram realizadas por empresas subcontratadas pela usina. O levantamento planialtimétrico foi realizado em 2 de setembro de 2020 usando equipamento com *global position system*, GPS.

A análise de condutividade hidráulica do solo foi realizada em 9 de setembro de 2020 usando anéis concêntricos. Devido ao fato do solo neste local, por ser revestido de uma espessa camada de escória compactada pelo tráfego elevado de veículos pesados, não foi possível realizar a cravação dos anéis, para avaliar a taxa de infiltração de água e calcular a condutividade hidráulica vertical.

Em um primeiro momento, foi colocado um selo com argila na parte externa dos anéis, para retenção da coluna da água dentro deles, de modo que fosse possível ensaiar a condutividade vertical da coluna de água, no entanto a baixa aderência da argila no substrato e a carga hidráulica exercida acabaram por romper este selo (Figura 10).

Figura 10 - Anéis concêntricos.



Fonte: Do Autor (2020).

A partir destes resultados, foi proposta a coleta de uma amostra do material para buscar uma forma de realizar o ensaio em laboratório. Porém, em razão do tipo de material também não foi possível fazer a coleta de amostra indeformada. Foi então, coletada uma amostra deformada com o intuito de simular uma compactação do material e realizar o ensaio em ambiente controlado.

Após a escavação realizada com a coleta da amostra, optou-se pela tentativa de se realizar um ensaio a partir de um anel no local escavado, compactando as laterais do anel interno, sem a cravação do anel externo, porém buscando também saturar a parte externa enquanto fosse realizado o enchimento da parte interna do anel.

Figura 11 - Ensaio de condutividade hidráulica cravando o anel interior no solo.



Fonte: Do Autor (2020).

Na tentativa de garantir as características do substrato de onde foi coletada a amostra, optou-se por realizar um ensaio reproduzindo um modelo reduzido de condições do material encontrado. Para tanto, compactou-se a amostra em um cilindro de alumínio, através de um soquete de madeira, na tentativa de se reproduzir as características do substrato e aproximar as condições de compactação da realidade local, compreendendo melhor o comportamento da água ao se infiltrar nesse material.

O material foi colocado no cilindro em pequenas quantidades para cobrir cerca de 10 cm de espessura, foi então compactado até que adquirisse consistência e condições similares ao local de origem. Então, foi novamente inserido mais uma quantidade de material e realizado novamente a compactação. O cilindro foi preenchido por cerca de 40 cm de material. Após a compactação, restaram 20 cm de cilindro para preenchimento de água para realização do teste. Para garantir que a água pudesse sair pela parte de baixo do cilindro, este foi colocado sobre uma superfície de concreto, porém sem nenhum tipo de selo. Deste modo o ensaio reflete a passagem da água vertical pela coluna de material compactado.

Figura 12 - Soquete para compactação da amostra.



Fonte: Do Autor (2020).

Após o levantamento dessas análises, foi feito o layout do sistema de aspersão de água na central usando o levantamento planialtimétrico, *AutoCad* e o *Google Earth* para delimitar as tubulações, o dimensionamento hidráulico usando a equação de *Hazen-Williams* para cálculo da perda de carga, diâmetro da tubulação, altura manométrica nos trechos para posterior escolha do tipo de aspersor e de bomba. Por último, foi levantada uma estimativa do valor da implantação desse sistema usando este tipo de alternativa.

Equação 1 – Equação de *Hazen-Williams*.

$$hf = 10,64 \left(\frac{L}{(D^{4,87})} \right) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852}$$

Fonte: Gardner Williams and Allen Hazen (1920).

As incógnitas da Equação 1 são:

- hf = perda de carga (m);
- L = comprimento (m);
- D = Diâmetro da tubulação (mm);
- Q = Vazão (m³/s);
- C = Coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (mm).

3.6. Comparação e Viabilidade entre as Possibilidades Encontradas

Para comparar as alternativas apresentadas neste trabalho foi realizada uma matriz custo-benefício para o que foi proposto neste trabalho. Esta matriz tem o intuito de priorizar a alternativa mais importante, obtendo menor custo e maior retorno para a mitigação do impacto ambiental. Dessa forma, dará subsídios para a escolha da melhor opção para a siderúrgica que atenda a condicionante da licença ambiental de operação e seja uma alternativa sustentável com custo viável para a siderúrgica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O que é feito atualmente

Devido à demanda de matéria-prima, geração de resíduos e a produção, a concentração de caminhões transitando na siderúrgica é elevada. Nos meses julho, agosto e setembro do ano de 2020, em média, 324 caminhões transitaram na central de caminhoneiros por dias úteis, 110 aos sábados e 79 aos domingos e feriados, valor que pode ser variável devido a qualquer influência advinda da produção. A central de caminhoneiros, conta ainda com área infantil, refeitório, banheiros, salas para empresas terceiras e sala em que os motoristas fazem testes relacionados à segurança do trabalho na unidade.

A área da central de caminhoneiros apresenta 42.500 m², sendo aproximadamente 30.000 m² de vias, 1.000 m² do prédio do local e 11.500 m² de estacionamento de caminhões para 180 caminhões e demais veículos. Como o revestimento do solo deste local é feito com escória de aciaria elétrica, nota-se emissão de material particulado que é levantado devido ao trânsito intenso de caminhões, esse material particulado, ao ser inalado de maneira contínua pode causar diversos efeitos para a saúde humana.

Na tentativa de minimizar os efeitos causados pela emissão de material particulado, a siderúrgica possui contrato com uma empresa, a qual fornece um caminhão pipa que tem como reservatório 20 m³. O custo mensal do caminhão pipa é elevado, pois além do aluguel do caminhão e combustível, inclui os funcionários que operam esses caminhões em três turnos.

A água usada pelo caminhão pipa é proveniente de uma lagoa artificial de águas pluviais localizada no interior da usina. A rota do caminhão pipa depende da demanda e da intensidade das chuvas na região. O local mais crítico é a central de caminhoneiros, por haver presença constante de pessoas transitando diretamente no local, e por ter bairros vizinhos. Existem outros locais situados no interior da siderúrgica que não são asfaltados, como as vias do pátio de metálicos, central de resíduos, pátio de resíduos e coprodutos e de estacionamentos de veículos em geral.

Atualmente, a gerência de logística da siderúrgica mantém contrato com uma empresa que fornece um caminhão pipa (Figura 13) com o custo mensal de R\$ 48.000,00 reais, com 20 m³ de capacidade de abastecimento, para fazer a rota das vias e locais não pavimentados. O caminhão é usado 24 horas por dia, durante os sete dias da semana, com três turnos de 8 horas.

Figura 13 - Caminhão pipa contratado para umectação de vias na usina siderúrgica.



Fonte: Do Autor (2020).

Manter as vias e locais não pavimentados úmidos é uma condicionante da licença ambiental de operação da siderúrgica. A irrigação é feita com intuito de reduzir a emissão de material particulado, mas é comum observar que a rota feita e a quantidade de água que é usada para umectar os locais não são suficientes, principalmente em dias quentes e sem precipitação. O motorista do turno não segue uma rota fixa, por atender demandas das áreas que solicitam prioridade de acordo com a necessidade momentânea. Durante os meses de junho e julho de 2020 foi monitorada a quantidade de vezes no qual a central de caminhoneiros é irrigada por dia, durante todo esse tempo, a central de caminhoneiros foi irrigada apenas 3 vezes ao dia, sendo uma vez por cada turno. Cabe ressaltar que esses meses possuem temperaturas bem inferiores quando comparadas aos meses do verão.

