



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

OTÁVIO TAVARES BOTREL

**APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA SELEÇÃO DE SÍTIO PARA
INSTALAÇÃO DE UMA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO PARA TRATAMENTO DE
ESGOTO EM MOSSORÓ-RN**

Mossoró/RN
(2018)

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

TBOTR Tavares Botrel, Otávio.
ELa APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA SELEÇÃO DE
SÍTIO PARA INSTALAÇÃO DE UMA LAGOA DE
ESTABILIZAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO EM
MOSSORÓRN / Otávio Tavares Botrel. - 2018.
51 f. : il.

Orientador: Paulo Cesar Moura da Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Geoprocessamento. 2. Sistema de informações
geográficas. 3. Tratamento de Esgoto. I. Cesar
Moura da Silva, Paulo, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

OTÁVIO TAVARES BOTREL

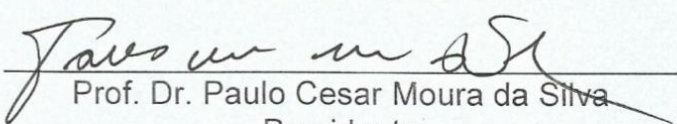
**APLICAÇÃO DE GEOTECNOLIGIAS NA SELEÇÃO DE SÍTIO PARA
INSTALAÇÃO DE UMA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO PARA TRATAMENTO DE
ESGOTO EM MOSSORÓ-RN**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Centro de Engenharias para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

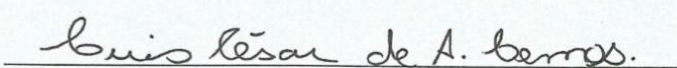
Orientador: Prof. Paulo Cesar Moura Da
Silva.

Defendida em: 19/04/2018.

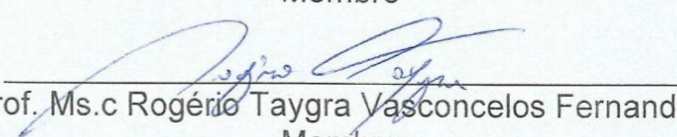
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Paulo Cesar Moura da Silva
Presidente



Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho
Membro



Prof. Ms.c Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ser a força, luz e fé que guia minha caminhada e sem o qual não estaria concluindo mais essa etapa de minha vida.

Agradeço aos meus pais, Antônio João Botrel e Rejane Tavares Botrel, por sempre terem me guiado e proporcionado uma educação de qualidade, por me servirem como melhor exemplo de esforço, determinação e responsabilidade.

Agradeço a minha irmã Helena Tavares Botrel, por ser meu motivo de alegria todos os dias.

Agradeço aos meus colegas de curso, amizades verdadeiras, por todo o companheirismo e suporte oferecido durante o curso.

Agradeço a Ana Alice da Silva Câmara, por todo apoio, compreensão, paciência e amor.

Por último, agradeço aos mestres, professores, em especial ao meu orientador Paulo César Moura da Silva, que foram os responsáveis pelo meu crescimento acadêmico, essenciais para o meu aprendizado. A todos eles, os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

A utilização do geoprocessamento na gestão de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) pode facilitar a execução de implantação, do controle e do monitoramento de qualquer um destes sistemas. Lagoas de estabilização são sistemas de tratamento de esgoto amplamente utilizados em cidades de pequeno e médio porte. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi definir o melhor sítio para a instalação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do tipo lagoa de estabilização por meio da aplicação do uso de geotecnologias no município de Mossoró-RN. Para atingir este objetivo, foi realizada inicialmente uma extração de áreas tecnicamente ou legalmente impróprias para instalação de uma ETE e utilizada como máscara sobre o mapa do município. Após a aplicação da máscara, foi feita uma análise multicritério em 50 sítios dispostos de forma aleatória dentro da área remanescente e, os dados necessários para a análise foram obtidos e tratados por meio de ferramentas de geoprocessamento. Dos 50 sítios analisados, houve destaque para um sítio que atendeu de melhor forma os critérios impostos no trabalho para instalação da ETE. Por final, foi feita uma interpolação dos dados obtidos nos sítios para toda a área do município de Mossoró.

Palavras-chave: Tratamento de Esgoto. Geoprocessamento. Sistema de informações geográficas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Total de municípios e percentual de municípios com coleta e tratamento de esgoto, segundo as unidades da federação	16
Tabela 2 - Altitude média dos Sítios	38
Tabela 3 - Declividade média dos sítios	38
Tabela 4 - Distância dos sítios até o centro gerador dos esgotos	39
Tabela 5 - Distância dos sítios até os corpos receptores	40
Tabela 6 - Classes dos sítios para cada critério	42
Tabela 7 - Somatório dos pesos de cada critério multiplicados pelos parâmetros da classe de cada sítio e susceptibilidade de cada sítio para instalação da ETE.	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios para análise prévia dos locais de instalação.....	28
Quadro 2 - Critérios para localização de lagoas de estabilização.	29
Quadro 3 - Pesos adotados para os critérios	31
Quadro 4 - Limites das classes para cada critério.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema ilustrativo de lagoa anaeróbia.	18
Figura 2 - Esquema ilustrativo de lagoa aeróbia.	18
Figura 3 - Esquema ilustrativo de lagoa de maturação	19
Figura 4 - Subsistemas de um SIG	21
Figura 5 - Planos de informação georreferenciados.....	22
Figura 6 - Mapa do Estado do Rio Grande do Norte com a localização das ETE's estudadas por Pires et al. (2010)	23
Figura 7 - Mapa de localização Mossoró-RN	25
Figura 8 - ETE de Cajazeiras, Mossoró	27
Figura 9 - Buffer de 500m na zona urbana de Mossoró	33
Figura 10 - Buffer de 1000m na zona urbana de Mossoró	34
Figura 11 - Buffer de 150 metros dos principais corpos d'agua de Mossoró.....	35
Figura 12 - Buffer de 150 metros das principais rodovias de Mossoró.....	36
Figura 13 - Pontos gerados sobre a área de estudo	37
Figura 14 - Sítio com maior susceptibilidade para instalação da ETE.....	44
Figura 15 - Mapa de interpolação da susceptibilidade de instalação da ETE	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL.....	15
3.2	LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	17
3.2.1	Classificação das lagoas de estabilização	17
3.3	GEOPROCESSAMENTO	19
3.3.1	Geoprocessamento no Brasil	20
3.3.2	Sistemas de informações geográficas.....	21
3.4	UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	22
4	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	25
4.1	ÁREA DE ESTUDO	25
4.2	ANÁLISE PREVIA DOS LOCAIS DE INSTALAÇÃO	28
4.3	DEFINIÇÃO DOS SÍTIOS.....	28
4.4	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS	28
4.5	LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES E INICIO DA FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	29
4.5.1	Distância da geração dos esgotos	29
4.5.2	Distância dos pontos até o corpo receptor	30
4.5.3	Altitude média dos sítios	30
4.5.4	Declividade média dos sítios	31
4.6	DEFINIÇÃO DOS PESOS	31
4.7	DEFINIÇÃO DAS CLASSES DOS SÍTIOS PARA CADA CRITÉRIO	31
4.8	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE SUSCEPTIBILIDADE DE INSTALAÇÃO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NOS SÍTIOS.	32
4.9	INTERPOLAÇÃO DOS PARÂMETROS NA ÁREA DO MUNICÍPIO	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	EXCLUSÃO DAS ÁREAS INAPROPRIADAS	33

5.2 GERAÇÃO DOS SÍTIOS E EXTRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	36
5.3 SEPARAÇÃO DOS SÍTIOS EM CLASSES POR CADA CRITÉRIO.....	40
5.4 SUSCEPTIBILIDADE DOS SÍTIOS PARA INSTALAÇÃO DA ETE.	43
5.5 INTERPOLAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NOS SÍTIOS PARA TODA A ÁREA ESTUDADA.....	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICES.....	50
APÊNDICE A - COORDENADAS DOS SÍTIOS (UTM ZONA 24S).....	50
ANEXOS	3
ANEXO A - SISTEMA DE ESGOTO EXISTENTE EM MOSSORÓ	3

1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana e o crescimento populacional geram impactos no ambiente que podem ser acentuados negativamente pela falta de planejamento. De acordo com Salles, Grigio e Silva (2013), o modo de vida da sociedade contemporânea influencia diretamente e indiretamente a qualidade dos recursos naturais.

Segundo Almeida et al. (2017), na atualidade, órgãos ambientais tem crescentes exigências quanto a qualidade ambiental e estas exigências tem impacto no setor de serviços de saneamento público e privado. Alves (2003) destacou que as exigências ambientais, conforme vão se atualizando, devem ser inclusas nas ferramentas da atualidade, dando um melhor suporte na avaliação e tomada de decisão.

Com o avanço da tecnologia tornou-se possível a criação de complexos bancos de dados que dão suporte à diversas pesquisas geográficas, onde cada profissional aplica a ferramenta à sua área (VIDAL; MASCARENHAS; SILVA, 2013).

De acordo com Alves (2003), softwares conhecidos como Sistemas de informações geográficas (SIG), são utilizadas por instituições acadêmicas, privadas e governamentais para o auxílio no diagnóstico de áreas em estudo e elaboração de alternativas.

Lagoas de estabilização são métodos de tratamento de esgoto amplamente utilizados em cidades de pequeno e médio porte. Considerando a área necessária para instalação de lagoas de estabilização, Silva et al. (2009) citam que a limitação na implantação de sistemas de lagoas constitui-se na necessidade do uso de grandes áreas.

Quando bem planejada, esta eficiente alternativa utilizada para o tratamento de esgoto, reduz de forma significativa os custos de manutenção e operação (TRUPPEL, 2002). No entanto, obras de lagoas de estabilização costumam gerar diversos conflitos ambientais, legais, técnicos e econômicos, tal como os maus odores exalados que podem causar incômodo às populações urbana e rural. Portanto, a escolha de locais adequados para a instalação de tais obras deve ser criteriosa. Neste sentido, a utilização de recursos de geoprocessamento, como o sensoriamento remoto e a modelagem digital do terreno, podem auxiliar na escolha dos sítios mais aptos para a instalação das lagoas de estabilização.

Sabendo da subjetividade da seleção de locais para instalação de estações de tratamento de esgoto, torna-se necessária a aplicação de uma metodologia multicritério que busque uma solução de compromisso, atendendo aos diversos objetivos ambientais, sociais, técnicos e econômicos de forma otimizada.

A cidade de Mossoró, localizada no semiárido potiguar, passou por um acelerado crescimento econômico e populacional. Segundo Salles, Grigio e Silva (2013) a interação entre elementos do setor econômico como a atividade petrolífera, salineira e fruticultura tiveram forte influência neste crescimento.

