

APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA CONSERVAÇÃO DE
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

por

JOÃO PAULO ALMEIDA LELIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e sustentabilidade no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Aplicada e sustentabilidade .

RIO VERDE, GO

Junho - 2020

APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA CONSERVAÇÃO DE
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

por

JOÃO PAULO ALMEIDA LELIS

Comitê de Orientação:

Orientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares - IFGoiano

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos - IFGoiano

APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA CONSERVAÇÃO DE
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

por

JOÃO PAULO ALMEIDA LELIS

Orientador: _____
Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares - IFGoiano

Examinadores: _____
Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira - IFGoiano

Examinadores: _____
Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos - IFGoiano

Examinadores: _____
Prof. Dr. Edio Damasio da Silva Junior - IFGoiano

Examinadores: _____
Prof. Dr. Vitor Marques Vidal - IFGoiano

622.66S
586c

Lelis, João Paulo Almeida

Avaliação da aplicação de águas residuárias na conservação de estradas não pavimentadas/João Paulo Almeida Lelis - 2020.

50f.: graf., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares.
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

Bibliografia: f. 47 - 50.

1. Barriga d'água, tanque pipa, estrada não pavimentada, conservação de estradas, Latossolo de Cerrado. – Dissertação (Mestrado). I. Soares, Frederico Antônio Loureiro. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Osvaldo e Maura, por sempre acreditarem em mim e por terem abdicado de suas vidas em prol das realizações e da felicidade de seus filhos.

À minha irmã Lívia, por sua preocupação, carinho e incentivo.

À minha amada esposa Jessica, por todo amor, incentivo, apoio e compreensão. Nada disso teria sentido se vocês não existissem na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Obrigado por me permitir errar, aprender e crescer, por Sua eterna compreensão e tolerância, por Seu infinito amor, pela Sua voz “invisível” que não me permitiu desistir e principalmente por ter me dado uma família tão especial, enfim, obrigado por tudo. Ainda não descobri o que eu fiz para merecer tanto.

Aos Prof. Leonardo Nazário e Frederico Antônio, pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação tão importantes. Tantas vezes que nos reunimos e, embora em algumas eu chegasse desestimulado, bastavam alguns minutos de conversa e poucas palavras de incentivo e lá estava eu, com o mesmo ânimo do primeiro dia de aula. Obrigado por acreditar em mim e pelos tantos elogios e incentivos. Tenho certeza que não chegaria neste ponto sem o seu apoio. Você foi e está sendo muito mais que orientador

À minha mãe e ao meu pai deixo um agradecimento especial, por todas as lições de amor, companheirismo, amizade, caridade, dedicação, abnegação, compreensão e perdão que vocês me dão a cada novo dia. Sinto-me orgulhoso e privilegiado por ter pais tão especiais. E à minha irmã querida, sempre pronta a me apoiar em tudo nesta vida. À minha amada esposa Jessica, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigado por permanecer ao meu lado, mesmo sem os carinhos rotineiros, sem a atenção devida e depois de tantos momentos de lazer perdidos. Obrigado pelo presente de cada dia, pelo seu sorriso e por saber me fazer feliz. Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. Estradas não – pavimentadas.....	15
2.2. Conservação de estradas não pavimentadas.....	16
2.3. Manutenção de estradas canavieiras.....	19
2.4. Indústria canavieira.....	20
2.5. Viabilidade de operação.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. Área de Estudo.....	23
3.2. Tratamentos.....	24
3.3. Variáveis analisadas.....	28
3.4. Análise estatística.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Nuvem de poeira.....	31
4.2. Buraco / panela.....	34
4.3. Trilhas de Roda.....	39
4.4. Segregação de agregados.....	43
4.5. Erosão.....	48
5. CONCLUSÃO.....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA CONSERVAÇÃO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

por

JOÃO PAULO ALMEIDA LELIS

RESUMO

De acordo com a importância de estradas não pavimentadas para o funcionamento do país, pelo fato de promover o escoamento de mercadorias, e especificadamente no caso de Usinas para o tráfego de máquinas e implementos utilizados em todos processos de produção inclusive no transporte da cana-de-açúcar, objetivou-se analisar a conservação de estradas não pavimentadas sob aplicação de água residuária proveniente do processamento de cana-de-açúcar, via equipamento semirreboque adaptado. O desenvolvimento do equipamento da pesquisa foi realizado no município de Quirinópolis, Estado de Goiás. A água residuária utilizada para a aspersão foi fornecida pela Usina Boa Vista, localizada na região de Quirinópolis – Goiás. Foram utilizadas duas estradas vicinais para realizar as avaliações. Estas estão localizadas na Fazenda Bruacas e Fazenda Furnas. Todos tratamentos consistiram na aplicação de água residuária com diferentes equipamentos de aplicação, sendo, no primeiro perímetro se utilizou semirreboque adaptado (Barriga d'água), no segundo perímetro caminhão pipa e terceiro não houve aplicação de água residuária. Considerou-se para efeito de avaliação dos tratamentos, a severidade e a dimensão das variáveis, nuvem de poeira, buraco ou panela, trilhas de roda, segregação de agregados e erosão. Foram realizadas médias dos dados de dimensão e severidade coletados no experimento e calculados os desvios padrão com a

finalidade de verificar a discrepância dos dados coletados. A aplicação de água residuária utilizando o equipamento adaptado (barriga d'água) proporcionou a melhor conservação das estradas de Bruacas e Furnas durante os seis dias de experimentação, baseado nas patologias nuvem de poeira, buraco/panela, trilha de roda, segregação de agregado e erosão. Ainda, por base na redução de uma atividade, a utilização do equipamento barriga d'água se torna mais viável com relação à utilização do tanque pipa.

Palavras-chave: Barriga d'água, tanque pipa, estrada não pavimentada, conservação de estradas, Latossolo de Cerrado.

WASTEWATER APPLICATION IN THE CONSERVATION OF UNPAVED ROADS

by

JOÃO PAULO ALMEIDA LELIS

ABSTRACT

Considering the importance of unpaved roads for country functioning, as it promotes the flow of goods, and specifically in the case of sugar plants for machines and implements traffic used in all production processes, including the sugarcane transportation, the objective was to analyze the unpaved roads conservation under the application of wastewater from sugarcane processing, using adapted semi-trailer equipment. The research equipment development was carried out in the municipality of Quirinópolis, State of Goiás. The wastewater used for sprinkling was supplied by Usina Boa Vista, located in the Quirinópolis region - Goiás. Two side roads were used to carry out the evaluations. These are located at Bruacas and Furnas Farms. All treatments consisted of the wastewater application with different equipment, with the first perimeter using an adapted semi-trailer (water belly), the second perimeter with water trucks and the third with no wastewater application. For evaluating treatments, the severity and dimension of the variables, dust cloud, hole or pot, wheel tracks, aggregates segregation and erosion were considered. Averages of the dimension and severity data collected in the experiment were performed and standard deviations were calculated in order to check the discrepancy of the collected data. The wastewater application using the adapted equipment (water belly) provided the best conservation of roads in Bruacas and Furnas Farms during the

six days of experimentation, based on the pathologies of dust cloud, hole / pot, wheel trail, aggregate segregation and erosion. Also, based on the reduction of an activity, the use of semi-trailer water tank (water belly) equipment becomes more viable in relation to the use of the water trucks.

Keywords: Water belly, water trucks, unpaved road, road conservation, Cerrado Oxisol.

1. INTRODUÇÃO

Os princípios da sustentabilidade estão embasados em algumas vertentes prioritárias, podendo citar, a exploração de recursos naturais de forma controlada, a redução de resíduos a serem lançados no meio ambiente, a preservação de matas nativas e a gestão de recursos hídricos. Neste contexto, como gestão de recursos hídricos na agroindústria, tem-se a importância do aproveitamento de águas residuárias, uma vez que no Brasil ainda é uma vertente ainda pouco explorada.

Assim, desenvolver equipamentos que otimizem a manutenção de estradas e ainda englobem a reutilização de águas oriundas do processo produtivo da cana-de-açúcar é totalmente relevante. Cumpre evidenciar que este processo pode disponibilizar vantagens como, diminuição de investimentos na manutenção de estradas não pavimentadas, a possibilidade indireta de redução de custos com a manutenção de maquinário e equipamentos utilizados para o transporte, que sofrem perdas e quebras com a falta de qualidade das estradas brasileiras e ainda ocasionar a destinação correta de resíduos líquidos que seriam descartados de forma incorreta no meio ambiente.

Outro aspecto relevante, é o fato de que a eficiência da atividade transportadora brasileira, depende muito do modal rodoviário e está diretamente ligada ao desempenho econômico do país e este ao compasso das demais atividades produtivas. Apesar da grande extensão, as estradas não pavimentadas constituem um tema que necessita de abordagem mais profunda.

Em virtude da manutenção ineficiente e custosa nas rodovias secundárias surgiu a necessidade de melhorar a manutenção desse serviço, assim a utilização de águas residuárias como fonte de conservação das estradas surge como solução para estas questões de forma pontual e decisiva para amenizar uma situação que percorre muitos anos no Brasil.