O tempo de abastecimento do caminhão pipa com a água proveniente da lagoa de águas pluviais é de aproximadamente 20 minutos e todo motorista ao final do seu turno deve deixar o caminhão cheio para que o próximo motorista possa começar seu turno com ele abastecido. A Figura 14 mostra como é feita a irrigação na central de caminhoneiros ao com o uso do caminhão pipa.

Figura 14 - Central de caminhoneiros sendo umectada pelo caminhão pipa.



Fonte: Do Autor (2020).

Durante os meses de junho e julho, meses de inverno, foi observado pelas câmeras internas que após ser umectado, em dias ensolarados e sem presença de precipitação, depois de no mínimo 2 horas e no máximo 4 horas, a situação no local já volta a ficar crítica, ou seja, tempo que demora até a água ser absorvida e/ou evaporada, voltando a ocorrer o levantamento de material particulado.

A água usada para o abastecimento do caminhão pipa vem de uma lagoa artificial que é abastecida por água proveniente de chuva, águas pluviais. A lagoa de águas pluviais apresenta cerca de 11.000 m² de área (Figura 15), foi construída na implantação da usina com intuito de auxiliar na irrigação de áreas não pavimentadas. A lagoa e a central de caminhoneiros ficam distantes aproximadamente 500 metros.

Figura 15 - Área da central de caminhoneiros e lagoa de águas pluviais.



Fonte: *Google Earth* (2020).

4.2. Orçamento Pavimentação Asfáltica

A solução ambientalmente adequada e com fins de saúde pública, seria o uso de asfalto nas áreas que não possuem pavimentação. A diretoria de engenharia da siderúrgica fez um orçamento no início do ano de 2016, com o intuito de asfaltar toda a central de caminhoneiros. Este orçamento foi dividido em 3 partes, sendo elas, drenagem, pavimentação com concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e sinalização (Tabelas 6, 7 e 8).

Conforme visto em Zagonel (2013) e Chitonila (2017), o tipo de pavimentação CBUQ é o mais indicado para a central de caminhoneiros devido as suas características, como a camada final apresentar maior resistência e por suportar maior tráfego de veículos pesados. A central de caminhoneiros recebe em média 324 caminhões por dia útil, este valor pode ter influência advinda da produção de aço da usina.

A fim de comparar, usando o orçamento da pavimentação asfáltica com as alternativas propostas deste trabalho, foram estudados os índices que pudessem reajustar o orçamento realizado em 2016 para valores atuais. Índices são médias ponderadas com base em uma cesta de bens e serviços que em sua maioria podem não refletir o que de fato ocorreu com valores monetários de projetos e investimentos específicos.

Para ter um valor que fosse mais coerente à situação atual, deveria ser feito um novo orçamento para a pavimentação asfáltica do local. Como essa possibilidade não era viável, devido ao custo para fazer este orçamento, optou-se por proceder desta forma.

Diante disso usaram-se dois índices que pudessem ser mais apropriados para fazer o reajuste dos valores deste orçamento. Primeiramente, usou-se o INCC (Tabela 1) calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e o IPCA calculado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Tabela 2. As tabelas 1 e 2 foram apresentadas na metodologia por se tratarem de valores que foram usados para serem reajustados.

O valor acumulado desde janeiro de 2016 para o índice INCC foi de 22,94% já o índice acumulado para o IPCA foi de 18,24%. Logo, a diferença entre os índices INCC e IPCA é de 4,70%.

Tabela 6 - Orçamento da Drenagem realizado pela Diretoria de Engenharia da Siderúrgica.

DRENAGEM	VALOR UNITÁRIO (R\$)	UNIDA DE	QUANTI DADE	VALOR TOTAL (2016) (R\$)	INCC (R\$)	IPCA (R\$)
Escavação	7.875,00	m ³	20,00	157.500,00	193.630,50	186.228,00
Fornecimento, assentamento e tubo em concreto armado com Ø600 - PA1	3.500,00	m	230,00	805.000,00	989.667,00	951.832,00
Reaterro com vala de material local	2.362,50	m ³	14,00	33.075,00	40.662,41	39.107,88
Poço de visita	25,00	peça	3450,00	86.250,00	106.035,75	101.982,00
TOTAL				1.081.825,00	1.329.995,66	1.279.149,88
				(R\$)		

Fonte: Do Autor (2020).

No orçamento da drenagem para a central de caminhoneiros, o valor em janeiro de 2016 era de R\$ 1.081.825,00, valor que foi reajustado pelos índices INCC e IPCA. Para o INCC, o valor reajustado após os 57 meses seria de R\$ 1.329.995,66, diferença de R\$ 248.170,66 quando comparado ao orçamento inicial. Já para o IPCA o valor reajustado após esse período de tempo é de R\$ 1.279.149,88, com a diferença do orçamento inicial de R\$ 197.324,88.

Tabela 7 - Orçamento da Pavimentação CBUQ pela Diretoria de Engenharia.

PAVIMENTAÇÃO CBUQ	VALOR UNITÁRIO (R\$)	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR TOTAL (2016) (R\$)	INCC (R\$)	IPCA (R\$)
Regularização e compactação de sub-base	42.500,00	m ²	3,20	136.000,00	167.198,40	160.806,40
Base de escória com índice de suporte (CBR) > 80% - espaçamento = 20 cm	42.500,00	m ²	19,00	807.500,00	992.740,50	954.788,00
Carga e transporte de escória com densidade máxima teórica até 2 km	21.250,00	m ³	12,00	255.000,00	313.497,00	301.512,00
Imprimação de base de pavimentação	2.125,00	m ³	3,70	7.862,50	9.666,16	9.296,62
Pintura de ligação	42.500,00	m ²	2,50	106.250,00	130.623,75	125.630,00
Revestimento de CBUQ com 4 cm de espaçamento	42.500,00	m ²	34,00	1.445.000,00	1.776.483,00	1.708.568,00
Revestimento de CBUQ com 3 cm de espaçamento - Faixa C	42.500,00	m ²	32,20	1.368.500,00	1.682.433,90	1.618.114,40
Meio fio em concreto usinado 25 Mpa - extrusado	R\$ 840,00	m	75,00	63.000,00	77.452,20	74.491,20
Sarjeta	R\$ 900,00	m	55,00	49.500,00	60.855,30	58.528,80
TOTAL				4.238.612,50	5.210.950,21	5.011.735,42
				(R\$)		

Fonte: Do Autor (2020).

No orçamento da pavimentação com concreto betuminoso usinado a quente, CBUQ, para a central de caminhoneiros o valor em janeiro de 2016 era de R\$ 4.238.612,50, valor que foi reajustado pelos índices INCC e IPCA. Para o INCC o valor reajustado após os 57 meses seria de R\$ 5.210.950,21, diferença de R\$ 972.337,71 quando comparado ao orçamento inicial. Já para o IPCA o valor reajustado após esse período de tempo é de R\$ 5.011.735,42, com a diferença do orçamento inicial de R\$ 773.122,92.

Tabela 8 - Orçamento da Sinalização pela Diretoria de Engenharia da Siderúrgica.

SINALIZAÇÃO	VALOR UNITÁRIO (R\$)	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR TOTAL (2016)	INCC (R\$)	IPCA (R\$)
Sinalização horizontal mecânica com tinta a base de resina acrílica em vias urbanas com 12 cm de largura	1.250,00	m ²	80,00	100.000,00	122.940,00	118.240,00
Sinalização vertical - Placa de aço adesivada com poste de aço galvanizado e ferragens - layout a definir	50,00	peça	1580,00	79.000,00	97.122,60	93.409,60
			TOTAL	179.000,00	220.062,60	211.649,60
				(R\$)		

Fonte: Do Autor (2020).