O município possui lagoas de estabilização muito próximas às zonas habitáveis, gerando odor e riscos à saúde pública. Portanto, a necessidade de escolha criteriosa de grandes áreas localizadas em locais estratégicos, torna essenciais investigações que busquem avaliar as áreas com maior potencial para a instalação de novas estações de tratamento de esgoto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Definir o melhor sítio para a instalação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do tipo lagoa de estabilização por meio da aplicação de Sistemas de Informações Geográficas no município de Mossoró-RN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

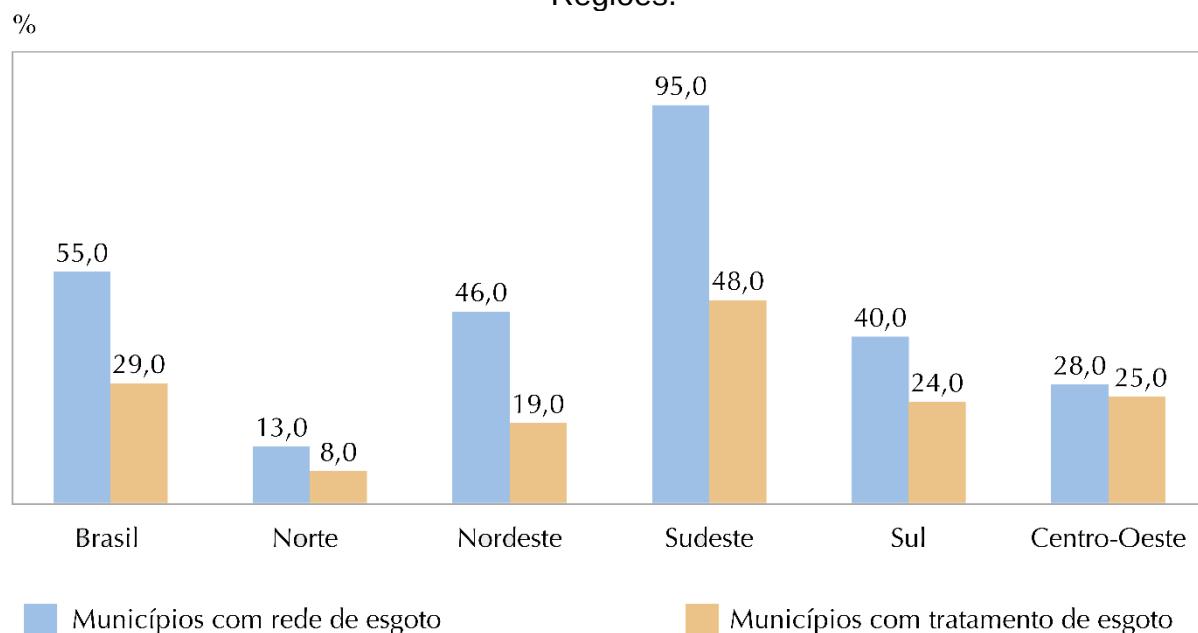
- Definir critérios para a avaliação do sítio de instalação da ETE;
- Avaliar diversas áreas de Mossoró-RN quanto às suas aptidões para instalação de uma lagoa de estabilização;
- Avaliar a aplicação do Geoprocessamento na identificação de sítios para instalação de lagoas de estabilização.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL

A situação do Brasil em relação a tratamento de esgotos não apresenta números favoráveis. De acordo com o último censo da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2010), do total de 5564 municípios no Brasil em 2008, apenas 3069 possuíam rede coletora de esgoto e 1587 possuíam tratamento de esgoto. O Gráfico 1 mostra os percentuais de municípios que recebem tratamento e rede coletora de esgoto em cada região do país.

Gráfico 1- Percentual de municípios que coletam e tratam esgoto, por Grandes Regiões.



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Também é apresentado pelo Gráfico 1 a grande desigualdade entre as regiões, onde o Sudeste tem o maior percentual (95%) de municípios com rede coletora de esgoto em enorme discrepância com a região Norte, que tem apenas 3% de seus municípios contemplados com rede coletora de esgotos. Já em relação a municípios com tratamento de esgoto, a discrepância também existe, porém, nenhuma região do país atingiu números satisfatórios, sendo a maior porcentagem de municípios com tratamento de esgoto a da região Sudeste, com 48%, seguida das regiões Centro-Oeste com 25%, Sul com 24%, Nordeste com 19%, e a região Norte, com o menor percentual, apresentando apenas 8%.

A discrepância entre estados de uma mesma região também pode ser notada ao observar a Tabela 1, que mostra os estados da Região Nordeste com seus respectivos percentuais de municípios contemplados por redes coletoras de esgotos e tratamento de esgotos.

Tabela 1 - Total de municípios e percentual de municípios com coleta e tratamento de esgoto, segundo as unidades da federação

Unidades da Federação	Municípios		
	Total	Percentual	
		Com coleta de esgoto	Com tratamento de esgoto
Brasil	5564	55,0	29,0
Nordeste	1793	46,0	19,0
Maranhão	217	6,0	1,0
Piauí	223	4,0	2,0
Ceará	14	70,0	49,0
Rio Grande do Norte	167	35,0	23,0
Paraíba	223	73,0	20,0
Pernambuco	185	88,0	28,0
Alagoas	102	41,0	17,0
Sergipe	75	35,0	9,0
Bahia	417	51,0	20,0

Fonte: Adaptado de IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Entre os nove estados nordestinos, mostrados na Tabela 1, pode-se observar que apenas três apresentam percentuais acima da média nacional de municípios com coleta de esgoto (55%), sendo eles Pernambuco com 88%, seguido da Paraíba com 73% e Ceará com 70%, que apresentam números completamente desiguais quando comparados com Piauí e Maranhão que apresentam 4% e 6% respectivamente. Estes números se tornam ainda mais insatisfatórios quando se trata do percentual de cidades com tratamento de esgoto. Neste quesito, o Maranhão apresenta 2% e o Piauí apresenta apenas 1% de seus municípios contemplados com tratamento de esgotos.

Além da quantidade de estações de tratamento de esgotos no Brasil ser insatisfatória, a qualidade das mesmas também é questionável segundo Pinho et al. (2017), pois existem alguns compostos orgânicos presentes em concentrações da ordem de micrograma ou nanograma por litro que podem exercer efeito tóxico, que nem sempre são previstos nos sistemas adotados no Brasil.

3.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Em um conceito mais amplo, Silva Filho (2007) define lagoas de estabilização como biorreatores, de águas lânticas, relativamente rasas, construídas para armazenar resíduos específicos, como os domésticos e industriais, e devem resultar na estabilização da matéria orgânica através de processos biológicos. De acordo com a Norma Técnica da Sabesp (NTS) 230 (2009) o termo “estabilização” significa tornar o “lodo” menos susceptível às ações de microrganismos.

De acordo com Netto (1985) existem basicamente cinco tipos de lagoas de estabilização: anaeróbias, facultativas, aeróbias, de maturação ou aeradas.

Dentre as vantagens das lagoas de estabilização, pode-se citar o excelente desempenho quanto à remoção de matéria orgânica e sólidos, o baixo custo de implantação e manutenção e a capacidade de trabalhar com sobrecargas hidráulicas e orgânicas (SOUSA et al., 2014).

Os principais problemas que devem ser considerados na fase de implantação de uma lagoa de estabilização são aqueles relacionados aos efeitos provocados pelos ventos, a má distribuição do esgoto afluente, formação de curto circuitos e vegetação emergente (NETTO, 1985).

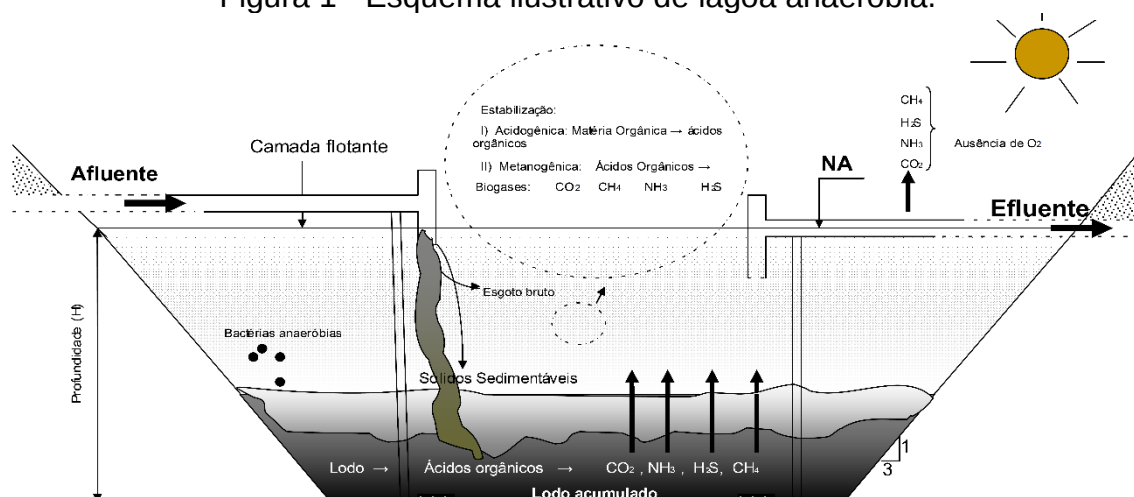
3.2.1 Classificação das lagoas de estabilização

Segundo Silva Filho (2007), lagoas de estabilização tem sua classificação definida de acordo com a atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica, sendo classificadas em: anaeróbias, facultativas e de maturação ou aeróbias.

As lagoas anaeróbias são responsáveis pelo tratamento primário dos esgotos, pois são projetadas para receber cargas orgânicas elevadas, assim impedindo a existência de OD (oxigênio dissolvido) na água, portanto, a matéria orgânica é digerida anaerobiamente (TAKEUTI, 2003).

Von Sperling (1996), citado por Takeuti (2003), profere que as lagoas anaeróbias têm profundidades de 4 metros a 5 metros e apresentam tempo de detenção hidráulica de pelo menos 3 dias, tornando assim o processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica com pouco odor e previsão para acúmulo de lodo. A Figura 1 mostra um esquema de uma lagoa de estabilização anaeróbia.