Considerando a dificuldade de obter os recursos para a manutenção e reabilitação de estradas, pavimentadas ou não, e que estes devem ser utilizados da maneira mais eficiente possível, cabe, portanto, a ciência estudar estratégias de engenharia que ofereçam soluções para estas abordagens. Neste sentido, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o uso de águas residuárias no processo de conservação de estradas trará maior agilidade no escoamento dos produtos que utilizem estas vias, menor custo com manutenção das estradas e equipamentos podendo assim gerar maior receita líquida para as empresas.

Neste sentido o presente trabalho foi pensado, com intuito de estabelecer análises que demonstrem quais impactos contribuirão para a melhoria na manutenção e conservação de estradas não pavimentadas através de um equipamento desenvolvido para aproveitar águas residuárias do processo produtivo da cana-de-açúcar, que serão lançadas nestas estradas vicinais, além de verificar as vantagens econômicas que podem surgir caso este seja aplicado. Com isso, objetivou-se analisar a conservação de estradas não pavimentadas sob aplicação de água residuária proveniente do processamento de cana-de-açúcar, via equipamento semirreboque adaptado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Estradas não pavimentadas

As estradas não pavimentadas constituem relevante parte da rede viária nacional. Pesquisas mostram que a cerca de 90% das rodovias do país, normalmente denominadas de rurais, ainda não são pavimentadas. Essas rodovias são de grande importância no âmbito social e econômico do país, pois são responsáveis por grande parte do escoamento da produção agrícola, além de ser o acesso da população rural aos serviços essenciais encontrados nos centros urbanos (ALVES, 2009).

Estradas não pavimentadas (ENP's), também conhecidas como estradas rurais ou vicinais, surgiram da necessidade de facilitar a logística de tráfego ou transporte em locais de difícil ou nenhum acesso, sendo construídas sem planejamento prévio, aproveitando a topografia do terreno e a estrutura disponível nas zonas rurais (GONGÓRAI, 2011). Resultando em vias em sua maioria adaptadas e desenvolvidas por métodos intuitivos e pouco acadêmico ao longo do tempo, estando sujeitas às irregularidades do tempo e ao desgaste contínuo (ALVES et al., 2015).

Apesar dos fatores ambientais, verifica-se que países em desenvolvimento, apresentam sua malha viária, predominantemente composta por ENP's, embora o transporte modal em rodovias no Brasil seja primordial, principalmente pelo fato de ser um dos pilares para o desenvolvimento econômico do país, este apresenta grandes problemas em sua formulação (MUNCHEN, 2015). Percebe-se que no território brasileiro, até o ano de 2014, somente 12,1% das rodovias tinham recebido algum tipo de revestimento asfáltico, ou seja, aproximadamente 1,3 milhões de quilômetros, não possuía pavimentação adequada (BENEVIDES, 2014).

Dados divulgados pelo Anuário da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2017), demonstram que a região Centro-Oeste também partilha dos padrões nacionais ao que tange as

rodovias, configurando uma extensão de 157.078 Km (quilômetros) de estradas não pavimentadas, sendo que 73.885 Km (quilômetros) dessas estradas estão localizadas no estado de Goiás. Evidencia-se a importância deste tipo de via de escoamento, principalmente pelas estatísticas sobre o transporte no Brasil, que divulga que o deslocamento de passageiros corresponde 90% por estradas e rodovias e de movimentação de cargas alcança 60% no país inteiro (CRAIDE, 2016).

Verifica-se que a vertente socioeconômica do Brasil depende fundamentalmente das estradas não pavimentadas, resultado obtido involuntariamente, visto que o sistema modal brasileiro sofre com a falta de capacidade do poder público de executar e manter as necessidades exigidas pelos serviços de logística e transporte nacionais, portanto o caminho é realizar a conservação destas estradas com agilidade e eficácia (MARTIN, 2018).

2.2. Conservação de estradas não pavimentadas

A conservação e manutenção das vias de escoamento da cana-de-açúcar têm impactos socioeconômicos diretos para a indústria, bem como para a população que reside próximo às vias de escoamento. Os principais problemas estão relacionados com a danificação de máquinas e equipamentos usados para o transporte e pela nuvem de poeira formada pelo tráfego de caminhões, impactando na qualidade de vida da população. Portanto, os serviços de manutenção das estradas é uma atividade intensa realizada pela agroindústria canavieira, dependendo da intensidade de manutenção pode aumentar o custo de produção.

No Brasil, o modal rodoviário prevalece sobre os demais modais de transporte. Faltam estatísticas recentes, mas, estima-se que atualmente o transporte rodoviário responda por 65% do total de cargas transportadas no país. Na década de 1950, o modal rodoviário respondia a cerca de 40% do total transportado no Brasil e sua participação na matriz de transporte se elevou consideravelmente a partir da década de 1960, estimulado pela vinda das indústrias

automobilísticas e pelo subsídio no preço dos combustíveis. Também colaboraram para isso, o histórico de serviços, a capacidade insuficiente dos outros modais em suprir as necessidades e a falta de regulamentação do setor de transporte (CRUZ, 2005).

A conservação de ENP's consiste em manter a infraestrutura implantada, para obter maior longevidade da estrada, a segurança e o conforto dos usuários. Tal prática deve ser periódica e constante, devendo incluir inspeção visual com relação às condições de escoamento superficial, para garantir que os controles estejam funcionando corretamente. (SÃO PAULO, 2012).

Para que as estradas rurais sejam de boa qualidade, devem atender à algumas perspectivas, como: resistência suficiente para suportar cargas impostas pelo tráfego e condições favoráveis de rolamento e aderência (GONGÓRA, 2011). Entretanto, as ENP's brasileiras, sofrem com nenhuma ou escassa manutenção que consiste na utilização inadequada de equipamentos, contribuindo com a elevação dos recursos financeiros para sua restauração e ainda acarretando danos ao meio ambiente (MARTIN, 2018).

Informalmente, existe uma prática de rega de estradas ENP's utilizando água, entretanto esta ação é uma das variáveis que pode interferir negativamente na conservação das estradas vicinais, caso seja aplicada de forma irregular e com a velocidade inapropriada, dependendo do volume de água que atinge o solo, pode prejudicá-lo e desencadear um processo erosivo. No entanto, a distribuição estratégica da água impedindo a formação de grandes massas e de velocidade erosiva auxilia para a manutenção das estradas (ROCCAL et al., 2016).

Em consonância a estas pontuações, um estudo realizado no Sul da Europa, sobre manutenção de estradas não pavimentadas e pavimentadas, demonstrou que a rega de malhas viárias com água, foi considerada uma estratégia viável, reduzindo os níveis de material particulado em média de até 18% na estrada não pavimentada (AMATO, 2016).

A ação abrasiva do tráfego em estradas não pavimentadas em condições de umidade inadequadas, eventualmente faz com que as partículas de solos aglutinantes se soltem da

superfície de rolamento (Figura 01). Com a passagem do tráfego, formam-se nuvens de poeira que são um perigo para os veículos, além de causar problemas ambientais. A quantidade de pó é determinada pelo tamanho da nuvem de poeira que é causada pelo tráfego de veículos.



Figura 01. Presença de nuvens de poeira em estradas canavieiras não pavimentadas.

As erosões são formadas em estradas com rampas acentuadas, de solo arenoso, sem declividade transversal adequada e com sistema de drenagem ineficiente. Em áreas com grandes precipitações o problema é mais grave, pois a água escoar através da superfície da estrada, formando sulcos que com a chuva vão aumentando, até formar grandes ravinas (Figura 02).



Figura 02. Presença de buracos/panelas em estradas canavieiras não pavimentadas

Considerando os fatos apresentados, percebe-se que existe um longo caminho para o entendimento sobre a importância de manutenção apropriada para conservação de estradas vicinais que esteja conciliado com a sustentabilidade, mesmo porque a economia do país depende disto.

2.3. Manutenção de estradas canavieiras

Em virtude da manutenção ineficiente e custosa nas rodovias secundárias surgiu a necessidade de melhorar a manutenção desse serviço, assim a utilização de águas residuárias como fonte de conservação das estradas surge como solução para estas questões de forma pontual e decisiva para amenizar uma situação que percorre muitos anos no Brasil.

Considerando a dificuldade de obter os recursos para a manutenção e reabilitação de estradas, pavimentadas ou não, e que estes devem ser utilizados da maneira mais eficiente possível, cabe, portanto, a ciência estudar estratégias de engenharia que ofereçam soluções para estas abordagens. Neste sentido, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o uso de águas residuárias no processo de conservação de estradas trará maior agilidade no escoamento

dos produtos que utilizem estas vias, menor custo com manutenção das estradas e equipamentos podendo assim gerar maior receita líquida para as empresas.

2.4. Indústria canavieira

O processamento da cana-de-açúcar ocorre em indústrias sucroalcooleira, as quais comumente são localizadas em zonas rurais, em que o escoamento da matéria-prima para a indústria frequentemente ocorre em ENP's dentro do raio de ação da usina. As ENP's, também conhecidas como estradas rurais ou vicinais, surgiram da necessidade de facilitar a logística de tráfego ou transporte em locais de difícil ou nenhum acesso, sendo construídas sem planejamento prévio, aproveitando a topografia do terreno e a estrutura disponível nas zonas rurais. Algumas dessas vias foram adaptadas e desenvolvidas por métodos intuitivos, estando sujeitas às irregularidades do tempo e ao desgaste contínuo.