No orçamento da sinalização para a central de caminhoneiros o valor em janeiro de 2016 era de R\$ 179.000,00, valor que foi reajustado pelos índices INCC e IPCA. Para o INCC o valor reajustado após os 57 meses seria de R\$ 220.062,60, diferença de R\$ 41.062,60 quando comparado ao orçamento inicial. Já para o IPCA o valor reajustado após esse período de tempo é de R\$ 211.649,60, com a diferença do orçamento inicial de R\$ 33.649,60.

A tabela 9 apresenta o valor total reajustado para o orçamento realizado pela diretoria de engenharia da siderúrgica no ano de 2016.

Tabela 9 - Valores reajustados considerando os índices INCC e IPCA.

VALOR TOTAL (2016)	VALOR REAJUSTADO INCC (R\$)	VALOR REAJUSTADO IGPM (R\$)	DIFERENÇA ENTRE OS VALORES REAJUSTADOS (R\$)
R\$ 5.499.437,50	6.761.008,46	6.502.534,90	258.473,56

Fonte: Do Autor (2020).

Considerando o percentual de reajuste para esse período de tempo, com os índices INCC e IPCA, o INCC apresentou valor reajustado de R\$ 6.761.008,46 e para o IPCA valor de R\$ 6.502.534,90. A diferença de valor entre os índices é de R\$ 258.473,56.

Como índices são médias ponderadas de uma cesta de bens e serviços que nem sempre podem refletir a verdadeira inflação decorrida deste tipo de orçamento, optou-se por considerar o cenário menos crítico e com percentual de reajuste menor, então, adotou-se o IPCA para fins de comparação entre as demais alternativas deste trabalho. Por isso, o valor reajustado do orçamento de pavimentação asfáltica usando CBUQ foi definido em R\$ 6.502.534,90 reais com aumento de 18,24% do valor orçado em janeiro de 2016.

4.3. Orçamento Caminhão Pipa Extra

Para fazer o orçamento de um caminhão pipa extra, foram orçados em conjunto com a empresa que já presta este tipo de serviço para a siderúrgica, três cenários conforme apresentado na Tabela 10. O cenário A considerando apenas um turno, que preferencialmente seria das 8 horas às 16 horas, de segunda à sábado, apresentou o custo mensal de R\$ 19.000,00 e incluindo o domingo, com o custo mensal seria de R\$ 28.000,00.

No cenário B em dois turnos, que seriam preferencialmente os turnos das 8 horas às 16 horas e o turno das 16 horas a 0 hora com o custo de segunda à sábado no valor mensal de R\$ 30.000,00 e incluindo o domingo no valor mensal de R\$ 45.000,00.

No cenário C em três turnos, acrescentando o turno de 0 hora às 8 horas, o custo mensal de segunda a sábado de R\$ 40.000,00 e incluindo o domingo com o custo mensal de R\$ 48.000,00.

Tabela 10 - Orçamento de caminhão pipa extra.

INCLUSÃO DE CAMINHÃO PIPA COM 20 m³			
Cenário A - 01 Turno			
Segunda à sábado		Segunda à Domingo	
Valor/mês (R\$)	19.000,00	Valor/mês (R\$)	28.000,00
Cenário B - 02 Turnos			
Segunda à sábado		Segunda à Domingo	
Valor/mês (R\$)	30.000,00	Valor/mês (R\$)	45.000,00
Cenário C - 03 Turnos			
Segunda à sábado		Segunda à Domingo	
Valor/mês (R\$)	40.000,00	Valor/mês (R\$)	48.000,00

Fonte: Do Autor (2020).

Considerando os valores acima orçados, nota-se que em qualquer dos três cenários o acréscimo do custo mensal para que o caminhão pipa trabalhe aos domingos é muito alto. No cenário A, a diferença de custo é de R\$ 9.000,00, no cenário B, R\$ 15.000,00 e no cenário C, R\$ 8.000,00.

Para dispensar a necessidade do caminhão pipa aos domingos, foi feito o acompanhamento por oito semanas da quantidade de caminhões que acessaram diariamente a usina siderúrgica durante os dias de semana, sábados e domingos conforme mencionado anteriormente. Para os dias de semana a média de caminhões por dia foi de 324, aos sábados foi de 154 e aos domingos de 79 caminhões. Foi observado que o tráfego de caminhões na central de caminhoneiros é 76% menor aos domingos e 52% menor aos sábados. Considerou-se também que a demanda pelo caminhão pipa aos domingos é menor quando comparado aos dias de semana. A opção de contratar o segundo caminhão pipa também aos domingos não se faz tão necessário e requer apenas aumento da frequência de irrigação no local.

Durante o turno de 0 hora às 8 horas no qual o tráfego de caminhões é menor e a evaporação de água no local é reduzida devido à ausência de sol, e com isso com temperaturas menores, a demanda pelo caminhão pipa é reduzida. Dessa forma, não se tem necessidade de contratar o caminhão pipa considerando o cenário C.

Os cenários A e B de segunda a sábado são cenários que atenderiam bem a necessidade da siderúrgica por serem os horários que são considerados críticos para eficiência da umectação no local. No cenário A, com o custo mensal de R\$ 19.000,00 e no cenário B com o custo mensal de R\$ 30.000,00.

Ao optar pelo cenário A, a frequência de umectação no turno de 8 horas à 16 horas que atualmente devido a elevada demanda só é irrigada uma vez neste turno, poderia ser

aumentado para 3 a 4 irrigações, o que já traria certa eficiência, por ser durante o horário que ocorrem as maiores quantidade de emissão de material particulado no local. Considerando que, em dias ensolarados e sem precipitação, o intervalo ideal entre as umectações seja de 2 horas a, no máximo, 4 horas. Este caminhão pipa extra, poderá atender bem o cenário mais crítico, com intervalo de 2 horas.

4.4. Estudo de Caso de Uso de Polímeros

Em cada aplicação utilizou-se aproximadamente 133,0 L do polímero *Fitosoil Forte* e 5.200 L de água. Mensurar exatamente essa quantidade de polímero e da água era impossível devido aos recursos disponíveis e também devido aos riscos envolvendo segurança do trabalho. Assim, foi definido em conjunto ao Meio Ambiente, Segurança do Trabalho, Utilidades (área responsável pelo acionamento da bomba), empresa que fornece o caminhão pipa e o fornecedor do produto que a quantidade de polímero fosse mensurada fazendo um teste de vazão utilizando um balde, que apresentou 1,1 L/s e para a quantidade de água foi calculado o tempo que o caminhão pipa demora para abastecer completamente, 20 minutos e dividiu-se por quatro, apresentando em média 5 minutos para completar os 5.200 L.

Por isso, em cada aplicação foi usado um cronômetro para marcar baseando-se no teste de vazão de 1,1 L/s, deixando a bomba ligada para sucção do polímero por dois minutos. Para a sucção da água da lagoa de águas pluviais cronometrou-se cinco minutos da bomba ligada. Sendo feito desta forma, sabe-se que foram gerados diversos erros, como a altura de coluna d'água do polímero ao ser esvaziado, tender a diminuir vazão de sucção quando comparada com o reservatório mais cheio, erros com relação ao uso do cronômetro, vazão de sucção da água da lagoa não ser constante, velocidade de sucção da bomba e ainda observou-se que quando o polímero estava chegando ao fim ele se tornava mais espesso, ou seja, com maior viscosidade.