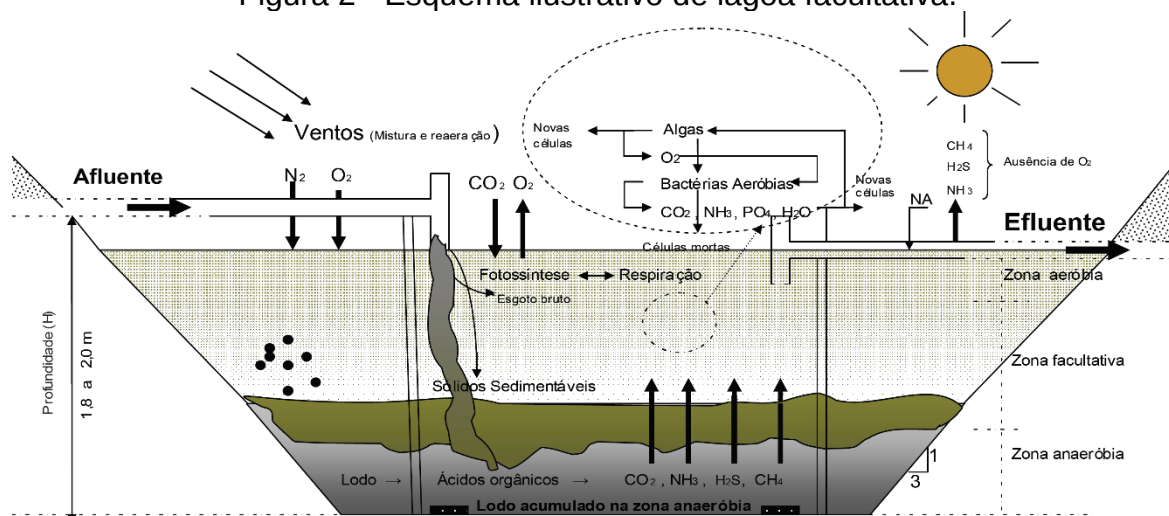
Figura 1 - Esquema ilustrativo de lagoa anaeróbia.



Fonte: Takeuti (2003).

Outro tipo de lagoa de estabilização são as lagoas facultativas. Medri (1997) definiu estas lagoas como reatores que podem ser dimensionados com o objetivo de receber águas residuárias brutas, sendo neste caso denominada lagoa facultativa primária, tanto quanto com o objetivo de receber um efluente que tenha sofrido um tratamento anterior, sendo neste caso denominada lagoa facultativa secundária. Estas lagoas funcionam de forma aeróbia através da fotossíntese das algas sobre a luz solar, assim, tais lagoas não podem ter grandes profundidades que impeçam a luz solar de atingir as algas. A Figura 2 ilustra uma lagoa facultativa.

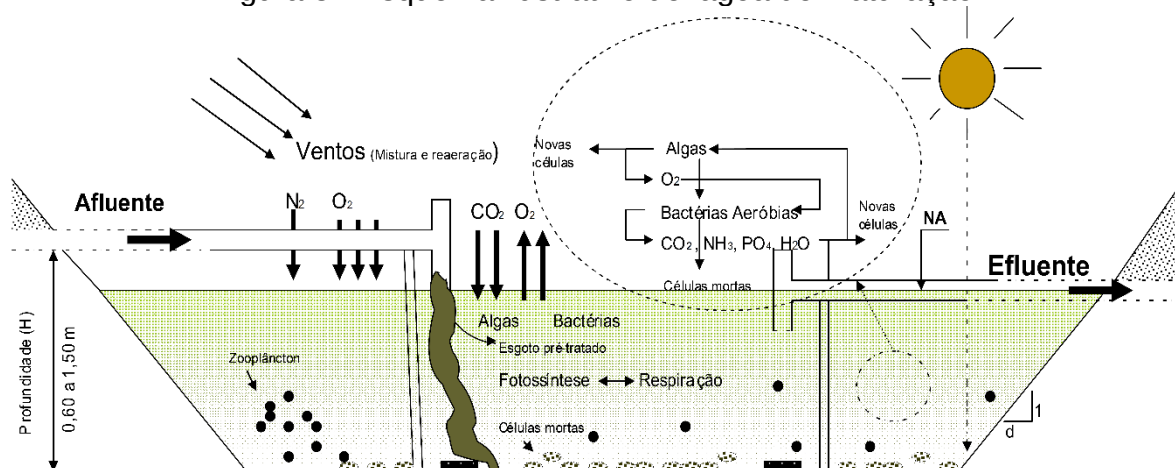
Figura 2 - Esquema ilustrativo de lagoa facultativa.



Fonte: Takeuti (2003).

Além das lagoas anaeróbias e facultativas, existe a chamada lagoa de maturação. O principal objetivo das lagoas de maturação é a remoção de patógenos e nutrientes através da desinfecção do efluente de lagoas de estabilização (TAKEUTI, 2003). Para o bom funcionamento, segundo Medri (1997), as lagoas de maturação são rasas devido a necessidade de sustentar as condições aeróbias. Nestas lagoas, o desempenho é diretamente relacionado ao oxigênio produzido pelas algas e pela turbulência da água causada por este vento. A Figura 3 apresenta o esquema ilustrativo de uma lagoa de maturação.

Figura 3 - Esquema ilustrativo de lagoa de maturação



Fonte: Takeuti (2003).

3.3 GEOPROCESSAMENTO

A coleta e tratamento de informações geográficas são de extrema importância para a sociedade. Porém, em um passado recente, isto era feito de uma forma mais precária, sendo utilizado apenas documentos e mapas em papel, impossibilitando a interação entre informações de diferentes fontes. Através do desenvolvimento da tecnologia, tornou-se possível através do geoprocessamento representar estas informações em ambiente digital (CAMARA E DAVIS, 2001; TEIXEIRA, 2015).

Câmara e Monteiro (2001), definiram o trabalho com a geoinformação como a utilização de computadores como instrumentos de dados espacialmente referenciados.

Teixeira (2015) destaca que o geoprocessamento tem grande importância na análise ambiental, sendo muito utilizada para o monitoramento de diversos fatores

como a cobertura vegetal, uso e ocupação do solo, ocupação desordenada e irregular urbana, poluição da água e níveis de erosão.

Câmara e Davis (2001) definem a importância do geoprocessamento com a seguinte frase de efeito “*Se onde é importante para seu negócio, então Geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho*”.

Com o objetivo de diminuir os custos com a produção de mapas, segundo Teixeira (2015), ocorreram na década de 1950 na Inglaterra e nos Estados Unidos as primeiras tentativas de automatizar dados com características espaciais, porém, devido a insuficiência tecnológica na época, estes sistemas desenvolvidos não poderiam ser classificados como sistemas de informação.

3.3.1 Geoprocessamento no Brasil

Através de análises que combinam o meio físico, biótico e socioeconômico, os estudos ambientais têm sido registrados no Brasil por profissionais de diferentes áreas desde a década de 30 (ZAIDAN, 2017).

Em um país como o Brasil, em que existe uma grande deficiência em relação a informações adequadas para tomada de decisões acerca de problemas urbanos, o geoprocessamento oferece um enorme potencial e com baixo custo (TEIXEIRA, 2015).

Segundo Câmara e Davis (2001), o geoprocessamento foi introduzido no Brasil graças ao professor da UFRJ, Jorge Xavier da Silva, que no início da década de 80 depositou energia para divulgação e formação pessoal em relação ao geoprocessamento, o que tornou possível a vinda do responsável (Dr. Roger Tomlinson) pela criação do primeiro SIG, o “*Canadian Geographical Information System*”, ao Brasil em 1982.

Um dos maiores avanços para a tecnologia da geoinformação no Brasil aconteceu em 1984, quando o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) criou o DPI (Divisão de Processamento de Imagens), um grupo especial para o desenvolvimento de tecnologias de geoprocessamento e sensoriamento remoto. O DPI foi responsável pelo desenvolvimento de diversos softwares, estando entre eles o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema de Informações Geográficas) para ambiente PC/DOS, que foram de suma importância para diversos projetos ambientais, e em 1991, foi criado o SPRING (Sistema para Processamento

de Informações Geográficas), que em 1997 passou a ser distribuído via internet, podendo ser obtido gratuitamente (CÂMARA E DAVIS, 2001).

3.3.2 Sistemas de informações geográficas

Sistemas de informações geográficas, segundo Gomes et al. (2001), são capazes de armazenar dados provenientes de diferentes fontes, integra-los em uma só plataforma e gerar informações em diversos formatos, como mapas temáticos, relatórios e gráficos.

A redução dos conceitos de uma disciplina a algoritmos e bancos de dados para armazenamento e tratamento dos dados geográficos tornam os SIGs uma ferramenta interdisciplinar, permitindo a interação entre diferentes disciplinas com o intuito de coleta, tratamento, consulta, recuperação e visualização de informações geográficas (CÂMARA E MONTEIRO, 2004; RIBEIRO; SILVA; BARROSO, 2016).

Em suma, Zaidan (2017) divide os SIG's em quatro subsistemas, como mostra Figura 4.

Figura 4 - Subsistemas de um SIG



Fonte: Zaidan (2017).

De acordo com Câmara e Davis (2001), os primeiros SIGs surgiram no Canadá na década de 1960, e faziam parte de um programa do governo de criação de um inventário de recursos naturais, porém, de acordo com Teixeira (2015), estes sistemas eram de difícil manipulação pois não existiam monitores gráficos e computadores eram extremamente caros, além da mão de obra ser extremamente especializada e cara.

Teixeira (2015) também cita que outra grande limitação vinha por parte dos hardwares, que tinham uma baixa velocidade de processamento e capacidade de armazenamento muito pequena. Então, na década de 1970, quando foram desenvolvidos novos recursos de hardwares e sua viabilidade econômica começou a crescer, os sistemas começaram a se tornar também mais viáveis, sendo a partir

desta época que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) começaram a aparecer.

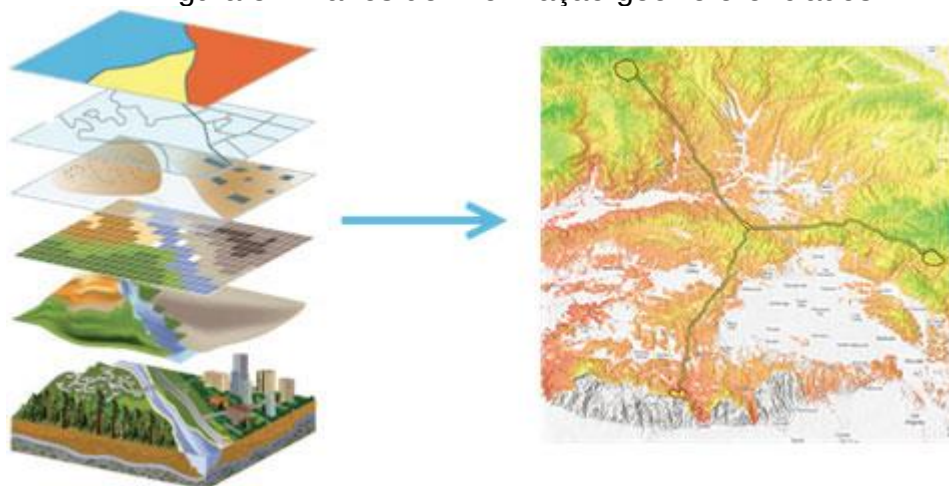
O potencial dos SIG's em desenvolver novas informações a partir de um banco de dados geográficos é um de seus aspectos mais importantes, pois este potencial é suma importância para aplicações como: ordenamento territorial, estudos de impactos ambientais, e casos em que a informação necessita ser deduzida a partir de levantamentos básicos (HIGASHI, 2006).