A atividade canavieira no Brasil remonta aos primeiros anos do processo de colonização portuguesa no Novo Mundo. Provavelmente, quando as primeiras mudas de cana-de-açúcar foram trazidas não se imaginava que o seu cultivo e processamento originariam uma das atividades econômicas que durante mais tempo e de forma mais intensa interfeririam no processo de formação socioespacial no país. A capacidade de se adaptar experimentada por esta atividade associada à complexidade das formas de organização interna e das estratégias de apropriação de recursos adotadas pelo capital canavieiro não apenas garantiram a sua longevidade, mas fomentaram a sua consolidação enquanto atividade fortemente capaz de moldar a economia, a cultura, as relações sociais e o espaço (SILVA, 2016).

No Brasil, os primeiros indícios de investimentos significativos no setor sucroalcooleiro começaram no ano de 1975 com o Proálcool, que foi considerado um dos mais bem-sucedidos programas de substituição de combustíveis dos combustíveis fósseis do mundo, em 2003 houve decadência dos níveis de consumo de etanol, inclusive afetando a produção de veículos movidos

à álcool anidro (MME, 2017). Entretanto, a crescente utilização de automóveis “flex” movidos à combustíveis fósseis e biocombustíveis, impulsionou novamente a cadeia produtiva de etanol, estimulando novamente o crescimento do comércio sucroalcooleiro brasileiro (LOURENZANI et al., 2014).

O estado de Goiás se revelou como aquele que concentra a maior parte das terras adequadas à expansão da atividade canavieira no país de acordo com a orientação estatal para ocupar os novos espaços. Rapidamente foram multiplicadas as áreas de cultivo com cana-de-açúcar e unidades de processamento foram construídas ou reativadas. A agroindústria canavieira adentrava, definitivamente, no espaço goiano (SILVA, 2016).

Conforme citado anteriormente, um dos pilares do desenvolvimento econômico brasileiro é o transporte por malha viária, e ENP's representam mais de 80% das rodovias brasileiras, destacando neste contexto que a indústria sucroalcooleira atua como dependente deste tipo de via: grande parte de sua produção é escoada por caminhões semirreboque através ENP's (BENEVIDES, 2014).

As biorrefinarias de cana-de-açúcar, ocupam posição com importantes números na economia mundial (SILALERTRUKSA et al., 2016). Neste sentido, ressalta-se que a procura por novas fontes energéticas e o incentivo do crescimento econômico, transformou plantio da cana-de-açúcar abundantemente expansivo em regiões de clima tropical e subtropical (ORTEGÓN et al., 2016).

2.5. Viabilidade de operação

Uma opção de disposição de resíduos do processamento da cana-de-açúcar é a utilização do equipamento barriga d'água que é um equipamento utilizado para manutenção das ENP por meio de rega, este é composto por um semirreboque, um reservatório de água, um filtro e uma calha para espalhar a água (Figura 03)

Este equipamento é extremamente importante para a conservação das estradas (ambiental) e para as indústrias (economia). Quando se tem tráfego de caminhões em estradas canavieiras malconservadas, gasta-se em média 854.227 mil reais com manutenções em balanças, molas, pneus e rodas, por cada caminhão. Além de todo impacto que é causado nas estradas, como erosões e poeira, acarretando impactos ambientais.

Porém, quando se opta por utilizar um caminhão como a barriga d'água, esse custo com manutenção dos caminhões diminui drasticamente. Em estradas em que se utiliza o equipamento, os gastos com manutenção de balanças, molas, pneus e rodas, é de 560.673 mil reais por cada caminhão. Ocorrendo diminuição de 293.554 mil reais em manutenção.

Utilizando um caminhão pipa, gasta-se com manutenção e combustível de um transporte específico para transportar água que irá irrigar as estradas (Figura 3-A). Com a utilização do equipamento barriga d'água (Figura 3-B), economiza-se com transporte, uma vez que se utiliza o caminhão adaptado que de toda forma já iria ao campo, e conseqüentemente economiza com combustível e com mão de obra.

(A)



(B)



Figura 03. Aplicação de água em estradas canavieiras não pavimentadas com caminhão pipa (A) e com o equipamento barriga d'água (B).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

O desenvolvimento do equipamento da pesquisa foi realizado no município de Quirinópolis, Estado de Goiás. A água residuária utilizada para a aspersão foi fornecida pela Usina Boa Vista, localizada na região de Quirinópolis – Goiás. Esta empresa possui capacidade de processar 5 milhões de toneladas ano, com a geração de $391 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de água residuária proveniente do tratamento de lodo, tratamento de caldo, lavagem de filtros e prensas sendo a utilizada na bacia de irrigação da usina.

Foram utilizadas duas estradas vicinais para realizar as avaliações. Estas estão localizadas na Fazenda Bruacas e Fazenda Furnas, situadas nas coordenadas geográficas: $18^{\circ}30'51.8'' \text{ S } 50^{\circ}21'35.4'' \text{ W}$ e $18^{\circ}20'02.9'' \text{ S } 50^{\circ}25'03.4'' \text{ W}$, respectivamente. A escolha das estradas para o estudo, deu-se pelo fluxo intenso de veículos durante o período que escoavam cana-de-açúcar. (Figura 04).

Realizou-se o monitoramento climático pela estação interna ZEUS, sendo que, para o primeiro experimento (Furnas) obteve-se médias de temperaturas máxima e mínima de 37 e 19°C , precipitação de 0 mm e umidade relativa às 14 horas de 36% , já para o segundo experimento (Bruacas) constatou-se temperaturas máxima e mínima de 39 e 20°C , precipitação de 0 mm e umidade relativa às 14 horas de 34% .

Realizou-se levantamento topográfico pelo software Arcgis e obteve-se os seguintes desníveis: Furnas – trecho 1, aclive de 2% e declive de 0% ; trecho 2, aclive de 3% e declive de 0% ; trecho 3, aclive de 0% e declive de 2% ; Em bruacas, obteve-se os seguintes resultados: trecho 1, aclive de 0% e declive de 1% ; trecho 2, aclive de 2% e declive de 1% ; trecho 3, aclive de 2% e declive de 1% .

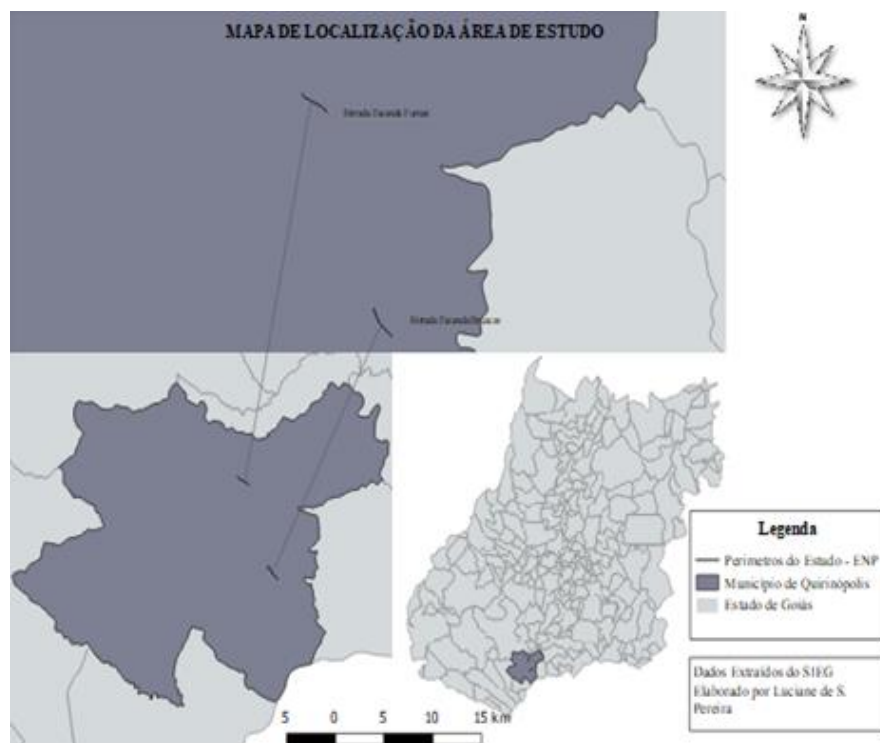


Figura 04. Localização do Perímetro do Estudo. Fonte: Dados Extraídos do SIEG - Serviço e Geoinformação do Estado de Goiás.

3.2. Tratamentos

Todos tratamentos consistiram na aplicação de água residuária com diferentes equipamentos de aplicação, sendo, no primeiro perímetro, utilizou-se semirreboque adaptado (Barriga d'água) (Figura 5A), no segundo perímetro, caminhão pipa (Figura 5B) e terceiro não houve aplicação de água residuária. Realizou-se aplicação em tempo de 9 minutos com velocidade média de 20 km h^{-1} para as distâncias de cada tratamento.