O cronograma não pode ser seguido fielmente ao inicialmente proposto devido à disponibilidade de mão-de-obra para acionar a bomba, principalmente aos finais de semana e nas segundas-feiras devido à redução de jornada de trabalho ocasionada pela pandemia do Covid-19, ao caminhão pipa que precisou passar por manutenção preventiva e também devido ao tráfego de veículos no local do teste.

A Figura 16 mostra como foi feito o engate das mangueiras no caminhão pipa e no reservatório. Sendo o polímero *Fitosoil Forte* colocado pela parte inferior do caminhão pipa e

a água da lagoa de águas pluviais pela parte superior do caminhão pipa como mostram as imagens.

Figura 16 - Realização do teste usando o polímero *Fitosoil Forte*.



Fonte: Do Autor (2020).

Devido às problemáticas expostas com relação ao cronograma do teste usando o polímero *Fitosoil Forte*, o cronograma foi iniciado em 04/08/2020 fazendo duas aplicações uma na parte da manhã e outra na parte da tarde, no dia 05/08/2020 devido à impossibilidade do colaborador em acionar a bomba na parte da tarde, foi feita apenas uma aplicação na parte da manhã. Nos dias 06 e 07/08/2020 foram feitas duas aplicações, na parte da manhã e na parte da tarde em cada dia.

Nos dias 08, 09 e 10/08/2020 não foram feitas aplicações devido à indisponibilidade do colaborador em acionar a bomba. Na terça-feira, dia 11/08/2020 foi feita apenas uma aplicação, no dia 12/08/2020 não pode ser realizado o teste porque neste dia foi feita manutenção preventiva do caminhão pipa que não foi informada anteriormente e no dia 13/08/2020 não teve mão-de-obra que pudesse acionar a bomba devido à manutenção preventiva na aciaria da siderúrgica. Como o teste não pode ser seguido de acordo com o cronograma proposto pelo fornecedor, a eficiência do produto não pode ser observada da maneira como deveria. Nos dias 14/08/2020 e 19/08/2020 aumentou-se a concentração do polímero para 5 % e com isso, pode ser observado um melhor resultado do polímero.

Tabela 11 - Cronograma de realização do teste usando o polímero *Fitosoil* Forte.

DOMINGO	SEGUNDA- FEIRA	TERÇA FEIRA	QUARTA- FEIRA	QUINTA- FEIRA	SEXTA- FEIRA	SÁBADO
02/08/2020	03/08/2020	04/08/2020	05/08/2020	06/08/2020	07/08/2020	08/08/2020
-	-	2 aplicações	1 aplicação	2 aplicações	2 aplicações	-
09/08/2020	10/08/2020	11/08/2020	12/08/2020	13/08/2020	14/08/2020	15/08/2020
-	-	1 aplicação	-	-	1 aplicação	-
16/08/2020	17/08/2020	18/08/2020	19/08/2020	20/08/2020	21/08/2020	22/08/2020
-	-	-	1 aplicação	-	-	-

Fonte: Do Autor (2020).

De acordo com o resultado do teste usando o polímero *Fitosoil* Forte, que não foi satisfatório, não somente devido à dificuldade encontrada na sua realização, também foi observado que no solo não foi formada nenhuma película protetora. Acredita-se que este fato ocorreu devido ao trânsito elevado de veículos no local, as características do solo formado de escória e devido à necessidade quase que semanal de usar uma máquina niveladora, a motoniveladora - *patrol* com objetivo de nivelar o local.

A Figura 17 mostra a central de caminhoneiros 4 horas após a sexta aplicação, não sendo observada nenhuma melhoria. Já a Figura 18 foi tirada 4 horas após a oitava aplicação e também não pode ser observada nenhuma melhoria no local.

Figura 17 - Fotografia de 7 de agosto de 2020 na central de caminhoneiros da siderúrgica.



Fonte: Do Autor (2020).

Figura 18 - Fotografia de 12 de agosto de 2020 do levantamento de material particulado proveniente do solo na central de caminhoneiros da siderúrgica.



Fonte: Do Autor (2020).

No dia 14 de agosto de 2020 foi feita a nona aplicação do polímero, como até então não tinha sido observado nenhuma redução de levantamento de material particulado no local, nesta aplicação foi utilizada a concentração do polímero *Fitosoil Forte* em 5%, dobrando-se a quantidade de polímero. A Figura 19 representa a central de caminhoneiros 4 horas aplicação com concentração de 5%, com esta aplicação pode ser observado redução de levantamento

material particulado. Esta redução também foi observada na décima aplicação com concentração de 5%.

Figura 19 - Fotografia de 14 de agosto de 2020 na central de caminhoneiros.



Fonte: Do Autor (2020).

Conforme Nazareno (2018), inicialmente os polímeros tinham objetivo de conter apenas pilhas de minérios, e posteriormente passaram utilizados para outras finalidades como supressão de material particulado em vias não pavimentadas. Neste trabalho, diante de todas as dificuldades em seguir o cronograma proposto pelo fornecedor, não houve evidência de que na concentração estipulada pelo fornecedor do produto teve melhoria significativa na redução de material particulado.

Segundo Nazareno (2018), polímeros são produtos mais sustentáveis devido a possibilidade de economizar maior quantidade de água, sendo um produto inovador e com certa eficiência. Diante disso, EPA (2016) explica que a eficiência do uso de supressores químicos depende da taxa de diluição usado na mistura, conforme pôde ser observado no teste realizado, a concentração de 2,5% não foi satisfatória para as características do local observado, mas a princípio a concentração de 5% pode trazer um melhor resultado. Este autor ainda relata que outras variáveis podem interferir na eficiência dos polímeros como da taxa de aplicação, tempo entre as aplicações, tamanho, velocidade e quantidade de tráfego de veículos e a condições meteorológicas. Como a quantidade do polímero era insuficiente para realizar um novo cronograma de testes e também devido ao custo elevado do polímero, não foi dada continuidade a esta alternativa.

Considerando que a concentração de 2,5 % usada uma vez ao dia em todas as vias da central que apresenta 30 mil m² de área, o custo mensal será de R\$ 321.300,00 por mês. Este

valor não é viável financeiramente e nem ao menos apresentou resultado satisfatório neste trabalho. Já para a concentração de 5% o custo mensal seria de R\$ 642.600,00 por mês. Esse valor é próximo de 10% do valor da pavimentação asfáltica. Claramente, devido ao custo o uso desse polímero não seria compensatório, visto que em 10 meses já seria pago o valor para a pavimentação asfáltica do local.

Tabela 12 - Custo do Polímero *Fitosoil Forte* para a central de caminhoneiros.

POLÍMERO FITOSOIL FORTE			
	Valor	Quantidade	
Concentração	unitário	de polímero	Custo mensal
(%)	por litro	em 30 mil m ²	(R\$)
	(R\$)	por mês (L)	
2,50		37.800	321.300,00
	8,50		
5,00		75.600	642.600,00

Fonte: Do Autor (2020).

Apesar dos resultados observados com o uso do polímero *Fitosoil Forte* não terem sido satisfatórios, o uso de polímeros adicionados a água para serem supressores de material particulado, podem ser ainda promissor. Esta alternativa, desde que o polímero não seja um produto químico perigoso que possa trazer malefícios ao solo e a água, pode reduzir a quantidade de água demandada em locais que requerem aplicação constante de água.