Higashi (2006) ressalta que um dos maiores desafios do uso das geotecnologias é a combinação de dados afim de gerar novas informações, pois os procedimentos metodológicos de análise geográfica são em sua grande maioria inadequados para o uso no ambiente computacional.

3.4 UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A utilização do geoprocessamento na gestão de ETE's pode facilitar a execução de implantação, do controle e monitoramento de qualquer um destes sistemas, e tem como suas principais vantagens a facilidade na obtenção e tratamento dos dados necessários, tanto quando o cruzamento das informações obtidas, exemplificada na Figura 5.

Figura 5 - Planos de informação georreferenciados.



Fonte: http://www.lamolina.edu.pe/eventos/agricola/2016/analisis_espacial/#. Acesso em 18 mar. 2018.

O geoprocessamento aplicado à gestão de Estações de Tratamento de Esgotos no Rio Grande no Norte foi utilizado por Pires *et al.* em 2010, com o intuito de criar um banco de dados associado ao software ARCGIS para a criação de mapas

contendo as estações de tratamento de esgoto do estado estudadas no trabalho (Figura 6), com ênfase em atributos como eficiência, configuração e destino do efluente tratado. A criação destes mapas objetivou contribuir para gestão e tomada de decisões referentes à condução das ETES do estado do RN. O trabalho de Pires et al. (2010), entrou novamente em pauta no trabalho de Correia, Galvão e Araújo (2014), que particularizou a abordagem de Pires et al. (2010) abrindo uma breve discussão sobre a Lagoa de Estabilização localizada na cidade de Pedro Velho – RN. Correia, Galvão e Araújo (2014) apontaram uma contradição técnica quanto à eficiência do sistema de tratamento de esgoto da cidade de Pedro Velho, uma vez que ao diferenciar as amostras que atestam a adequabilidade da água em bruta e filtrada, foi observado que as mesmas não cumprem os requisitos estabelecidos pela resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), para operação das lagoas.

Figura 6 - Mapa do Estado do Rio Grande do Norte com a localização das ETE's estudadas por Pires et al. (2010).



Fonte: PIRESet *al.*, (2010).

Outro trabalho que utilizou das ferramentas de geoprocessamento para gestão de ETEs foi elaborado por Pontes no ano de 2016. Seu trabalho tinha como objetivo contribuir para a construção de conhecimentos necessários à produção do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para a Unidade de Negócio Baixo Paranapanema – RB, da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Para tal, foram estimadas a geração de lodo de todas as ETEs abrangidas pela área de estudo e através da utilização de sistemas de informações geográficas, foi possível integrar dados de geração de lodo com a distância de do mesmo até seu destino final, tornando-se possível a apresentação de propostas condizentes com as melhorias que podem ser alcançadas no gerenciamento dos resíduos.

Com objetivos semelhantes a da presente pesquisa, Alves (2003) propôs em seu trabalho “Seleção de sitio e tecnologia para Estação de tratamento de esgoto por meio de SIG e métodos multicriteriais. estudo de caso: Paulínia- SP” uma metodologia de planejamento de recursos hídricos, podendo auxiliar assim a resolução de problemas de tomada de decisão, relativos a localização e a definição de tecnologia para Estações de Tratamento de Esgotos. Alves (2003) destacou que a utilização de uma metodologia associando SIG's com métodos multicriteriais melhorou o processo de tomada de decisão para escolha de sítios e tecnologias para ETE, tornando o processo mais completo, eficiente e transparente.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

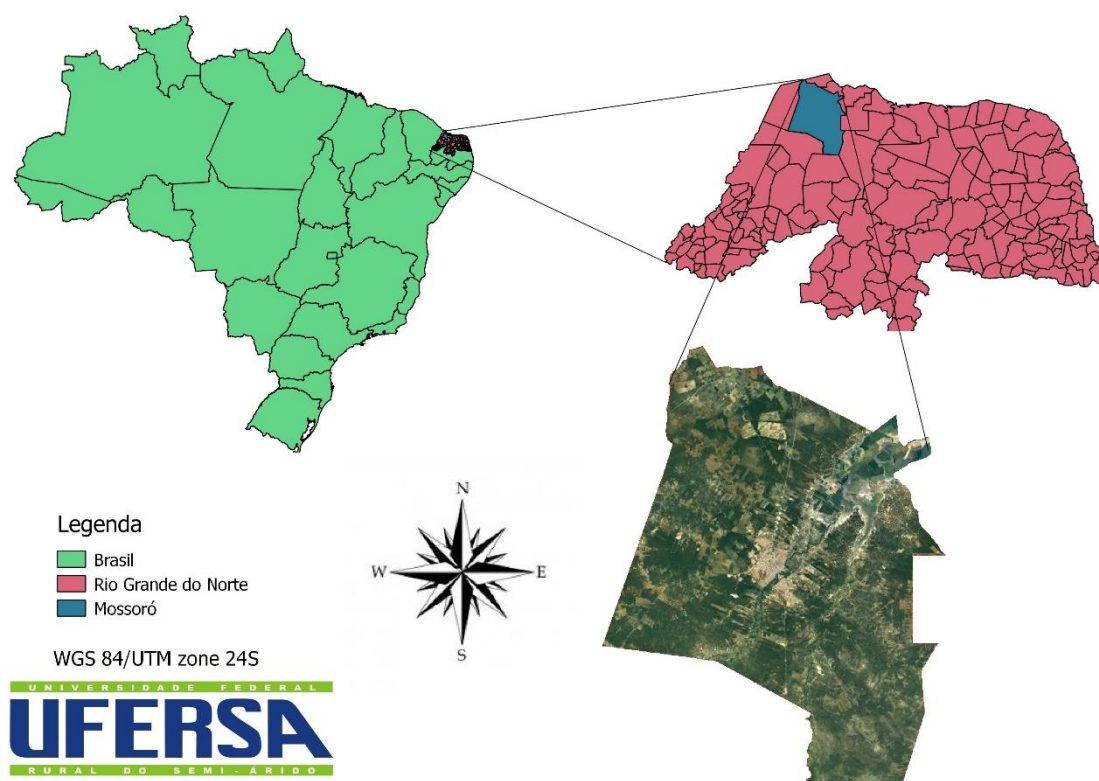
O presente trabalho consiste em definir o local mais apropriado para a instalação de uma nova Lagoa de Estabilização dentro do município de Mossoró – RN através da utilização de geotecnologias, a fim de atender de forma otimizada diversos critérios e requisitos.

Assim, este capítulo descreve minuciosamente as etapas do processo para realização deste estudo.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o IBGE (2017), a cidade de Mossoró (Figura 7), localizada no semiárido potiguar, tem uma área territorial de 2.388,65km² e uma população estimada em 2010 de 259815 habitantes.

Figura 7 - Mapa de localização Mossoró-RN



Fonte: Autoria própria (2018).

O índice de atendimento à população de Mossoró com sistema de esgotamento sanitário, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2016), é de 44,71%.

Para um município do porte de Mossoró, espera-se índices maiores de atendimento à população com esgotamento sanitário, visto que este tipo de serviço tem influência direta na saúde pública, qualidade de vida e desenvolvimento humano (PMM, 2010).

De acordo com a Prefeitura Municipal de Mossoró, no ano de 2010 existiam 5 unidades de tratamento de esgoto no município, a ETE das Cajazeiras, a ETE Vingt-Rosado, a ETE Lagoa das Malvinas, a ETE Marechal Dutra e a ETE Rincão. O esquema do sistema de esgoto existente no município é mostrado no Anexo 1

A ETE das Cajazeiras é a principal unidade de tratamento do município, sendo responsável pelo tratamento de 24,5% do esgoto gerado no município, tratando uma carga DBO 3381,5 kg/dia, com vazão de 83,3l/s (ANA, 2016), e de acordo com notícia da ASSECOM/RN cadastrada no site da Junta Comercial Do Rio Grande do Norte (JUCERN) em 2014, a unidade é composta por 12 lagoas (Figura 8).

Figura 8 - ETE de Cajazeiras, Mossoró



Fonte: Google Earth (2017).

A ETE Vingt-Rosado, composta por lagoas facultativas e anaeróbias, atende um conjunto habitacional e tem vazão 19,4 l/s, sendo responsável por 5,7% do esgoto gerado em Mossoró (ANA, 2016; PMM, 2010).

Também atendendo a um conjunto habitacional, existe a ETE Lagoa das Malvinas, composta apenas por lagoa facultativa, e é responsável pelo tratamento de 2,5% do esgoto gerado no município, com uma vazão de 8,3 l/s (ANA, 2016; PMM, 2010).

A única unidade de tratamento de esgoto no município que não é do tipo lagoa de estabilização é a ETE Marechal Dutra, que utiliza um sistema com 3 fossas + 2 filtros, sendo responsável por 1,9% do esgoto gerado em Mossoró, com vazão de 6,5 l/s (ANA, 2016; PMM, 2010).

A ETE do Rincão é composta por lagoas anaeróbias e facultativas, sendo responsável por 7,4% do esgoto gerado no município, com vazão de 25,3 l/s (ANA, 2016; PMM, 2010).

4.2 ANÁLISE PREVIA DOS LOCAIS DE INSTALAÇÃO

Esta etapa tem como objetivo identificar, dentro do município de Mossoró os locais onde claramente não há possibilidade alguma da implantação de lagoas de estabilização, levando em consideração os critérios mostrados no Quadro 1

Quadro 1 - Critérios para análise prévia dos locais de instalação

Tipo	Critério
Social / Legal	Distância dos centros urbanos
Ambiental / Técnico	Principais corpos d'agua do município
Social / Técnico	Rodovias dentro do município

Fonte: Adaptado de Alves (2003).

Após a identificação dos locais inapropriados foram gerados mapas utilizados como máscaras através do software Qgis versão 2.14.22. Em seguida foram aplicadas as máscaras sobre o mapa de Mossoró, sendo levadas em consideração nas próximas etapas apenas as áreas remanescentes.

4.3 DEFINIÇÃO DOS SÍTIOS

A definição dos sítios foi feita através do Software Qgis versão 2.14.22, onde por meio do mapa gerado na etapa anterior com as áreas de possível instalação da unidade de tratamento de esgoto, foram gerados 50 pontos aleatórios sobre o mapa através da ferramenta “Geração de pontos aleatórios”, localizada no menu “Vetor > Analisar” do software.