Figura 05. Aplicação de água residuária em estradas não pavimentadas com caminhão pipa (A); equipamento barriga d'água (B); e detalhe de aplicação através de canaleta (C)

Cada perímetro selecionado possui uma extensão de 1000 m, com borda de 50 m, totalizando o percurso de 3100 m. A aplicação de água residuária na estrada foi realizada diariamente às 7 horas da manhã entre os dias 28 de agosto e 02 de novembro de 2018, com total de seis dias. Os pontos escolhidos para coleta das amostras foram previamente selecionados e demarcados com GPS (Garmim, modelo Express CSX60) (Figura 06).

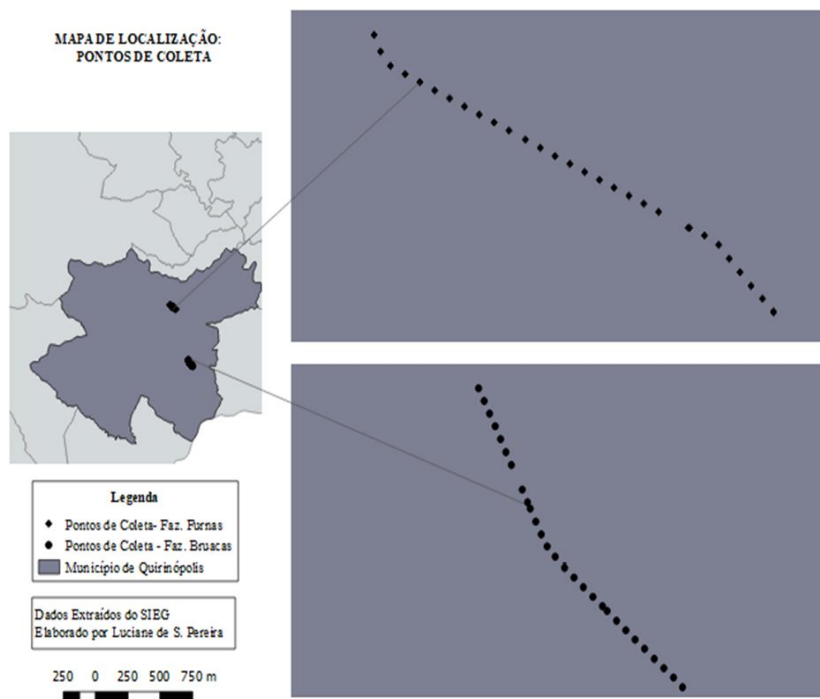


Figura 06. Pontos de aplicação de água residuária. Fonte: Dados Extraídos do SIEG - Serviço e Geoinformação do Estado de Goiás.

O semirreboque foi constituído de um reservatório de água, um filtro e uma calha para espalhar a água. Para isso, foi utilizado um reservatório de água sem tampa na parte inferior do semirreboque (entre o dolly e eixos traseiros). Para vedar o piso e as laterais do compartimento foram utilizadas chapa de aço ASTM A36 1/8" (3,25 mm) x 1500 mm x 3000 mm, pois se trata de um aço estrutural próprio para aplicação em equipamentos (Figuras 7A e 7B). As chapas aplicadas para montagem da estrutura do reservatório foram unidas pelo processo de soldagem MIG (Metal Inert Gas).

Com intuito de minimizar o movimento do líquido durante o transporte, o mesmo tipo de chapa foi utilizado como quebra ondas (Figuras 7C) e tem a função adicional de reforço estrutural do reservatório. Na parte inferior, do lado esquerdo dianteiro, localizou-se a válvula wafer 6" flangeada com atuador pneumático de dupla ação (fabricante Bray, modelo A536

CI65 150LBS) que faz a abertura para a vazão de água em uma canaleta metálica distribuindo o líquido de forma igualitária nos 2,6 metros de largura do semirreboque (Figura 7D).

A válvula pneumática foi acionada manualmente por uma alavanca instalada dentro da cabine do caminhão, aproveitando o sistema de ar dos vagões, sendo o motorista o responsável por acionar ou desligar a válvula com o veículo em movimento sem causar atrasos no transporte de cana picada.

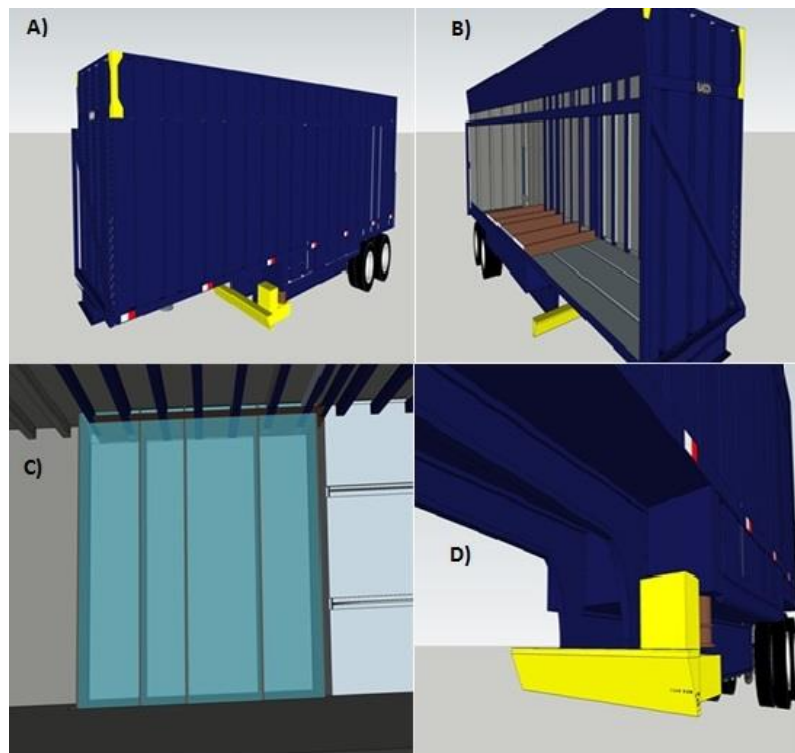


Figura 07. Vistas do semirreboque: A - vista lateral do semirreboque; B - vista com corte lateral; C - vista superior do semirreboque; D - vista da canaleta de escoamento.

Com o intuito de agregar ao transporte sem aumentar o tempo médio de viagem, o abastecimento do semirreboque aconteceu antes de iniciar a viagem. Para isso, foi criada uma estrutura composta por uma caixa d'água com capacidade de 30000 litros, e foi armazenado a água residuária. Acoplado a essa caixa d'água havia um cano inox 8", válvula pneumáticas de 8" para acionamento do carregamento, ligada por 30 segundos, acionada pelo operador, após

30 segundos a válvula era fechada automaticamente, esse tempo era suficiente para inserir 6 m³ de água dentro da barriga d'água (Figura 08).

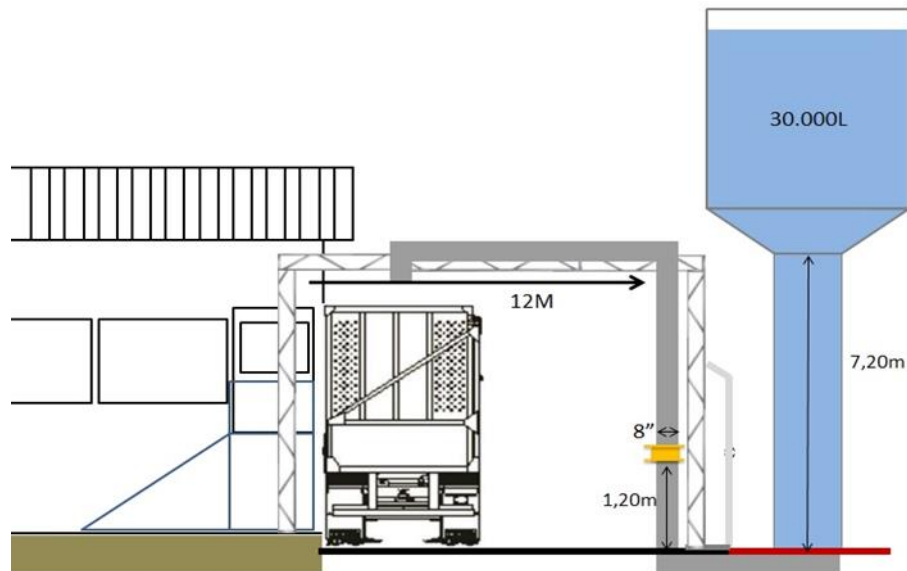


Figura 08. Esquema da estrutura utilizada para encher o semirreboque antes da saída do mesmo para buscar cana-de-açúcar.

3.3. Variáveis analisadas

Com a finalidade de padronizar o trecho em que foi realizada a experimentação, as estradas foram previamente preparadas com uma retroescavadeira, uma moto niveladora e um tanque (caminhão-pipa) com capacidade de 15 mil litros. Para fins de monitoramento foi demarcada com estacas de bambu de 1,10 m de altura, com a função de auxiliar na identificação de cada parcela da estrada.

Para avaliar os tratamentos de aspersão nas estradas não pavimentadas aplicadas pelos diferentes equipamentos, foram realizadas amostragem entre as 8, 10, 12, 14 e 16 horas dos dias 28, 29, 30 e 31 de agosto e 01 e 02 de novembro de 2018, com 10 repetições, totalizando 300 amostragens.