4.4. Estudo de Caso para Sistema de Aspersão de Água

O levantamento planialtimétrico auxiliou na escolha do ponto de captação de água da chuva para abastecimento do sistema de aspersão de água, desnível do terreno e para definição do *layout*. Inicialmente foram levantadas duas possibilidades: captação de água direto da lagoa de águas pluviais que fica distante cerca de 500 m da central de caminhoneiros ou construção de um reservatório apoiado com bomba acoplada para pressurização do sistema.

A primeira alternativa não foi considerada por requerer escavação de locais já pavimentados e por ser a possibilidade com maior custo dentre essas. Por outro lado, a construção de um reservatório apoiado requer abastecimento constante pelo caminhão pipa.

Foram realizados três ensaios de condutividade hidráulica conforme apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Ensaios de condutividade hidráulica do solo na central de caminhoneiros.

ENSAIO	SITUAÇÃO	TAXA DE INFILTRAÇÃO (cm/s)
1	Anel interior concêntrico cravado no solo	$3,61 \times 10^{-4}$
2	Anel interior concêntrico cravado no solo	$5,00 \times 10^{-5}$
3	Amostra deformada	$1,32 \times 10^{-4}$

Fonte: Do Autor (2020).

Os ensaios realizados não podem ser considerados representativos, diante das principais dificuldades terem sido em cravar os anéis no solo, que é altamente compactado e também pelo ensaio 3 ter sido feito com amostra deformada. Em razão das dificuldades encontradas em campo, a coleta de amostra deformada para análise *ex situ*, também não pode ser considerada representativa por não dispor de técnicas de bancada para a realização de ensaio para obter a condutividade hidráulica ou a taxa de infiltração por entenderem que não seria possível reproduzir uma amostra que pudesse garantir as mesmas características do local. Por esta razão, não foi possível realizar o ensaio em laboratório.

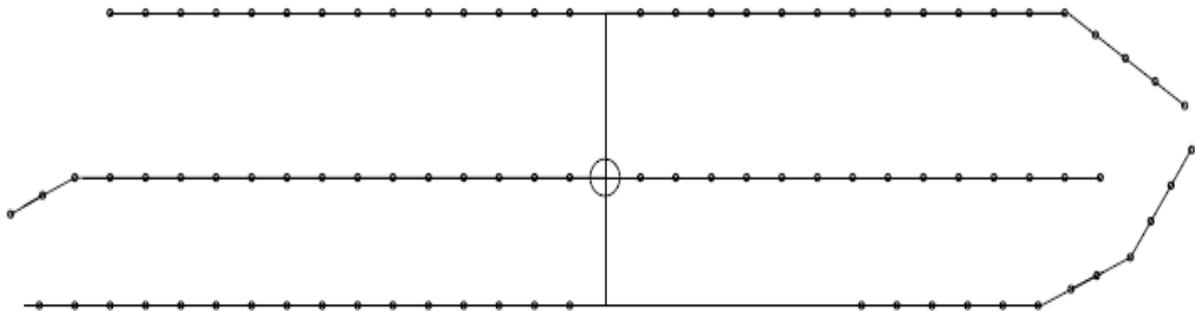
Os resultados encontrados apesar de não serem representativos da realidade encontrada no local de estudo, indicam que o solo é altamente compactado, devido à presença de escória com diâmetro muito baixo causada pelo elevado trânsito de caminhões. Diante disso, a tendência de escoamento da água no solo ocorre mais na horizontal.

Ao gerar uma matriz fina a muito fina, e com a constante aspersão de água no terreno pode haver uma deposição superficial de partículas menores, que, em razão da forte tendência a evaporação da água superficial acaba gerando uma quantidade de partículas menores que se dispersão mais facilmente em razão do trânsito de veículos.

A aspersão tem gerado um acúmulo de água em uma camada imediatamente inferior a camada superior, tendo sido observado um material úmido a cerca de 5cm da superfície.

Para definição do *layout* foi usado o levantamento planialtimétrico e o *GoogleEarth* para ser feito um esboço em AutoCad (Figura 20).

Figura 20 - Esboço do Layout usando o *AutoCad* para o sistema de aspersão.



Fonte: Do Autor (2020).

Após a definição do *layout* escolheu-se o tipo de aspersor que pode atender a realidade do local. O tipo de aspersor escolhido foi da marca *Rain Bird* por serem aspersores com elevada qualidade no mercado. Os dados técnicos do aspersor escolhido podem ser conferidos nas figuras retiradas do catálogo da empresa *Rain Bird*

Figura 21 - Aspersor *Rain Bird* Série 35A-TNT.



Fonte: Catálogo *Rain Bird* (2016).

Figura 22 - Aspersor Rain Bird Série 35A-TNT.

35A-TNT						
SISTEMA MÉTRICO						
Pressão	Bocal (bar)	Alcance (m)	Vazão (m³/h)	Vazão (l/s)	Pluvio (mm/h)	Pluvio (mm/h)
2,1	10	12,8	0,89	0,25	11	12
	11	13,1	1,04	0,29	12	14
	12 *	13,4	1,25	0,35	14	16
2,5	10	13,1	0,97	0,27	11	13
	11	13,5	1,15	0,32	13	15
	12 *	13,9	1,37	0,38	14	16
3,0	10	13,4	1,05	0,29	12	13
	11	13,9	1,26	0,35	13	15
	12 *	14,5	1,50	0,42	14	17
3,5	10	13,7	1,13	0,31	12	14
	11	14,3	1,37	0,38	13	16
	12 *	15,0	1,63	0,45	15	17
4,0	10	14,0	1,21	0,34	12	14
	11	14,6	1,48	0,41	14	16
	12 *	15,5	1,75	0,49	15	17
4,1	10	14,0	1,23	0,34	12	14
	11	14,6	1,50	0,42	14	16
	12 *	15,6	1,77	0,49	15	17

Fonte: Catálogo *Rain Bird* (2016).

O aspersor escolhido da série 35A-TNT apresenta pressão de 35 bar e alcance de 15 metros. Para os cálculos hidráulicos usando a equação de *Hazen-Williams* foram feitas as seguintes considerações: coeficiente de rugosidade de *Hazen-Williams* de 140 mm, variação de 20% na variação na linha lateral dos 35 m de pressão, para evitar qualquer falta de pressurização no sistema, diâmetro da tubulação de 75 mm e espaçamento entre os aspersores de 12 m. Para o reservatório apoiado foi considerado a sua capacidade de abastecimento de 20m³. O dimensionamento do sistema de aspersão foi dividido em trechos que funcionarão separadamente para evitar transtornos quando do fluxo e movimentação de veículos e pessoas no local.

Tabela 14 - Cálculos hidráulicos para o sistema de aspersão de água.

TRECHO	COMPRI- MENTO (m)	QUANTIDADE DE ASPERSORES	VAZÃO (L/s)	VAZÃO (m ³ /s)	PERDA DE CARGA hf _v (m)	PERDA DE CARGA hf (m)
1	164	14	6,15	0,00615	21,00	4,47
2	202	17	7,58	0,00758	21,00	8,10
3	199	17	7,46	0,00746	21,00	7,77
4	164	14	6,15	0,00615	21,00	4,47
5	197	16	7,39	0,00739	21,00	7,55
6	221	12	5,36	0,00536	21,00	4,68
7	45	0	0,00	0,00758	21,00	1,81
8	35	0	0,00	0,00739	21,00	1,34
Total	1227	90	40,09	0,0551	21,00	40

Fonte: Do Autor (2020).

Tabela 15 - Cálculos hidráulicos para o sistema de aspersão de água.