Em sequência da geração dos pontos, foi gerado um *Shapefile* onde cada ponto passou a representar uma área correspondente à uma circunferência com 500 metros de raio. Este procedimento se deu através da ferramenta “Buffer”, no menu “Vetor > Ferramentas de geoprocessamento” do Qgis.

4.4 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS

Segundo Silva Filho (2007), é desejável que o local de instalação de uma lagoa de estabilização atenda a vários critérios, porém, não é possível atender a todos, sendo assim necessário ponderar as vantagens e desvantagens.

O Quadro 1, adaptado de Von Sperling (2002) e Alves (2003), apresenta os critérios de escolha das áreas e suas situações favoráveis que serão utilizados para o presente trabalho.

Quadro 2 - Critérios para localização de lagoas de estabilização.

Tipo	Critério	Situação favorável
Econômico	Distância da geração dos esgotos	Quanto mais próximo, menor a distância de transporte dos esgotos
Econômico	Distância do corpo receptor	Quanto mais próximo, menor a distância de transporte dos esgotos tratados
Econômico	Declividade	Quanto menor a declividade, menor o custo de movimentação de terra e risco de erosão
Econômico	Altitude	Altitudes menores que a dos pontos de descarga podem evitar a necessidade de bombeamento.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002); Alves (2003).

4.5 LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES E INICIO DA FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Com os critérios definidos, o próximo passo foi obter as informações geográficas referente aos critérios do item anterior, com o intuito de organizar as informações em forma de banco de dados.

4.5.1 Distância da geração dos esgotos

Para a distância dos sítios até o ponto de geração dos esgotos, foi considerado como local de geração o centroide geométrico do bairro centro, que é o bairro com maior densidade populacional. A distância dos sítios até o local de geração foi calculada através software Qgis, com a ferramenta “Calculadora de Campo”, utilizado a equação da distância entre dois pontos em um plano (Equação 1).

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

onde:

x1: coordenada x do primeiro ponto;

x2: Coordenada x do segundo ponto;

y1: Coordenada y do primeiro ponto;

y2: Coordenada y do segundo ponto.

4.5.2 Distância dos pontos até o corpo receptor

Para o cálculo da distância de cada ponto até o corpo receptor, foi considerado apenas o Rio Apodi como corpo receptor. O cálculo se deu através da ferramenta “Matriz de distância” no menu “Vetor > Analisar” do software Qgis versão 2.14.22. A ferramenta “Matriz de distância” calcula a distância entre pontos, então tornou-se necessária a transformação do *Shapefile* dos rios de linha para uma sequência de vários pontos. O *Shapefile* foi transformado em uma sequência de pontos com distância de 5 metros.

4.5.3 Altitude média dos sítios

Na análise da altitude, foi considerada a altitude média de cada ponto estudado. Para o cálculo desta altitude média, foi utilizado um arquivo do tipo Modelo Numérico do Terreno (MNT) disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*), através do site “*Earth explorer*”.

Para obtenção das altitudes médias separadas de cada ponto o *Shapefile* dos buffers dos sítios foi dividido em vários *shapes*, um para cada sítio, através da ferramenta “Dividir camada vetorial”, localizada menu “Vetor > Gerenciar dados” do Qgis.

Após a separação dos sítios em camadas vetoriais isoladas, os *Shapefiles* foram importados no Software SPRING Versão 5.5.2., juntamente com o arquivo MNT, adquirido através do *USGS Earth Explorer*.

Através da ferramenta “Recortar plano de informações” no menu “MNT” do SPRING, o MNT foi recortado utilizando como mascara um ponto de cada vez, sendo gerado um arquivo MNT para cada sítio.

Para a obtenção da altitude média de cada ponto foi feita uma análise exploratória utilizando o SPRING em cada um dos sítios.

4.5.4 Declividade média dos sítios

Na análise da altitude, foi considerada a altitude média de cada ponto estudado. Para o cálculo da declividade, foi utilizado o Modelo Numérico do Terreno do item anterior e extraída a declividade através da ferramenta “Declividade”, no menu “MNT” do Spring. A extração dos dados de declividade foi configurada para a unidade “porcentagem”.

Após a geração do modelo de declividade, o procedimento de obtenção das declividades médias de cada ponto foi o mesmo utilizado no item anterior.

4.6 DEFINIÇÃO DOS PESOS

Para os pesos dos critérios, foram adotados como referência os pesos utilizados por Alves (2003), que definiu os mesmos através de uma consulta entre pesquisadores ligados à área de planejamento, saneamento e recursos hídricos.

O Quadro 3 apresenta os valores dos pesos adotados para o trabalho. O critério com o maior peso considerado foi o da distância dos sítios até o centro de geração dos esgotos.

Quadro 3 - Pesos adotados para os critérios

Critério	Peso
Distância da geração dos esgotos	7,89
Distância do corpo receptor	6,42
Declividade	5,21
Altitude	5,58

Fonte: Adaptado de Alves (2003).

4.7 DEFINIÇÃO DAS CLASSES DOS SÍTIOS PARA CADA CRITÉRIO

Os critérios foram divididos em 5 classes com amplitude definida pela divisão por cinco da diferença entre o maior e o menor valor apresentado no critério, onde o maior parâmetro representa a condição mais favorável e o menor parâmetro a condição mais desfavorável.

4.8 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE SUSCEPTIBILIDADE DE INSTALAÇÃO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NOS SÍTIOS.

Com o intuito de classificar cada sítio, levando em consideração cada critério com seus respectivos pesos, foi aplicada a Equação 2 para os valores obtidos na análise de cada sítio.

$$\sum C_i \cdot P_i \quad (2)$$

onde:

C_i: valor obtido em cada critério;

P_i: peso de cada critério.

Após a aplicação da Equação 2, ainda foi feita uma equivalência dos dados em porcentagem através da equação da reta (Equação 3), levando em consideração o pior ponto com aptidão igual a 0% e o melhor igual a 100% para obtenção dos coeficientes linear e angular.

$$Y = aX + B \quad (3)$$

onde:

Y = grau de aptidão em cada ponto em porcentagem;

X = Somatório dos pesos definidos por cada critério em cada ponto;

a = coeficiente linear;

b = coeficiente angular.

4.9 INTERPOLAÇÃO DOS PARÂMETROS NA ÁREA DO MUNICÍPIO

Como o estudo e comparação dos critérios foi feita apenas nas áreas dos sítios, foi feita uma interpolação entre os pontos com o intuito de se obter um mapa temático com a aptidão de instalação dos sítios em uma área mais abrangente. Para isto, foi utilizada a ferramenta de interpolação, encontrada no menu “*Raster*” do Qgis.

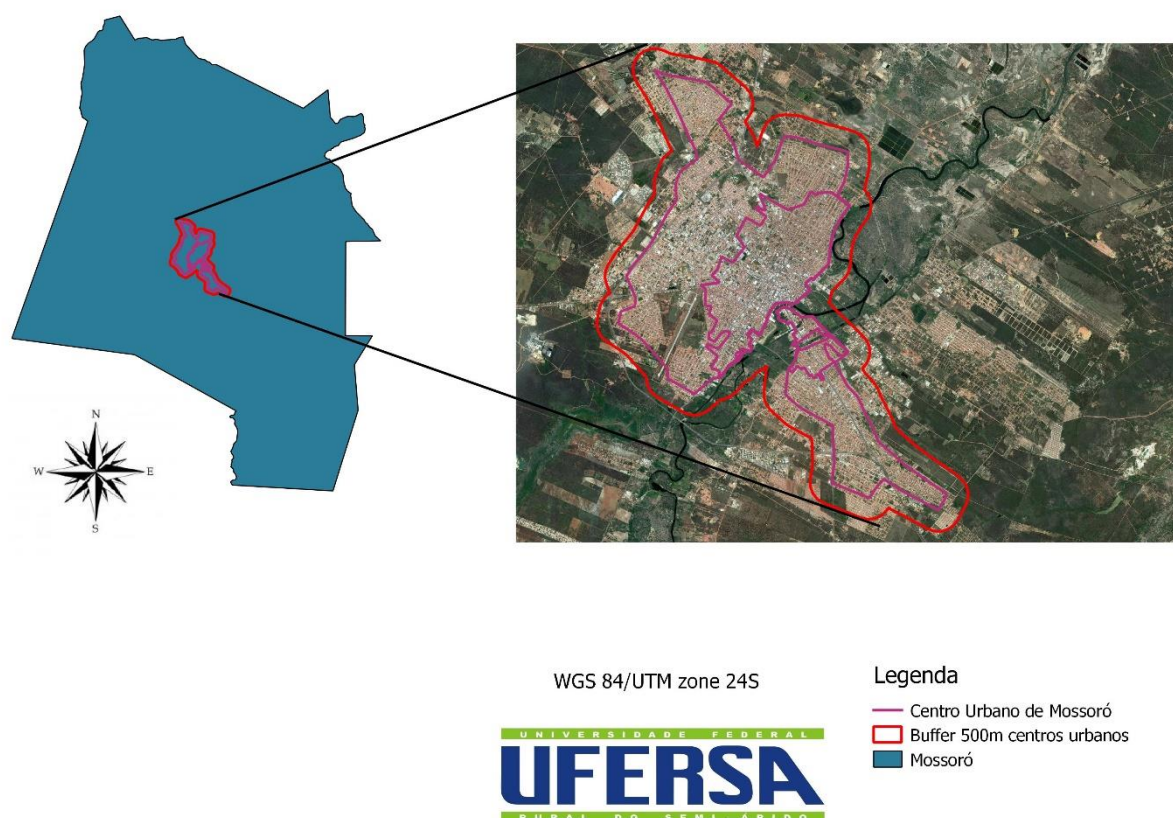
O resultado da interpolação foi obtido no formato *.tif* e dentro do próprio Qgis, foi adicionada uma composição falsa cor para melhor percepção dos dados inseridos no mapa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EXCLUSÃO DAS ÁREAS INAPROPRIADAS

Foi utilizado um buffer de 500m (Figura 9) em um *shape* disponibilizado pelo IBGE dos centros urbanos de Mossoró para a criação da primeira máscara. O *Shapefile* do buffer da zona urbana foi convertido para *Keyhole Markup Language* (KML) através do Qgis, e exportado para o Google Earth.