Seguindo a metodologia proposta por Eaton e Beaucham (1992), considerou-se para efeito de avaliação dos tratamentos, a severidade e a dimensão das variáveis: nuvem de poeira (ANP), sendo, (baixa = 1, média = 2 e alta = 3), quantidade de buraco ou panela (QBP), trilhas de rodagem (ATR), sendo, (baixa = 1, média = 2 e alta = 3), segregação de agregados (SA), sendo, (baixa = 1, média = 2 e alta = 3) e erosão (ERO) em metros quadrados.

Ainda, as mesmas variáveis anteriores foram classificadas quando a severidade do defeito. Para isso, OC foi classificado em baixa: profundidade menor que 2,5 cm; média: profundidade entre 2,5 e 7,5 cm; e alta: profundidade maiores que 7,5 cm. ANP foi classificada em baixa com pouca: nuvem fina, não obstrui a visibilidade, e altura menor que 1 m; média: obstrui parcialmente a visibilidade, altura entre 1 m e 2 m, tráfego lento; e alta: muita poeira, severa obstrução da visibilidade, altura superior a 2 m, tráfego muito lento ou parado. QBP foi classificado em baixa: profundidade menor que 5,0 cm; média: profundidade entre 5,0 e 15 cm; e alta: profundidade maiores que 15 cm.

ATR foi classificado em baixa: profundidade menores que 5 cm; média: profundidade entre 5 e 10 cm; e alta: profundidade maiores que 10 cm. Classificou-se a SA em baixa: bermas menores que 5 cm de altura; média: bermas entre 5 e 10 cm de altura; e alta: bermas maiores que 10 cm de altura. ARE foi classificado em baixa: bermas menores que 5 cm de altura; média: bermas entre 5 e 15 cm de altura; e alta: bermas maiores que 15 cm de altura. ERO foi classificado em baixa: profundidade menor que 15,0 cm; média: profundidade entre 15,0 e 30 cm; e alta: profundidade maiores que 30 cm. Por fim, classificou-se em presença de acúmulo de água na estrada em solo com pouca capacidade de suporte e com ausência ou deficiência no sistema de drenagem.

3.4. Análise estatística

Foram realizadas médias dos dados de dimensão e severidade coletados no experimento e calculados os desvios padrão com a finalidade de verificar a discrepância dos dados coletados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Nuvem de poeira

A poeira de estradas não pavimentadas é composta por partículas finas da camada de base ou revestimento do solo e é ocasionada pelo tráfego e ventos que associado ao mau tratamento das estradas é promovido maior dimensão. Segundo Nunes (2003), a abundância do material fino no leito da estrada que forma durante a seca sob o constante tráfego de veículos aumenta a nuvem de poeira.

A poeira é uma característica importante na análise de estradas não pavimentadas, uma vez que esta pode gerar danos como, obscurecimento da visão dos motoristas, problemas respiratório ocasionada pela inspiração de impurezas presentes na poeira, ainda pode gerar problemas na vida útil de motores e alguns elementos mecânicos dos veículos que transitam frequentemente nestas estradas acarretando redução da viabilidade de logística do sistema de produção (Mesquita Filho, 2018).

Sabendo que a nuvem de poeira em estradas não pavimentadas gera danos econômicos e à saúde dos motoristas, recomendou-se o seu tratamento com aplicação de água residuária em função dos resultados obtidos no experimento. Sendo assim, verificou-se que nas estradas de Bruacas e Furnas, a maior dimensão da nuvem de poeira, foi verificada no tratamento sem nenhuma aplicação de água de água residuária (NA), no sexto dia de experimentação, com média de 3,00 ($\pm 0,00$). O equipamento barriga d'água (BA) evitou qualquer nuvem de poeira nas estradas de Bruacas e Furnas em função dos dias de experimentação. As aplicações de água residuária utilizando o tanque pipa (TP) evitaram qualquer nível de poeira, a não ser na estrada de Bruacas no quinto dia que houve a presença de 0,12 ($\pm 0,48$) e na estrada de Furnas no primeiro dia de 0,04 ($\pm 0,28$) no nível de poeira.

Tabela 01. Médias e desvio padrão (DP) da patologia nuvem de poeira das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função dos dias de experimentação

Dias	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
1	0,00	± 0,00	0,98	± 0,62	0,00	± 0,00
2	0,00	± 0,00	1,94	± 0,24	0,00	± 0,00
3	0,00	± 0,00	2,00	± 0,00	0,00	± 0,00
4	0,00	± 0,00	2,00	± 0,00	0,00	± 0,00
5	0,00	± 0,00	2,64	± 0,48	0,12	± 0,48
6	0,00	± 0,00	3,00	± 0,00	0,00	± 0,00
Furnas						
1	0,00	± 0,00	2,00	± 0,00	0,04	± 0,28
2	0,00	± 0,00	2,66	± 0,69	0,00	± 0,00
3	0,00	± 0,00	3,00	± 0,00	0,00	± 0,00
4	0,00	± 0,00	3,00	± 0,00	0,00	± 0,00
5	0,00	± 0,00	3,00	± 0,00	0,00	± 0,00
6	0,00	± 0,00	3,00	± 0,00	0,00	± 0,00

O equipamento BA evitou qualquer nuvem de poeira nas estradas de Bruacas e Furnas quando analisada no intervalo de horas do dia. Independente do dia, a maior média da nuvem de poeira foi verificada às 16 horas chegando a 2,32 ($\pm 0,5$) no tratamento NA. A partir das 12 horas houve incremento da nuvem de poeira 0,03 ($\pm 0,26$) com utilização do TP que permaneceu

até às 16 horas na estrada de Bruacas, já na estrada de Furnas esta patologia se apresentou somente às 8 horas (Tabela 02).

Tabela 02. Médias e desvio padrão (DP) da patologia nuvem de poeira das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função das horas de experimentação

Horas	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
8	0,00	± 0,00	1,83	± 0,91	0,00	± 0,00
10	0,00	± 0,00	2,00	± 0,64	0,00	± 0,00
12	0,00	± 0,00	2,15	± 0,71	0,03	± 0,26
14	0,00	± 0,00	2,17	± 0,69	0,03	± 0,26
16	0,00	± 0,00	2,32	± 0,50	0,03	± 0,26
Furnas						
8	0,00	± 0,00	2,75	± 0,44	0,03	± 0,26
10	0,00	± 0,00	2,80	± 0,40	0,00	± 0,00
12	0,00	± 0,00	2,72	± 0,56	0,00	± 0,00
14	0,00	± 0,00	2,78	± 0,52	0,00	± 0,00
16	0,00	± 0,00	2,83	± 0,38	0,00	± 0,00

Com relação a severidade da nuvem de poeira (Tabela 03), verificou-se que a não aplicação de água residuária, promoveu maior porcentagem para média severidade 55,33% ($\pm 0,5$) e alta 26,67% ($\pm 0,44$) em Bruacas e 21% ($\pm 0,41$) de média e 79,67% ($\pm 0,40$) de alta

severidade em Furnas, enquanto a aplicação utilizando BA apresentou 100% de baixa severidade e zero desvio padrão nas duas estradas analisadas. O tratamento das estradas de Bruacas e Furnas utilizando TP, proporcionaram 99,67% ($\pm 0,06$) e 98,67 ($\pm 0,11$) de baixa severidade para nuvem de poeira.

Tabela 03. Porcentagem e desvio padrão (DP) da severidade de nuvem de poeira das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP).

Severidade	BA		NA		TP	
	(%)	DP	(%)	DP	(%)	DP
Bruacas						
Baixo	100,00	$\pm 0,00$	18,00	$\pm 0,38$	99,67	$\pm 0,06$
Médio	0,00	$\pm 0,00$	55,33	$\pm 0,50$	0,33	$\pm 0,06$
Alto	0,00	$\pm 0,00$	26,67	$\pm 0,44$	0,00	$\pm 0,00$
Furnas						
Baixo	100,00	$\pm 0,00$	0,67	$\pm 0,08$	98,67	$\pm 0,11$
Médio	0,00	$\pm 0,00$	21,00	$\pm 0,41$	0,33	$\pm 0,06$
Alto	0,00	$\pm 0,00$	79,67	$\pm 0,40$	0,00	$\pm 0,00$

4.2. Buraco / panela

A formação de buracos ou panelas é causada pela expulsão de partículas sólidas do leiteo quando a água é retida na superfície do solo e isto é resultado da má execução de drenagem ou ainda pela inexistência de revestimento primário. Silva Filho (2003) indica a execução de

sistema de drenagem apropriado e aplicação de revestimento primário ou até mesmo, aplicar material ligante (argila) e realizar o abaulamento da pista após a execução do revestimento primário, para melhorar a qualidade das estradas não pavimentadas.

Quando não há a necessidade de realizar sistema de drenagem é preciso que sejam executados determinados tratamentos nas estradas. Dessa forma, seguindo a ideia principal deste experimento de utilizar água residuária na manutenção das estradas, constatou-se de acordo com os resultados apresentados na Tabela 04 que o equipamento de aspersão de água adaptado (BA), promoveu os menores índices de buracos ou panelas nas estradas não pavimentadas, quando comparado com TP e NM. Ainda, verificou-se que nas duas estradas e em todos tratamentos, houve incremento dos buracos/panelas no decorrer dos dias de experimentação. Os maiores valores desta patologia foram verificados no sexto dia de experimentação na utilização de TP para aplicação da água residuária, em que na estrada de Bruacas se verificou o valor de 2,26 (\pm 0,53) e na estrada de Furnas 1,92 (\pm 0,27).