TRECHO	DIÂMETRO (m)	DIÂMETRO COMERCIAL (mm)	PERDA DE CARGA Hf (m)	ALTURA MANOMÉTRICA (m)	TRECHOS	ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m)
1	0,05	75	13,42	54,36	1 e 7	76,24
2	0,06	75	24,31	66,35	2 e 7	84,11
3	0,06	75	23,30	65,23	3	63,52
4	0,05	75	13,42	54,36	4	59,53
5	0,06	75	22,64	64,50	5 e 8	79,39
6	0,06	75	14,03	55,03	6 e 8	75,92
7	0,05	75	5,42	45,57		
8	0,04	75	4,02	44,03		

Fonte: Do Autor (2020).

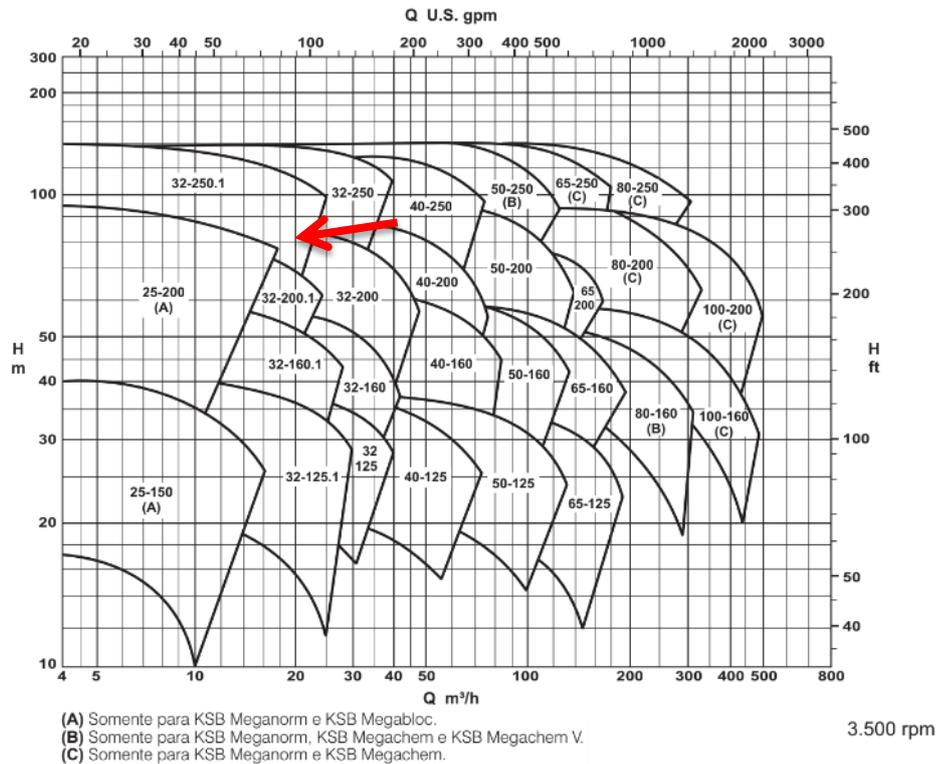
Figura 23 - Layout do sistema de aspersão no *Google Earth*.



Fonte: Google Earth (2020).

Para a escolha da bomba foi considerado a maior altura manométrica total encontrada que é no trecho 2-7, 84,11 metros e vazão da bomba de 22,4 m³/h. Com esses valores definidos foi feita a escolha da bomba. A marca da bomba escolhida foi a KSB modelo Meganorm com 3500 rpm por ser menor e com menor custo. Sendo a bomba indicada em vermelho na Figura 24 como a bomba para este caso Meganorm com 3500 rpm e tamanho 32-350.1

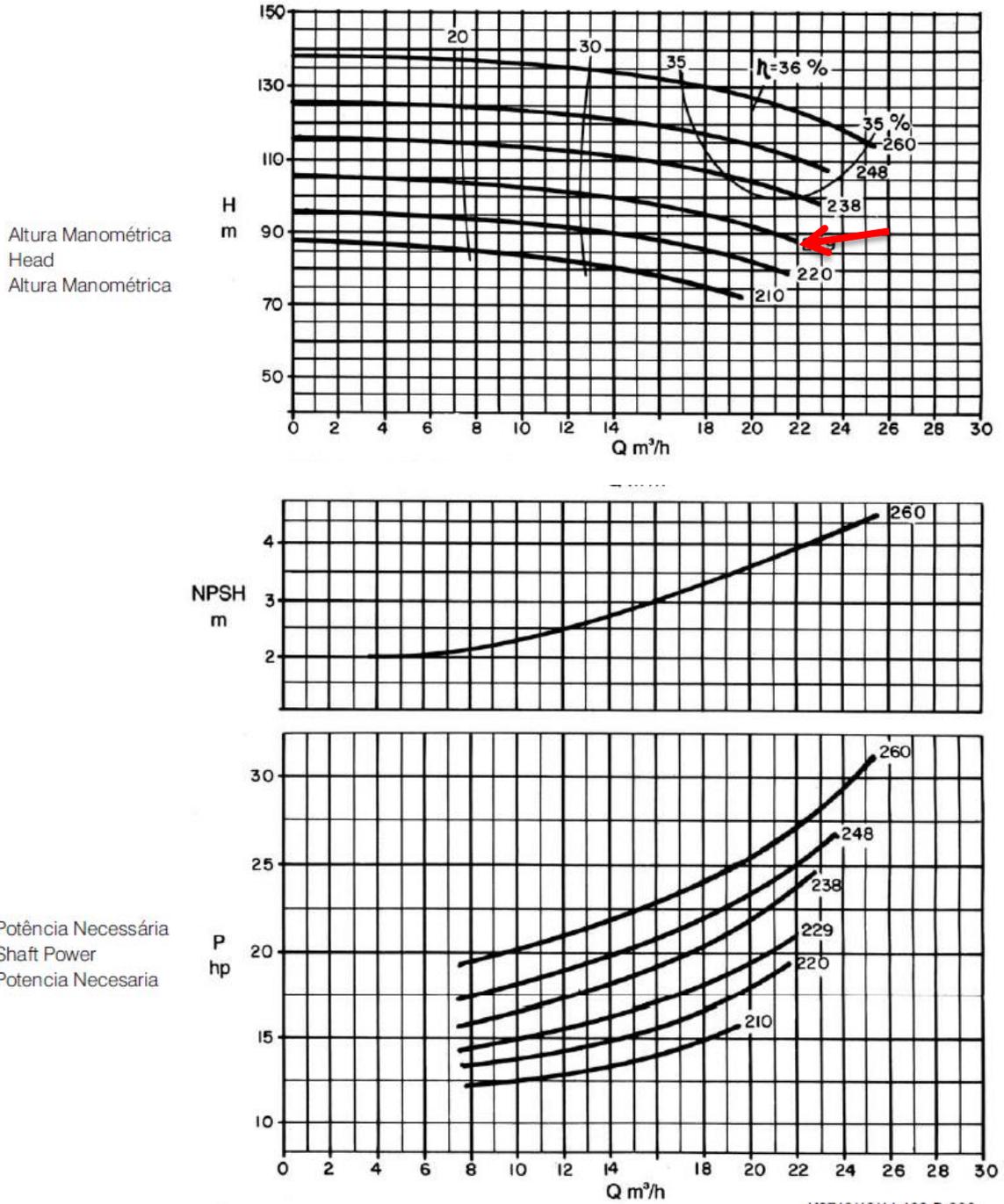
Figura 24 - Escolha da bomba.



Fonte: Catálogo KSB (2020).

Figura 25 - Escolha da bomba.

Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	32-250.1	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	3500 rpm	



K2740/42/44.462-B-006

Fonte: Catálogo KSB (2020).