Figura 9 - Buffer de 500m na zona urbana de Mossoró

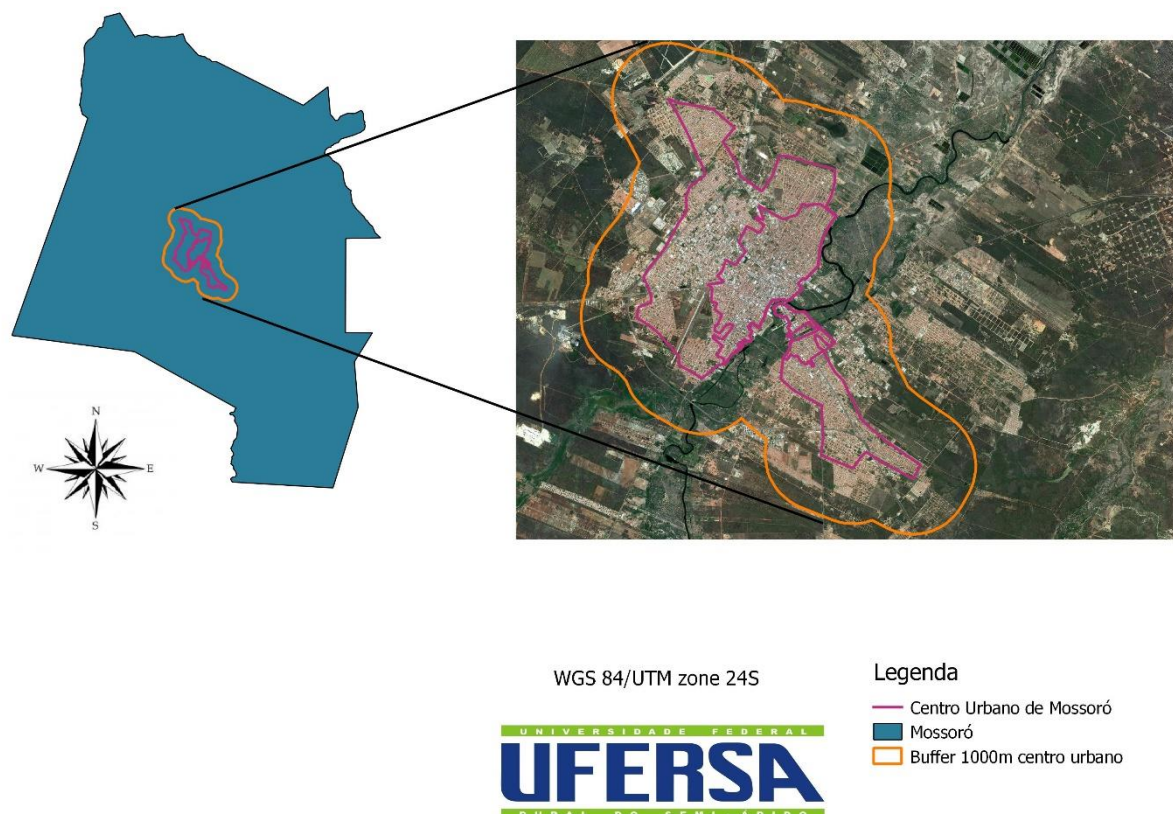


Fonte: Autoria própria (2018).

Observando a Figura 9 é possível observar que o *shape* disponibilizado pelo IBGE não delinea exatamente a atual disposição da zona urbana, desta forma, o buffer de 500m não foi suficiente para obtenção de uma máscara que realmente englobe a zona urbana.

Como solução para a insuficiência do buffer de 500m, foi adotado um buffer de 1000m, que pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Buffer de 1000m na zona urbana de Mossoró

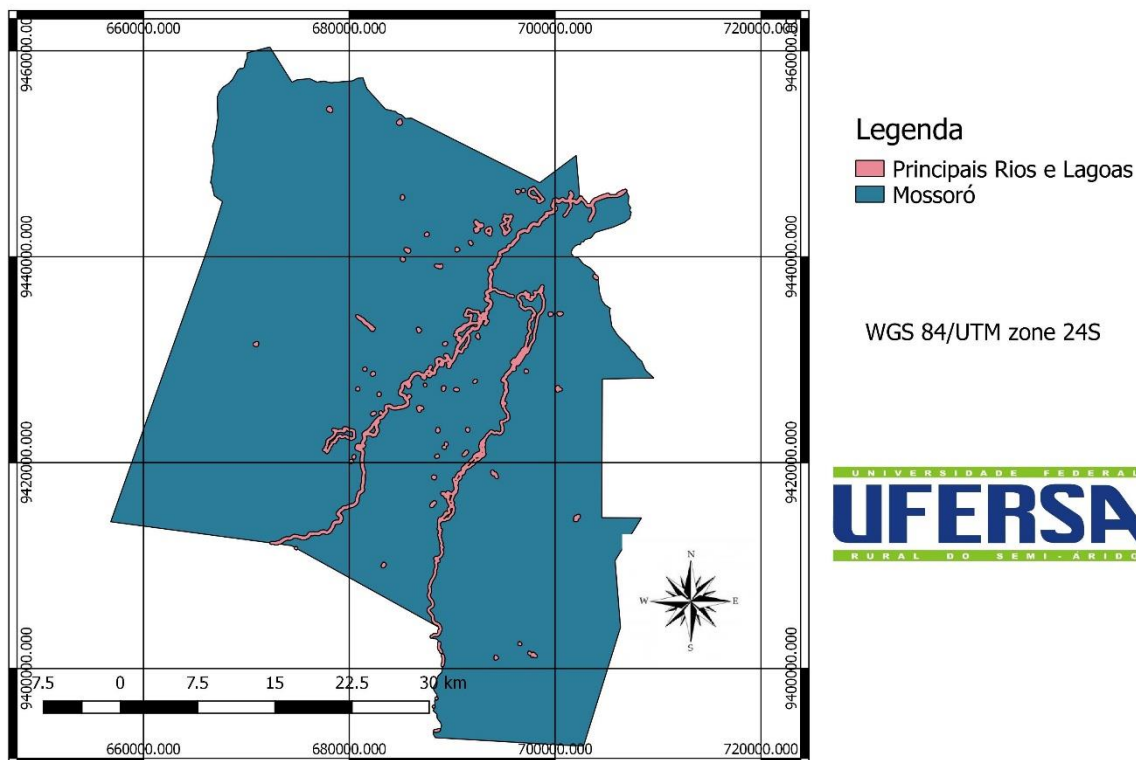


Fonte: Autoria própria (2018).

Analisando a Figura 10 é possível perceber que o buffer de 1000 metros dos centros urbanos foi eficaz em distanciar os limites da máscara dos reais centros urbanos, sendo assim, o mesmo foi adotado como máscara, contendo 84,92km².

A segunda máscara objetivou atender o critério de distância dos principais corpos d'água do município. Para isto, foi utilizado um *Shapefile*, também disponibilizado pelo IBGE, de todos os corpos d'água de Mossoró, sendo extraídos deste *shape* os rios e lagos perenes do município.

Figura 11 - Buffer de 150 metros dos principais corpos d'agua de Mossoró.

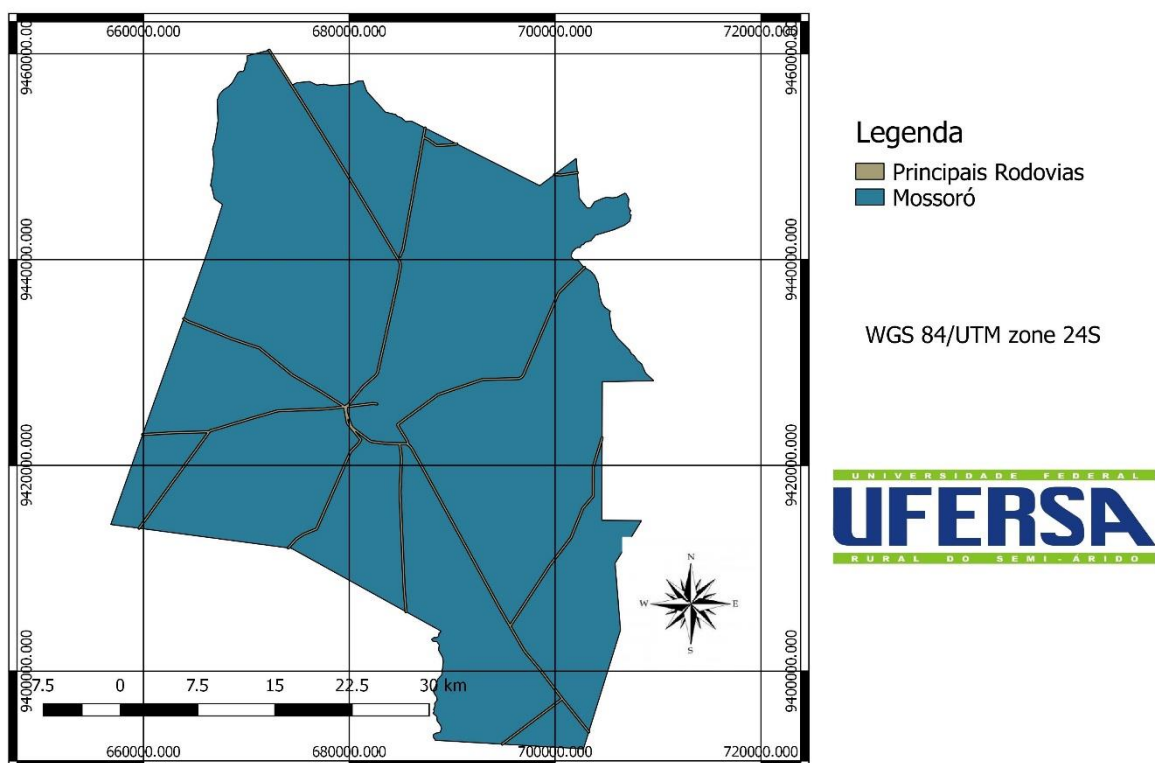


Fonte: Autoria própria (2018).

Foi aplicado um buffer de 150m de todos os corpos d'água extraídos (Figura 11), e o mesmo foi utilizado como máscara, excluindo uma área de 73,31km² da área em análise.

A Figura 12 ilustra o mapa de restrições quanto a implantação da ETE nas proximidades da malha viária do município. A máscara foi elaborada com base em um mapa fornecido pelo DNIT, que continha o traçado das principais rodovias do município de Mossoró.

Figura 12 - Buffer de 150 metros das principais rodovias de Mossoró.



Fonte: Autoria própria (2018).