Tabela 04. Médias e desvio padrão (DP) da patologia buraco / panela das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função dos dias de experimentação.

Dias	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
1	0,00	± 0,00	0,02	± 0,14	0,16	± 0,37
2	0,00	± 0,00	0,30	± 0,46	0,50	± 0,51
3	0,42	± 0,50	0,72	± 0,45	0,78	± 0,42
4	0,76	± 0,43	1,02	± 0,38	1,28	± 0,54
5	0,82	± 0,39	2,00	± 0,00	1,84	± 0,37
6	1,06	± 0,47	2,06	± 0,24	2,26	± 0,53
Furnas						
1	0,14	± 0,35	0,14	± 0,35	0,66	± 0,48
2	0,30	± 0,46	0,56	± 0,50	0,76	± 0,43
3	0,34	± 0,48	0,88	± 0,39	0,74	± 0,44
4	0,62	± 0,49	1,28	± 0,54	0,92	± 0,40
5	0,90	± 0,36	1,22	± 0,42	1,38	± 0,57
6	1,08	± 0,49	1,78	± 0,46	1,92	± 0,27

É importante mencionar que os buracos são pequenas depressões formadas pelo tráfego de veículos, deslocamento de partículas do solo pela água de precipitação e até mesmo pela velocidade do vento. Estas características permitem explicar o maior número de buracos nos tratamentos NM e TA, uma vez que, a quantidade de água no solo em falta (NM), ou em excesso

ou mal distribuída que ocorre na aplicação utilizando TA, promove maiores problemas para esta patologia testada.

Pela Tabela 05, foi possível analisar e indicar que durante as horas nas médias dos dias de experimentação que BD promoveu menor resultado de buracos e que durante o dia não houve grande incremento desta variável, ou seja, a quantidade de buracos manteve durante o dia. Ainda, verificou-se que os maiores resultados de buraco/panela foram verificados na utilização do TP no sexto dia de experimentação, sendo que os valores foram 1,45 (0,75) na estrada de Bruacas e 1,16 (\pm 0,69) na estrada de Furnas.

Tabela 05. Médias e desvio padrão (DP) da patologia buraco / panela das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função das horas de experimentação.

Horas	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
8	0,45	± 0,50	0,93	± 0,86	0,83	± 0,74
10	0,50	± 0,57	0,95	± 0,85	1,02	± 0,83
12	0,55	± 0,57	1,02	± 0,85	1,03	± 0,92
14	0,55	± 0,57	1,12	± 0,85	1,35	± 0,95
16	0,50	± 0,54	1,08	± 0,83	1,45	± 0,75
Furnas						
8	0,53	± 0,57	0,88	± 0,56	1,00	± 0,58
10	0,43	± 0,50	0,88	± 0,74	1,08	± 0,62
12	0,58	± 0,56	0,88	± 0,69	1,03	± 0,69
14	0,63	± 0,58	1,08	± 0,70	1,08	± 0,56
16	0,63	± 0,55	1,15	± 0,73	1,16	± 0,69

A Tabela 06 demonstra a severidade dos buracos/panelas analisados nas estradas não pavimentadas de Bruacas, e Furnas quando realizada a aplicação de água residuária pelos equipamentos BA, TP e quando não foi realizada nenhuma aplicação (NA). Sendo assim, verificou-se as maiores médias de baixa severidade quando utilizado o equipamento BA, sendo 97,67% ($\pm 0,15$) na estrada de Bruacas e 98,00% (0,14) na estrada de Furnas. NA proporcionou os piores resultados para esta patologia seguido da aplicação com TP, sendo que em NA

observou-se 33,33% ($\pm 0,47$) e 17,67% ($\pm 0,38$) de média severidade nas estradas de Bruacas e Furnas, respectivamente. Ainda, na estrada de Bruacas, verificou-se que a aplicação de água residuária utilizando TP proporcionou de forma geral 5,00% ($\pm 0,22$) de alta severidade de buracos.

Tabela 06. Porcentagem e desvio padrão (DP) da severidade de buraco / panela das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP)

Severidade	BA		NA		TP	
	(%)	DP	(%)	DP	(%)	DP
Bruacas						
Baixo	97,67	$\pm 0,15$	65,67	$\pm 0,48$	64,00	$\pm 0,48$
Médio	2,33	$\pm 0,15$	33,33	$\pm 0,47$	31,00	$\pm 0,46$
Alto	0,00	$\pm 0,00$	1,00	$\pm 0,10$	5,00	$\pm 0,22$
Furnas						
Baixo	98,00	$\pm 0,14$	82,33	$\pm 0,38$	84,00	$\pm 0,37$
Médio	1,67	$\pm 0,13$	17,67	$\pm 0,38$	15,33	$\pm 0,36$
Alto	0,00	$\pm 0,00$	0,33	$\pm 0,06$	0,00	$\pm 0,00$

4.3. Trilhas de Roda

As depressões na superfície das estradas são as denominadas trilhas de roda, sendo que são formadas devido ao intenso tráfego naquela localidade. De acordo com as Tabela 07, 08 e 09, observou-se que a fração de água no solo, a forma de aplicação de água e ainda o tempo do

tratamento das estradas, interfere diretamente nas trilhas de roda ou mesmo o seu afundamento. Por esta característica analisada foi possível identificar que os resultados referentes às trilhas de roda foram superiores com a aplicação de água residuária utilizando TP a partir do quinto dia de experimentação na estrada de Bruacas (Tabela 07), sendo que a utilização do TP aumentou consideravelmente o problema desta patologia do quinto $0,66 (\pm 0,56)$ ao sexto dia $1,18 (\pm 0,63)$ de experimentação na estrada de Bruacas. Para mais esta patologia a utilização do BA foi mais eficiente no tratamento das estradas analisadas.

Tabela 07. Médias e desvio padrão (DP) da patologia trilha de roda das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função dos dias de experimentação

Dias	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
1	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
2	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
3	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,02	± 0,14
4	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
5	0,00	± 0,00	0,30	± 0,46	0,66	± 0,56
6	0,06	± 0,24	0,14	± 0,35	1,18	± 0,63
Furnas						
1	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
2	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
3	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
4	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,04	± 0,20
5	0,02	± 0,14	0,02	± 0,14	0,00	± 0,00
6	0,00	± 0,00	0,14	± 0,35	0,24	± 0,43

Ainda foi possível verificar que nas duas estradas (Bruacas e Furnas) e no comportamento em relação ao tempo em horas (Tabela 08) que, a utilização do equipamento BA foi mais eficiente que os demais tratamentos na conservação das estradas não pavimentadas quanto ao afundamento das trilhas de roda. Ainda por esta tabela, inferiu-se que a aplicação de água

residuária utilizando TP proporcionou os maiores resultados para esta patologia, sendo que o maior resultado 0,43 ($\pm 0,70$) foi verificado na estrada de Bruacas às 16 horas.

Tabela 08. Médias e desvio padrão (DP) da patologia trilha de roda das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função das horas de experimentação

Horas	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
8	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,18	$\pm 0,43$
10	0,03	$\pm 0,18$	0,00	$\pm 0,00$	0,27	$\pm 0,52$
12	0,00	$\pm 0,00$	0,07	$\pm 0,25$	0,28	$\pm 0,52$
14	0,00	$\pm 0,00$	0,12	$\pm 0,32$	0,38	$\pm 0,64$
16	0,02	$\pm 0,13$	0,18	$\pm 0,39$	0,43	$\pm 0,70$
Furnas						
8	0,00	$\pm 0,00$	0,02	$\pm 0,13$	0,00	$\pm 0,00$
10	0,02	$\pm 0,13$	0,00	$\pm 0,00$	0,05	$\pm 0,22$
12	0,00	$\pm 0,00$	0,05	$\pm 0,22$	0,08	$\pm 0,28$
14	0,00	$\pm 0,00$	0,03	$\pm 0,18$	0,05	$\pm 0,22$
16	0,00	$\pm 0,00$	0,03	$\pm 0,18$	0,05	$\pm 0,22$

A Tabela 09 demonstra a severidade das trilhas de roda analisadas nas estradas não pavimentadas de Bruacas, e Furnas quando realizada a aplicação de água residuária pelos equipamentos BA, TP e quando não foi realizada nenhuma aplicação (NA). Sendo assim,

constatou-se que nas duas estradas e na utilização de BA e nenhuma aplicação de água residuária obteve-se 100% de baixa severidade para esta característica. Por outro lado, quando utilizado TP, verificou-se 95,33% e 99,67% de baixa severidade e 4,67% e 0,33% de média severidade nas estradas de Bruacas e Furnas, respectivamente.

Tabela 09. Porcentagem e desvio padrão (DP) da severidade de trilha de roda das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP).