Figura 26 - Bomba KSB Meganorm.

KSB Meganorm

**Bomba centrífuga com corpo espiral dividido radialmente.
Radially split volute casing pump.
Bomba centrífuga de carcasa espiral partida radialmente.**

Fonte: Catálogo KSB (2020).

Depois de realizado todo o dimensionamento do sistema de aspersão de água foi feito o orçamento para esta alternativa. As tabelas 16 e 17 apresentam, respectivamente, orçamento com gastos para mão-de-obra e orçamento para gastos com materiais. Os valores informados para a tabela 16 foi considerado a diária de R\$ 1000,00 com 4 funcionários pela quantidade de dias. Os valores para a tabela 17, orçamento de materiais, foram levantados com preços encontrados na internet.

Tabela 16 - Orçamento de gastos com mão-de-obra.

ATIVIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	UNIDADE	DIAS	QUANTIDADE	VALOR TOTAL (R\$)
Escavação para implantação da tubulação	1000,00	Dia/homem	8	32	32.000,00
Instalação do Sistema de aspersão	1000,00	Dia/homem	3	12	12.000,00
Instalação do Reservatório de 20m ³ e bomba	1000,00	Dia/homem	3	12	12.000,00
				TOTAL (R\$)	56.000,00

Fonte: Do Autor (2020).

Tabela 17 - Orçamento de gastos com materiais.

ATIVIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR TOTAL (R\$)
Aspersor <i>Rain Bird</i> Série 35A-TNT	250,00	peça	89	22.250,00
Tubulação 75 mm PVC Rígido para água	18,00	m	1227	22.086,00
Bomba <i>Meganorm</i> 32-160.1	45.000,00	peça	1	45.000,00
Reservatório 20 m ³	200.000,00	peça	1	200.000,00
Conexões	25,00	peça	120	3.000,00
Válvula solenoide de acionamento automático	30.000,00	peça	1	30.000,00
Materiais Diversos	25,00	peça	120	3.000,00
Isolamento do local dos aspersores	120,00	peça	89	10.680,00
Sinalização do local	30,00	peça	89	2.670,00
			TOTAL (R\$)	338.686,00

Fonte: Do Autor (2020).

Esta alternativa apresentou orçamento estimado de R\$ 394.686,00, valor que representa 6,07% do valor estimado para a pavimentação asfáltica no local. Porém, esta alternativa pode não ser a melhor visto que precisará do caminhão pipa para abastecer o reservatório. A melhor alternativa para o sistema de aspersão seria a captação direto da lagoa. Esta opção iria substituir o reservatório por toda escavação e tubulação vinda da lagoa. Lembrando que precisaria escavar locais já pavimentados conforme pode ser observada na figura 11.

4.5. Comparação e Viabilidade entre as Possibilidades Encontradas

O orçamento para realizar a pavimentação asfáltica usando CBUQ após os 57 meses do orçamento apresentou reajuste de 18,24% usando o índice nacional de preços ao consumidor amplo (IPCA). O valor inicial era de R\$ 5.499.437,50 e o valor reajustado para setembro de 2020 de R\$ 6.502.534,90. A diferença de valores entre o orçamento inicial e o reajustado em 2020 foi de R\$ 1.003.097,40.

A contratação de um caminhão pipa de segunda-feira ao sábado em apenas um turno, que no caso seria de 8 horas às 16 horas teria um custo de R\$ 19.000,00 ao mês e em dois turnos seria de R\$ 30.000,00.

O uso do polímero Fitosoil Forte que não trouxe bons resultados com a concentração de 2,5% teria o custo mensal de R\$ 321.300,00 reais. Se tivesse quantidade suficiente para realizar um novo teste usando a concentração de 5%, sendo essa concentração satisfatória para o local, o custo mensal seria de R\$ 642.600,00. Isso sem considerar qualquer gasto para implantação do sistema de sucção do polímero.

O uso de aspersão de água da chuva diretamente na central de caminhoneiros apresentou orçamento de R\$ 394.686,00, com reservatório que precisará ser abastecido pelo caminhão pipa.

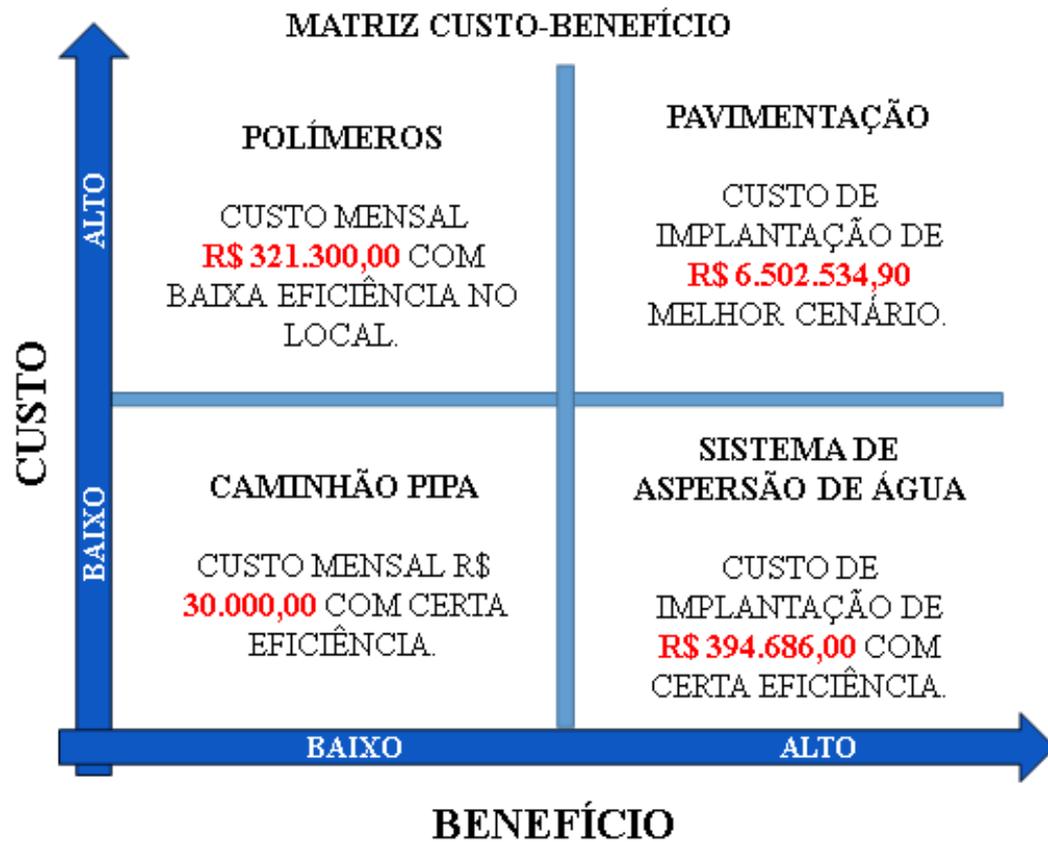
A matriz custo-benefício representada na Figura 27 mostra que a alternativa que possui benefício baixo e custo alto, uso do polímero *Fitosoil Forte*, que não apresentou nenhuma melhora quanto à emissão de material particulado na central de caminhoneiros requer orçamento mensal muito elevado e que não justifica seu investimento.

A alternativa que apresenta benefício alto e custo alto, a pavimentação asfáltica do local usando concreto betuminoso usinado a quente, CBUQ, seria a melhor opção para reduzir consideravelmente o levantamento de material particulado. Por outro lado, a siderúrgica não dispõe deste valor para investimento.