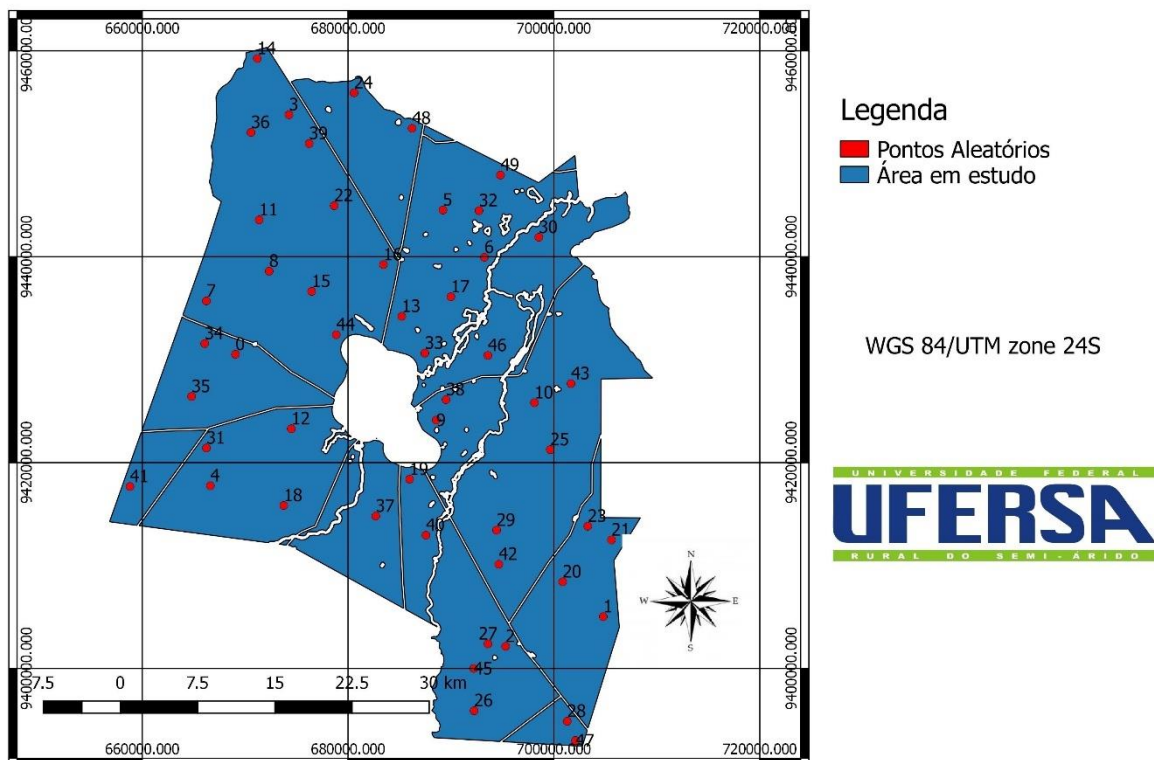
As áreas apresentadas na Figura 12 consideradas impróprias e utilizadas como máscara continham uma área de 48,79km² e foram obtidas através de um buffer de 150m das rodovias federais BR110, BR304 e BR405 e das rodovias estaduais RN117, RN013, RN012, RN405, RN015 e RN016

Para formação da máscara final das áreas consideradas impróprias, foi feita uma união entre os mapas das Figuras 10, 11 e 12, totalizando uma área de 207,02km², que representam 8,67% da área total do município de Mossoró.

5.2 GERAÇÃO DOS SÍTIOS E EXTRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Após a exclusão dos mapas de restrições sobre o município de Mossoró, foram gerados 50 pontos aleatórios enumerados de 0 a 49 sobre o mapa remanescente (Figura 13), e gerado um buffer de 500m, transformando cada ponto em um círculo de 0,78km², de onde serão extraídas as informações necessárias para análise. O Apêndice 1 apresenta as coordenadas dos pontos gerados.

Figura 13 - Pontos gerados sobre a área de estudo



Fonte: Autoria própria (2018).

As áreas geradas foram exportadas para o Spring, para serem feitas as análises de altitude e declividade.

É apresentado na Tabela 2 a altitude média de cada sítio, extraídos através da análise exploratória do Spring. Observando a Tabela 2 é possível perceber que o sítio com menor altitude média é o 17, com 10,74m, e a maior altitude média é a do sítio 34, com 162,09m.

Também é possível observar na Tabela 2 que os 5 sítios com altitudes mais elevadas, 34, 7, 0, 8 e 1, quando localizados na Figura 13, estão visualmente distantes tanto dos centros geradores quanto dos corpos receptores. Os sítios 34, 7, 0 e 8 estão localizados no extremo Oeste do município, o sítio 1 no extremo Leste enquanto os centros geradores e corpos receptores estão na parte central, o que indica uma situação favorável.

Tabela 2 - Altitude média dos Sítios

Sítio	Altitude média (m)	Sítio	Altitude média (m)	Sítio	Altitude média (m)
0	121,08	17	10,74	34	162,09
1	113,30	18	43,37	35	107,57
2	75,11	19	43,19	36	56,04
3	65,85	20	77,52	37	33,50
4	48,99	21	79,31	38	32,69
5	33,28	22	56,13	39	49,34
6	19,98	23	96,34	40	21,73
7	138,16	24	33,04	41	83,14
8	115,18	25	69,53	42	63,77
9	41,56	26	77,25	43	67,14
10	36,77	27	59,98	44	79,43
11	98,17	28	102,00	45	62,82
12	44,38	29	38,80	46	28,81
13	36,22	30	18,86	47	107,38
14	25,51	31	73,10	48	13,98
15	63,65	32	17,72	49	24,73
16	46,75	33	14,04		

Fonte: Autoria própria (2018).

Da mesma forma da altitude média, os dados de declividade foram extraídos de um MNT através de uma análise exploratória no Spring e podem ser observados na Tabela 3.

Não se esperava encontrar grandes declividades para o município de Mossoró, visto que o município é relativamente plano. O sítio com maior declividade média foi o sítio 15 com 22,28%. O sítio 15 diverge mais de 100% do sítio 6, que obteve a segunda maior declividade (11,07%). O sítio com menor declividade média foi o sítio 17 (4,41%), o mesmo sítio que obteve a menor altitude.

Tabela 3 - Declividade média dos sítios

Sítio	Declividade média (%)	Sítio	Declividade média (%)	Sítio	Declividade média (%)
0	10,58	17	4,41	34	10,60
1	5,63	18	6,13	35	10,13
2	7,19	19	5,58	36	8,34
3	7,10	20	6,35	37	6,52
4	8,46	21	6,15	38	6,36
5	6,84	22	6,87	39	7,43
6	11,07	23	7,78	40	6,71
7	9,27	24	7,27	41	7,56
8	7,18	25	7,78	42	6,89

9	6,39	26	5,54	43	9,43
10	6,67	27	5,79	44	8,14
11	6,62	28	4,94	45	7,34
12	7,37	29	5,95	46	5,42
13	5,95	30	6,10	47	5,90
14	8,09	31	9,75	48	6,55
15	22,28	32	5,43	49	5,98
16	9,15	33	5,91		

Fonte: Autoria própria (2018).

Para a determinação da distância de cada sítio até o centro gerador dos esgotos foi adotado como referência o centroide do bairro centro do município de Mossoró. As distâncias de cada sítio até o centro gerador estão expressadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Distância dos sítios até o centro gerador dos esgotos

Sítio	Distância do centro gerador (m)	Sítio	Distância do centro gerador (m)	Sítio	Distância do centro gerador (m)
0	15708,08	17	11868,98	34	18873,51
1	29371,91	18	14361,54	35	19270,92
2	26224,49	19	7692,14	36	29496,35
3	29622,28	20	24195,40	37	11116,09
4	19217,56	21	25338,93	38	5467,84
5	19398,96	22	19866,65	39	26352,28
6	16841,51	23	22684,16	40	13360,21
7	20371,10	24	30283,61	41	26530,05
8	17328,24	25	16253,71	42	18943,88
9	4821,16	26	31038,74	43	17708,04
10	14059,65	27	25308,56	44	8394,67
11	21818,95	28	35441,13	45	27089,43
12	9904,23	29	16167,99	46	10576,75
13	8454,37	30	21621,01	47	37456,74
14	35813,93	31	18357,25	48	26723,05
15	13197,81	32	20558,74	49	24572,51
16	13414,40	33	5882,55		

Fonte: Autoria própria (2018).

Visualmente já se podia perceber ao observar o mapa da Figura 13 os sítios mais próximos do centro urbano, porém a Tabela 4 mostra os dados com uma maior precisão. O sítio com situação mais favorável no critério de proximidade do centro de geração dos esgotos é o sítio 9, com 4821,16 metros de distância, já o sítio mais

desfavorável no critério é o sítio 47, com 37456,74 metros de distância e localizado no extremo Sudeste do município.

O critério de distância dos corpos receptores também podia ser observado na Figura 14, mas a Tabela 5 apresenta dos dados com maior precisão.

Tabela 5 - Distância dos sítios até os corpos receptores

Sítio	Distância do corpo receptor (m)	Sítio	Distância do corpo receptor (m)	Sítio	Distância do corpo receptor (m)
0	14538,49	17	3260,84	34	17640,92
1	15969,76	18	3091,24	35	16150,65
2	6257,39	19	3791,12	36	26602,52
3	24363,82	20	12146,51	37	2363,04
4	8044,10	21	14970,69	38	2805,70
5	6796,47	22	16183,32	39	21233,11
6	1061,20	23	12320,04	40	1149,31
7	19897,16	24	20910,26	41	14686,18
8	16903,92	25	5105,17	42	5717,28
9	3246,07	26	3943,46	43	6761,76
10	2913,65	27	4640,86	44	7953,29
11	21107,40	28	12592,42	45	3125,68
12	6455,01	29	4660,30	46	2371,57
13	5314,13	30	1195,09	47	13402,78
14	30079,36	31	11112,08	48	14430,56
15	12536,54	32	4311,15	49	5607,58
16	10170,77	33	1198,20		

Fonte: Autoria própria (2018).

A distância considerada na Tabela 5 foi do respectivo sítio até o ponto mais próximo em um possível corpo receptor. O sítio 6 apresentou a menor distância de um possível corpo receptor. A maior distância foi a do sítio 14, que pela Figura 14, está localizado no extremo Noroeste do município.

5.3 SEPARAÇÃO DOS SÍTIOS EM CLASSES POR CADA CRITÉRIO

Cada critério foi dividido em 5 classes, apresentadas no Quadro 4, de amplitudes iguais e, calculadas através da diferença entre o sítio mais desfavorável e mais favorável divididos por 5. Os sítios mais favoráveis receberam parâmetro de classe 5, e as mais desfavoráveis 1.

Para as classes do critério da altitude média foi utilizada a diferença entre as altitudes do sítio 34 e do sítio 17, obtendo uma amplitude de 30,27m para cada classe do critério.

Quadro 4 - Limites das classes para cada critério

Classes	1	2	3	4	5
Altitude (m)	> 131,82	131,82 a 101,55	101,55 a 71,28	71,28 a 41,01	< 41,012
Declividade (%)	> 9,74	9,74 a 8,40	8,40 a 7,07	7,07 a 5,74	< 5,74
Distância até o centro gerador (m)	> 30929,63	30929,63 a 24402,51	24402,51 a 17875,39	17875,39 a 11348,28	< 11348,28
Distância até o corpo receptor (m)	> 24275,73	24275,73 a 18472,10	18472,10 a 12668,47	12668,47 a 6864,48	< 6864,84

Fonte: Autoria própria (2018).