Severidade	BA		NA		TP	
	(%)	DP	(%)	DP	(%)	DP
Bruacas						
Baixo	100,00	± 0,00	100,00	± 0,00	95,33	± 0,21
Médio	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	4,67	± 0,21
Alto	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
Furnas						
Baixo	100,00	± 0,00	100,00	± 0,00	99,67	± 0,06
Médio	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,33	± 0,03
Alto	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00

4.4. Segregação de agregados

É visto na Tabela 10 o comportamento da segregação de agregados nas estradas de Bruacas e Furnas em função dos dias de experimentação. Sendo assim, observou-se que esta patologia é implicada pelo tempo de uso e tipo de equipamento de aspersão utilizado na

manutenção das estradas, além de outros fatores como o intenso fluxo de tráfego de veículos. Segundo Baesso e Gonçalves (2003), estes fatores provocam a segregação da fração grossa de agregados que tendem acumular e criar camadas nas áreas não transitáveis da estrada, como por exemplo as suas bordas.

Por outro lado, Eaton, Gerald e Cate (1987), as partículas de agregados desprendem do solo com o tráfego na estrada, as quais se deslocam para as áreas menos utilizadas. Fazendo relação com esta afirmação e o comportamento da segregação de agregados deste experimento, foi possível constatar que a aplicação de água nas estradas utilizando o equipamento BD proporcionou menor problema com esta patologia. E, pode ser explicado pela água residual no solo aumentar a agregação das partículas do solo, impedindo o carreamento destas. Os piores resultados sobre esta característica foram observados no sexto dia em ambas estradas, na utilização de TP, sendo, 2,56 ($\pm 0,54$) na estrada de Bruacas e 1,98 ($\pm 0,25$) em Furnas.

Tabela 10. Médias e desvio padrão (DP) da patologia segregação de agregados das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função dos dias de experimentação.

Dias	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
1	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,02	± 0,14
2	0,00	± 0,00	0,12	± 0,33	0,24	± 0,43
3	0,06	± 0,24	0,26	± 0,44	0,64	± 0,48
4	0,70	± 0,46	0,94	± 0,62	1,34	± 0,48
5	1,00	± 0,29	1,62	± 0,70	1,92	± 0,27
6	1,38	± 0,53	2,18	± 0,48	2,56	± 0,54
Furnas						
1	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
2	0,00	± 0,00	0,86	± 0,70	0,44	± 0,50
3	0,00	± 0,00	0,78	± 0,42	0,86	± 0,35
4	0,14	± 0,35	0,60	± 0,53	1,12	± 0,39
5	0,84	± 0,42	0,96	± 0,57	1,56	± 0,54
6	1,06	± 0,65	1,84	± 0,47	1,98	± 0,25

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 11, foi possível verificar que durante as horas nas médias dos dias de experimentação que, BD promoveu menores problemas com a segregação de agregados e que durante o dia não houve grande incremento desta variável, ou seja, os valores mantiveram mais constantes durante o dia. Ainda, verificou-se que os maiores

resultados destas características foram verificados na utilização do TP no sexto dia de experimentação, sendo que os valores foram 1,37 ($\pm 1,09$) na estrada de Bruacas e 1,12 ($\pm 0,78$) na estrada de Furnas.

Tabela 11. Médias e desvio padrão (DP) da patologia segregação de agregados das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função das horas de experimentação.

Horas	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
8	0,45	$\pm 0,50$	0,68	$\pm 0,83$	0,87	$\pm 0,79$
10	0,53	$\pm 0,72$	0,63	$\pm 0,84$	1,02	$\pm 1,00$
12	0,47	$\pm 0,54$	0,80	$\pm 0,86$	1,10	$\pm 0,99$
14	0,58	$\pm 0,70$	1,00	$\pm 0,97$	1,25	$\pm 1,07$
16	0,58	$\pm 0,67$	1,15	$\pm 1,12$	1,37	$\pm 1,09$
Furnas						
8	0,28	$\pm 0,49$	0,60	$\pm 0,72$	0,92	$\pm 0,81$
10	0,32	$\pm 0,54$	0,85	$\pm 0,73$	0,87	$\pm 0,75$
12	0,33	$\pm 0,57$	0,83	$\pm 0,72$	1,07	$\pm 0,76$
14	0,42	$\pm 0,62$	0,88	$\pm 0,69$	1,00	$\pm 0,71$
16	0,35	$\pm 0,58$	1,03	$\pm 0,78$	1,12	$\pm 0,78$

A Tabela 12 demonstra a severidade da segregação de agregados analisados nas estradas não pavimentadas de Bruacas, e Furnas quando realizada a aplicação de água residuária pelos equipamentos BA, TP e quando não foi realizada nenhuma aplicação (NA). Dessa forma, verificou-se as maiores médias de baixa severidade quando utilizado o equipamento BA, sendo 93,00% ($\pm 0,26$) na estrada de Bruacas e 96,67% ($\pm 0,18$) na estrada de Furnas. TP proporcionou os piores resultados para esta patologia seguido da aplicação com TP, sendo que em NA observou-se 28,00% ($\pm 0,45$) e 14,67% ($\pm 0,35$) de média severidade nas estradas de Bruacas e Furnas, respectivamente.

Tabela 12. Porcentagem e desvio padrão (DP) da severidade de segregação de agregados das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP).

Severidade	BA		NA		TP	
	(%)	DP	(%)	DP	(%)	DP
Bruacas						
Baixo	93,00	$\pm 0,26$	68,33	$\pm 0,47$	62,67	$\pm 0,48$
Médio	7,00	$\pm 0,26$	28,00	$\pm 0,45$	27,67	$\pm 0,45$
Alto	0,00	$\pm 0,00$	3,67	$\pm 0,19$	9,67	$\pm 0,30$
Furnas						
Baixo	96,67	$\pm 0,18$	86,00	$\pm 0,35$	72,67	$\pm 0,45$
Médio	2,67	$\pm 0,16$	14,67	$\pm 0,35$	26,67	$\pm 0,44$
Alto	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$

4.5. Erosão

Sabendo a importância da conservação dos solos em todo sistema de produção agrícola, verificou-se pela Tabela 13 que houve diferenciação no comportamento da erosão para os tratamentos a partir do terceiro dia de experimentação na estrada de Bruacas quando utilizado TP, sendo os maiores resultados observados no último dia de experimentação. Quando não foi realizada nenhuma aplicação os valores de erosão foram os menores. A aplicação de água residuária utilizando BD e TP proporcionaram aumento com o passar dos dias, porém o BA apresentou os menores valores com relação ao TP. Segundo Pruski (2009) o escoamento superficial é o principal causador de erosão em estradas não pavimentadas, e não aconteceu quando não realizou aplicação de água residuária. O maior problema com erosão foi visto no sexto dia de experimentação com o tratamento de TP, sendo $1,50 (\pm 0,54)$ na estrada de Bruacas e $1,68 (\pm 0,47)$ na estrada de Furnas.

Tabela 13. Médias e desvio padrão (DP) da patologia erosão das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função dos dias de experimentação.

Dias	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
1	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
2	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00
3	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,20	± 0,40
4	0,18	± 0,39	0,00	± 0,00	0,74	± 0,44
5	0,54	± 0,50	0,00	± 0,00	1,12	± 0,44
6	0,54	± 0,58	0,02	± 0,14	1,50	± 0,54
Furnas						
1	0,04	± 0,20	0,00	± 0,00	0,42	± 0,50
2	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,78	± 0,42
3	0,00	± 0,00	0,00	± 0,00	0,52	± 0,50
4	0,06	± 0,24	0,00	± 0,00	1,04	± 0,53
5	0,32	± 0,51	0,20	± 0,40	1,48	± 0,76
6	0,58	± 0,70	0,12	± 0,59	1,68	± 0,47

Segundo os resultados apresentados na Tabela 14, foi possível verificar que durante as horas de experimentação que a não aplicação de água residuária promoveu menores problemas com erosão e que durante o dia não houve grande incremento desta variável. Na estrada de Bruacas, a erosão foi mínima quando não foi realizada aplicação. Ainda, verificou-se que os

maiores resultados destas características foram verificados na utilização do TP no sexto dia de experimentação, sendo que os valores foram 1,63 ($\pm 0,67$) na estrada de Bruacas e 1,12 ($\pm 0,76$) na estrada de Furnas.

Tabela 14. Médias e desvio padrão (DP) da patologia erosão das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP) em função das horas de experimentação.