A alternativa que apresentou benefício baixo e custo baixo, contratação de caminhão pipa extra, não é a alternativa que traria o melhor resultado para aspersão no local. Porém, pode ser uma alternativa a ser tomada em curto prazo.

A alternativa que apresentou benefício alto e custo baixo, implantação de sistema de água da chuva, por melhorar a aspersão no local e custo competitivo a ser aplicado. Como o reservatório, não seria a melhor opção, a siderúrgica pode buscar a viabilidade obtenção de outorga de uso de recursos hídricos na central de caminhoneiros para perfuração de um poço no local. O investimento a ser requerido para o poço não foi levantado.

Figura 27 - Matriz Custo-Benefício das Alternativas.



Fonte: Do Autor (2020).

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou quatro alternativas para redução de emissão de particulado proveniente da central de caminhoneiros em uma usina siderúrgica. A primeira alternativa apesar de ser a que seria mais sustentável por ser um produto biodegradável e que iria diminuir o consumo de água, não apresentou eficiência com a concentração de 2,5%, concentração recomendada pelo fornecedor. Além disso, o custo mensal seria elevado R\$ 321.300,00.

A segunda alternativa é a contratação de um caminhão pipa extra para dar suporte ao caminhão pipa que já atende a unidade. O custo mensal seria de R\$ 30.000,00 para atender os dois turnos de maior demanda se segunda à sábado. Esta alternativa é a melhor em curto prazo por não requerer obras, por outro lado aumentaria o consumo de água, mas melhoraria a eficiência de irrigação no local.

A terceira alternativa é a pavimentação asfáltica do local, sendo a alternativa com a maior eficiência de todas as apresentadas. Porém, o custo de implantação da pavimentação asfáltica local apresentou valor reajustado de R\$ 6.502.534,90, lembrando que o reajuste calculado usando o índice IPCA, pode não refletir o que aconteceu de fato durante os anos. Esta alternativa não é considerada pela siderúrgica por apresentar orçamento muito elevado.

A última alternativa seria a implantação de um sistema de aspersão de água da chuva, proveniente de uma lagoa, que apresentou orçamento de R\$ 394.686,00. Este orçamento foi feito indicando a instalação de um reservatório na área central da central de caminhoneiros da usina. Esta alternativa continuaria tendo a demanda do caminhão pipa. Por outro lado, pode-se estudar a viabilidade de perfuração de poço no local para captação de água.

Diante de todas as alternativas apresentadas neste estudo, a usina siderúrgica deve viabilizar a pavimentação da central de caminhoneiros, mesmo que o valor a ser investido seja elevado. Pode-se buscar formas de subsidiar esse investimento como ceder áreas da usina em forma de comodato a outras empresas. Enquanto essa alternativa não é passível de implantação sugere-se a implantação do sistema de aspersão de água ou a contratação de um caminhão pipa extra.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, V. A.; JUNIOR, T. A.; DODE, A. C. **Redução na emissão de material particulado na mineração gerado pela movimentação de caminhões na Mina de Capão Xavier**, Nova Lima, Minas Gerais. Revista Petra, v. 2, 2016.
- AYOADE, J. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. CARVALHO, AMP (org.): **Termodinâmica, um ensino por investigação**. São Paulo, Faculdade de Educação, 1999.
- BONA, A. C. D. et al. **Estudo sobre reciclagem da escória de aciaria em camadas de pavimentos**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 11, p. 167–183, 2020.
- CARVALHO, P. S. L. D.; MESQUITA, P. P. D.; ARAÚJO, E. D. G. D. **Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade**, 2015.
- CHITOLINA, L. D. **Análise de desempenho de diferentes misturas asfálticas: estudo de caso através da construção de trechos experimentais com pré-misturado a frio e o concreto betuminoso usinado a quente**, 2017.
- CONAMA. 313, DE 29 DE OUTUBRO DE 2002. **Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**, 2002.
- DA SILVA NEVES, F. E.; HENKES, J. A. **A gestão ambiental aplicada na implantação de rodovias no estado de Santa Catarina**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 2, p. 265–349, 2013.
- EPA. AP 42, Volume I, Chapter 13: **Miscellaneous Sources**. Retrieved from US EPA: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html>, 2016.
- FOGAÇA, J. R. V. **O que são Polímeros**. Manual da Química. 2016. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/o-que-sao-os-polimeros.htm> Acesso em: 11 out. 2020.
- FREITAS, S. M. A. C. D. **Escória de aciaria: caminhos para uma gestão sustentável.**, 2018.
- FGV - FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – **Índice INCC**. Disponível em: <https://portalibre.fgv.br/> Acesso em: 07 out. 2020.

GUIMARÃES, C. **Controle e monitoramento de poluentes atmosféricos**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2017.

GUIMARÃES, F. J. R. P. **Apostila de riscos químicos**. Santos (SP): Senac, 2003.

IABR - INSTITUTO AÇO BRASIL – **Relatório de Sustentabilidade**. Disponível em: AÇO BRASIL <https://acobrasil.org.br/site/> Acesso em: 17 jun. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **Índice IPCA** . Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-Precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=o-que-e> Acesso em: 07 out. 2020.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. [S.l.]. 1948.

KSB. **Manual de Curvas Características**. Nº A2740/42/44.1P/E/S/7, 2013.

LOPES, M. V.; LIMA, S. P. **Destinação de coprodutos do aço**: escória de aciaria e escória de alto forno. Revista de trabalhos acadêmicos–universo Juiz de Fora, v. 1, 2017.

LUCIO, A. **Físico-química metalúrgica–2 parte**. Belo Horizonte, p. 555–599, 1981.

MAGALHÃES, J. C. R. P. et al. **Aspersão fixa**: análise de tecnologia inovadora para combate de particulados em suspensão nas vias de acesso de uma mineração. Humanidades e Tecnologia (FINOM), v. 1, p. 326–333, 2020.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – **Definição de poluente**. Disponível em: MMA <https://www.mma.gov.br/> Acesso em: 05 jun. 2020.

NAZARENO, G. C. et al. **Estudo de caso - Poeira nas operações de Mina**: alta eficiência no controle de particulados através do uso de supressor natural. Observatorio de la Economía Latinoamericana, 2018.

NETTO, A. **Manual de Hidráulica**. São Paulo, Edigar Blucher, 1998 8ª ed. 669p.

OLIVEIRA, A. A. B. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica**. Monografia (Curso de Engenharia Metalúrgica)- Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

RAIN BIRD. **Catálogo de produtos de irrigação**, 2016.

RIZZO, E. M. D. S. **Introdução aos processos siderúrgicos**: Capacitação técnica em processos siderúrgicos. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, p. 84–98, 2005.

ROHDE, L. **Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos**: estudo laboratorial, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. **Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos**: TCCs, monografias, dissertações e teses. 3. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>. Acesso em: 11 out. 2020.

TAKANO, C. et al. **A reciclagem de resíduos siderúrgicos sólidos**. Seminário Nacional sobre reuso/reciclagem de resíduos sólidos industriais, 2000.

VIEIRA, P. H.; VIEIRA, A. C. A. **Diagnóstico dos impactos ambientais provocado pelas indústrias cerâmicas no município de Cordeirópolis-SP**. Caderno de Geografia, v. 28, p. 863–879, 2018.

WILLIAMS, J.; HAZEN, A. **Equação de Hazen Williams**. 1920.

ZAGONEL, A. R. **Inovações em Revestimentos Asfálticos Utilizados no Brasil**. 2013. 115 f. TCC (graduação), Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2013.