Horas	BA		NA		TP	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bruacas						
8	0,13	$\pm 0,34$	0,00	$\pm 0,00$	0,50	$\pm 0,68$
10	0,13	$\pm 0,34$	0,00	$\pm 0,00$	0,63	$\pm 0,76$
12	0,20	$\pm 0,44$	0,00	$\pm 0,00$	0,63	$\pm 0,64$
14	0,28	$\pm 0,45$	0,00	$\pm 0,00$	0,60	$\pm 0,69$
16	0,30	$\pm 0,50$	0,02	$\pm 0,13$	0,63	$\pm 0,67$
Furnas						
8	0,15	$\pm 0,44$	0,15	$\pm 0,36$	0,82	$\pm 0,68$
10	0,12	$\pm 0,37$	0,20	$\pm 0,51$	0,90	$\pm 0,68$
12	0,17	$\pm 0,42$	0,25	$\pm 0,54$	1,05	$\pm 0,79$
14	0,18	$\pm 0,43$	0,23	$\pm 0,53$	1,05	$\pm 0,62$
16	0,22	$\pm 0,49$	0,27	$\pm 0,55$	1,12	$\pm 0,76$

A Tabela 15 demonstra a severidade da erosão nas estradas de Bruacas, e Furnas quando realizada a aplicação de água residuária pelos equipamentos BA, TP e quando não foi realizada nenhuma aplicação (NA). Sendo assim, verificou-se as maiores médias de baixa severidade quando não foi realizada aplicação de água residuária, seguido da aplicação utilizando o equipamento BA, sendo 100,00% ($\pm 0,00$) na estrada de Bruacas e 98,67% ($\pm 0,11$) na estrada de Furnas em NA. TP proporcionou os piores resultados para esta patologia, sendo que se observou 11,00% ($\pm 0,45$) e 18,00% ($\pm 0,38$) de média severidade nas estradas de Bruacas e Furnas, respectivamente. Ainda, houve alta severidade 2,67 ($\pm 0,16$) na estrada de Furnas com aplicação utilizando TP.

Tabela 15. Porcentagem e desvio padrão (DP) da severidade da erosão das estradas de Bruacas e Furnas para os tratamentos sem nenhuma aplicação (NA) e aplicação de água residuária do processamento da cana-de-açúcar utilizando os equipamentos barriga d'água (BA) e tanque pipa (TP).

Severidade	BA		NA		TP	
	(%)	DP	(%)	DP	(%)	DP
Bruacas						
Baixo	99,33	$\pm 0,08$	100,00	$\pm 0,00$	88,33	$\pm 0,32$
Médio	0,67	$\pm 0,08$	0,00	$\pm 0,00$	11,67	$\pm 0,32$
Alto	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
Furnas						
Baixo	97,33	$\pm 0,16$	98,67	$\pm 0,11$	79,33	$\pm 0,41$
Médio	1,33	$\pm 0,11$	1,33	$\pm 0,11$	18,00	$\pm 0,38$
Alto	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	2,67	$\pm 0,16$

É importante que sejam realizados estudos sobre diferentes lâminas de aplicação de água residuária pelo equipamento barriga d'água na conservação de estradas não pavimentadas, uma vez que em baixa quantidade pode gerar aumento na nuvem de poeira e a aplicação em excesso pode provocar escoamento superficial da água sobre a superfície das estradas de terra, carreando partículas do solo, o que conseqüentemente contribui para sua degradação.

Visto a importância das estradas de terra para o funcionamento do país, pelo fato de promover o escoamento de mercadorias, e especificadamente no caso de Usinas para o tráfego de máquinas e implementos utilizados em todos processos de produção inclusive no transporte da cana-de-açúcar, constatou-se neste estudo, pelas análises das patologias das estradas de Bruacas e Furnas que o tratamento baseado na aplicação de água residuária utilizando o equipamento modificado denominado barriga d'água, pode ser utilizado como forma de intervenção para garantir a manutenção das estradas não pavimentadas.

Contudo, o experimento demonstrou que com a adaptação do transbordo e barriga d'água foi possível obter maior eficiência na manutenção das estradas bem como associar duas atividades em uma só. Ainda, de acordo com Baesso e Gonçalves (2003), a manutenção das estradas de terra deve ser realizada frequentemente e de maneira adequada, para que se possa mantê-las em bons estados de tráfego por longo prazo e diminuir os custos de reconstrução, com isso as estradas apresentarão boa capacidade de suporte e ótimas condições de aderência e rolamento, que são as características técnicas fundamentais que uma estrada não pavimentada deve conter, segundo Nunes (2003).

Com a presente pesquisa foi possível apresentar um equipamento adaptado (barriga d'água) para a manutenção eficiente de estradas não pavimentadas em que há tráfego de máquinas e equipamentos de grande porte, como é o caso das usinas de cana-de-açúcar.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de água residuária utilizando o equipamento adaptado (barriga d'água) proporcionou a melhor conservação das estradas de Bruacas e Furnas durante os seis dias de experimentação, baseado nas patologias nuvem de poeira, buraco/panela, trilha de roda, segregação de agregado e erosão. Ainda, por base na redução de uma atividade, a utilização do equipamento barriga d'água se torna mais viável com relação à utilização do tanque pipa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. A. N. Características geotécnicas de estradas não pavimentadas do município de Bauru/SP. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas - Campinas, São Paulo, 2009.

ALVES, P. R. L.; NATAL-DA-LUZ, T.; SOUSA, J. P.; CARDOSO, E. J. Ecotoxicological characterization of sugarcane vinasses when applied to tropical soils. *Science of the Total Environment*, v. 526, p. 222-232, 2015.

AMATO, F.; ESCRIG, A.; SANFELIX, V.; CELADES, I.; RECHE, C.; MONFORT, E.; QUEROL, X. Efeitos da água e da CMA na mitigação da ressuspensão industrial da poeira nas estradas. *Ambiente atmosférico*, v. 131, p. 334-340, 2016.

ANA - Agência Nacional de Águas. Processo produtivo de Cana-de-açúcar. 2012. Disponível em <http://www3.ana.gov.br/>. Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

BAESSO, C.; GONÇALVES, F. Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção. Departamento de Estradas e Rodagens. Santa Catarina. 2003.

BENEVIDES, Carolina. No Brasil, 80% das estradas não contam com pavimentação. *Journal O Globo*. Globo, São Paulo, Brasil, v. 23, 2014.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, Norma Técnica P 4.231, 12p., 2005.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. Anuário CNT do transporte – estatísticas consolidadas 2017. Brasília: CNT, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? 2017. 160p. Brasília: CNT, 2017.

CRAIDE, S., Extensão de rodovias pavimentadas cresceu 23% nos últimos 15 anos, diz CNT. Agência Brasil. 2016. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-05/extensao-de-rodovias-pavimentadas-cresceu-23-nos-ultimos-15-anos-diz-cnt>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

CRUZ, A. V. da., Estradas vicinais: abordagem pedológica, geotécnica, geométrica e de serventia de dois trechos rodoviários não pavimentados no campus da UFV – MG. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

EATON, R. A., BEAUCHAM, R. E. (1992). Unsurfaced road maintenance management (No. CRREL-SR-92-26). Cold regions research and engineering lab hanover NH.

EATON, R. A., GERALD, S., CATE, D. W. Rating unsurfaced roads: A field manual for measuring maintenance problems. Cold regions research and Engineering lab Hanover NH. n. CRREL-SR-87-15; 1987.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas de produção. Brasília, DF, 2003. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistemas de Produção, 7. Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_82_22122006154841.html Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

GONGÓRA, I. A. G. Utilização de geossintéticos como reforço de estradas não pavimentadas: Influência do tipo de reforço e do material de aterro. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil e Ambiental), Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

LOURENZANI, W. L.; CALDAS, M. M. Mudanças no uso da terra decorrentes da expansão da cultura da cana-de-açúcar na região oeste do estado de São Paulo. *Ciência Rural*. Universidade Federal de Santa Maria, v. 44, n. 11, p. 1980-1987, 2014.

MARTIN, P. S. Determinação do potencial de perda de solo através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para priorização de estradas rurais no município de Ouro Verde/SP. 2018, 174 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia), Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, São Paulo, 2018.

MESQUITA FILHO, A. Diagnóstico do estado de estradas não pavimentadas atendidas pelo projeto de desenvolvimento sustentável microbacias II: O caso do município de Santa Isabel – SP – Brasil. 2018. 100 f. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2018.

MUNCHEN, J. V. O transporte de cargas no Brasil e sua importância para a economia. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso - (Curso de Ciências Econômicas) Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí 2015.

NUNES, T. L. Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso das redes neurais artificiais: Trecho de Aquiraz – CE. 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

ORTEGÓN, G. P.; ARBOLEDA, F.M.; CANDELA, L. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia), *Science of the Total Environment*, v.539, p. 410-419, 2016.

PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 204 p.

ROCCAL, J. C.; ROMEIRO E SILVA, P. A. Adequações de erosões em estradas rurais: Causas, consequências e problemas na manutenção e conservação de estrada rural. 2. ed. São Paulo: Tavanti, 2016.

SADEGHI, S. H. R; SHARIFI MOGHADAM, E.; DARVISHAN, K.; Effects of subsequent rainfall events on runoff and soil erosion components from small plots treated by vinasse. *Catena*, v. 138, pp.1-12, 2018.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais. São Paulo, DER/SP, 2012.

SIFAEG - Sindicato da Indústria de Fabricação de Etanol do Estado de Goiás. Informe. SIFAEG. Números do Setor: Desempenho do setor sucroenergético de Goiás. Site. 2018.

SILALERTRUKSA, T.; PONGPAT, P.; GHEEWALA, S.H.; Life cycle assessment for enhancing environmental sustainability of sugarcane biorefinery in Thailand, *Journal of Cleaner Production*, v. 108, pp. 1-12, 2016.

SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M. PEREIRA, F. A. R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.1, p.38-43, 2014.

SILVA, W. F. Da agroindústria canavieira ao setor sucroenergético em Goiás: a questão técnico-gerencial e as estratégias de controle fundiário. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.