A separação de classes do critério de declividade utilizou o mesmo cálculo dos outros critérios, porém foi observado que o sítio 15, o mais desfavorável, apresentava uma discrepância muito grande em relação aos outros, tornando a amplitude muito alta, então foi utilizada a diferença entre o sítio 6, o segundo mais desfavorável, e o sítio 17, obtendo uma amplitude de 1,33% para as classes do critério de declividade.

Utilizando o mesmo cálculo, para as classes do critério das distâncias até o centro gerador foi utilizada a diferença entre os valores dos sítios 47, o mais desfavorável, e 9, o mais favorável, obtendo assim uma amplitude de 6527,12m para as classes do critério.

O critério da distância até o corpo receptor teve suas classes divididas através da diferença entre os valores obtidos para o critério dos sítios 14, o mais desfavorável, e 6, o mais favorável.

A Tabela 6 mostra a determinada classe em que cada sítio se encontra para cada critério.

Tabela 6 - Classes dos sítios para cada critério

Sítio	C1	C2	C3	C4	Sítio	C1	C2	C3	C4	Sítio	C1	C2	C3	C4
0	2	1	4	3	17	5	5	4	5	34	1	1	3	3
1	2	5	2	3	18	4	4	4	5	35	2	1	3	3
2	3	3	2	5	19	4	5	5	5	36	4	3	2	1
3	4	3	2	1	20	3	4	3	4	37	5	4	5	5
4	4	2	3	4	21	3	4	2	3	38	5	4	5	5
5	5	4	3	5	22	4	4	3	3	39	4	3	2	2
6	5	1	4	5	23	3	3	3	4	40	5	4	4	5
7	1	2	3	2	24	5	3	2	2	41	3	3	2	3
8	2	3	4	3	25	4	3	4	5	42	4	4	3	5
9	4	4	5	5	26	3	5	1	5	43	4	2	4	5
10	5	4	4	5	27	4	4	2	5	44	3	3	5	4
11	3	4	3	2	28	2	5	1	4	45	4	3	2	5
12	4	3	5	5	29	5	4	4	5	46	5	5	5	5
13	5	4	5	5	30	5	4	3	5	47	2	4	1	3
14	5	3	1	1	31	3	1	3	4	48	5	4	2	3
15	4	1	4	4	32	5	5	3	5	49	5	4	2	5
16	4	2	4	4	33	5	4	5	5					

C1 = Classe do critério da altitude;

C3 = Classe do critério da distância do centro gerador;

C2 = Classe do critério da declividade;

C4 = Classe do critério da distância do corpo receptor.

Fonte: Autoria própria (2018).

Observando a Tabela 6 é possível perceber que no critério da altitude, a maior parte dos sítios se enquadraram nas classes 4 e 5. As duas classes somam 33 sítios, enquanto apenas dois sítios se enquadraram na classe de parâmetro 1.

Também é possível observar que para o critério da declividade apenas 7 sítios se encontram na classe de parâmetro 5, enquanto na classe de parâmetro 4 se encontram 20 sítios. Apenas 6 sítios se encontraram na classe de parâmetro mais desfavorável.

Para o critério da distância dos sítios até o centro gerador dos esgotos os sítios ficaram bem distribuídos nas classes, o que era de se esperar, pois como este critério só se trata da distância dos sítios até um ponto único e, os pontos foram gerados aleatoriamente, esperava-se que as distâncias ficassem distribuídas de forma homogênea.

Ainda analisando a Tabela 6, é possível perceber que 50% dos sítios se encontram na classe de parâmetro mais favorável para o critério da distância até os corpos receptores e, apenas 6% na classe de parâmetro mais desfavorável.

5.4 SUSCEPTIBILIDADE DOS SÍTIOS PARA INSTALAÇÃO DA ETE.

Para determinação do sítio entre os estudados com a maior susceptibilidade para instalação da lagoa de estabilização foi feito um somatório da multiplicação entre as classes dos sítios em cada critério, apresentados na Tabela 6, pelos pesos apresentados no Quadro 3. O resultado dos somatórios é apresentado na Tabela 7.

O sítio 46 apresentou o maior somatório possível, pois tinha classe de parâmetro 5 em todos os critérios, enquanto o sítio mais desfavorável, portanto com menor somatório, foi o sítio 7.

Tabela 7 - Somatório dos pesos de cada critério multiplicados pelos parâmetros da classe de cada sítio e susceptibilidade de cada sítio para instalação da ETE.

Sítio	Σ (Peso x Parâmetro)	Suscept.	Sítio	Σ (Peso x Parâmetro)	Suscept.	Sítio	Σ (Peso x Parâmetro)	Suscept.
0	67,19	20,11%	17	117,61	89,19%	34	53,72	1,66%
1	72,25	27,04%	18	106,82	74,41%	35	59,30	9,30%
2	80,25	38,01%	19	119,92	92,36%	36	60,15	10,47%
3	60,15	10,47%	20	86,93	47,16%	37	120,29	92,86%
4	82,09	40,53%	21	72,62	27,55%	38	120,29	92,86%
5	104,51	71,24%	22	86,09	46,01%	39	66,57	19,26%
6	96,77	60,64%	23	81,72	40,02%	40	112,40	82,05%
7	52,51	0,00%	24	72,15	26,91%	41	67,41	20,41%
8	77,61	34,39%	25	101,61	67,27%	42	98,93	63,60%
9	114,71	85,22%	26	82,78	41,47%	43	96,40	60,13%
10	112,40	82,05%	27	91,04	52,79%	44	97,50	61,64%
11	74,09	29,57%	28	70,78	25,03%	45	85,83	45,65%
12	109,50	78,08%	29	112,4	82,05%	46	125,50	100,00%
13	120,29	92,86%	30	104,51	71,24%	47	59,15	9,10%
14	57,84	7,30%	31	71,30	25,74%	48	83,78	42,84%
15	84,77	44,20%	32	109,72	78,38%	49	96,62	60,43%
16	89,98	51,34%	33	120,29	92,86%			

Fonte: Autoria própria (2018).

Para determinar a susceptibilidade de cada sítio para instalação da ETE foi utilizada a equação da reta (Equação 3), onde para a determinação dos coeficientes angular e linear, foram considerados que o sítio 7 teria 0% de susceptibilidade e o sítio 46 teria 100%. Através destes valores, foi determinada a seguinte equação:

$$Y = 1,37x - 71,9 \quad (4)$$

onde:

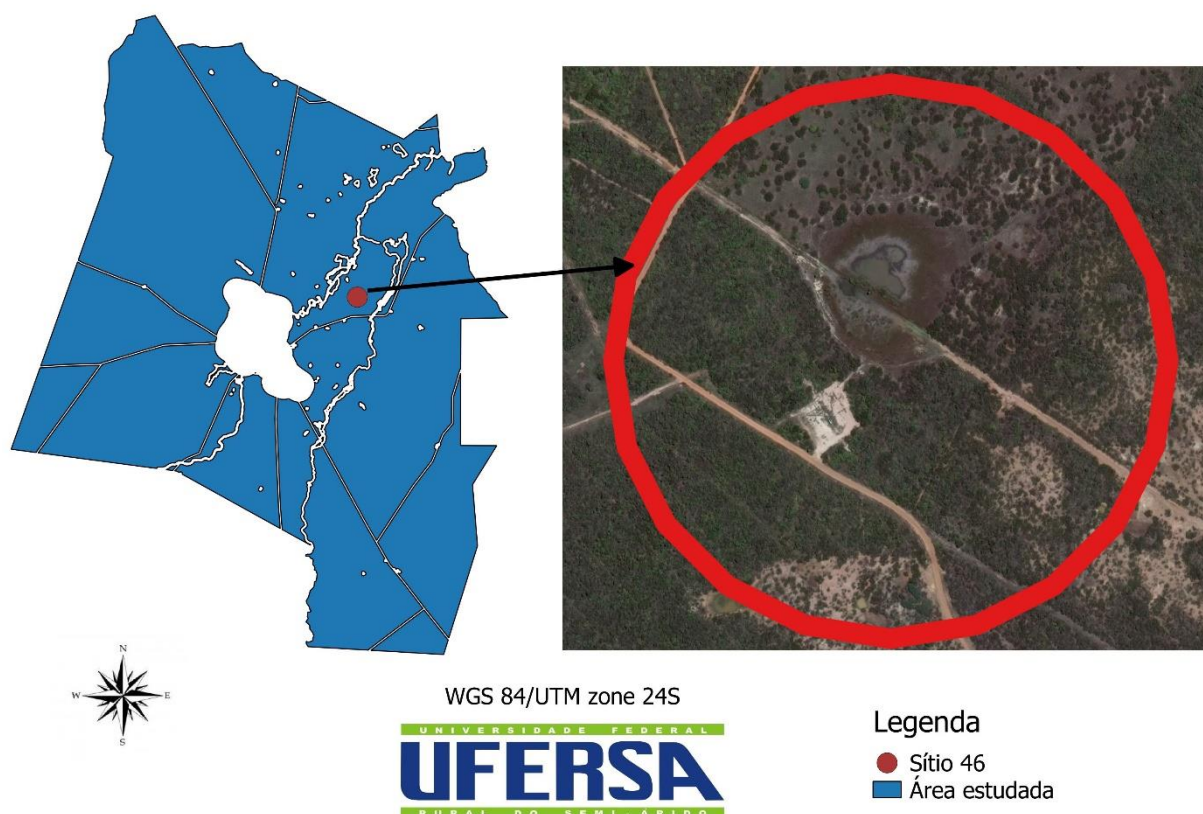
Y = susceptibilidade de instalação da ETE em cada ponto, em porcentagem;

X = Somatório dos pesos definidos por cada critério em cada sítio;

Os valores da susceptibilidade de cada sítio para instalação da ETE estão expressos em porcentagem na Tabela 7.

É possível observar na Imagem 14 o sítio mais favorável para instalação da ETE, o 46. O sítio 46 está localizado nas coordenadas X: 693592,48; Y:9430405,87; do SRC (Sistema de Referência de Coordenadas) UTM zona 24S.

Figura 14 - Sítio com maior susceptibilidade para instalação da ETE



Fonte: Autoria própria (2018).

O sítio 46 apresentou uma altitude média de 28,81m, uma declividade média de 5,41%, distância do centro gerador de 10576,75 metros e distância de um possível corpo receptor de 2371,58 metros.

Na Figura 14 é possível perceber que duas estradas carroçais atravessam o sítio, o que é interessante, pois é necessário que os sítios distem apenas das

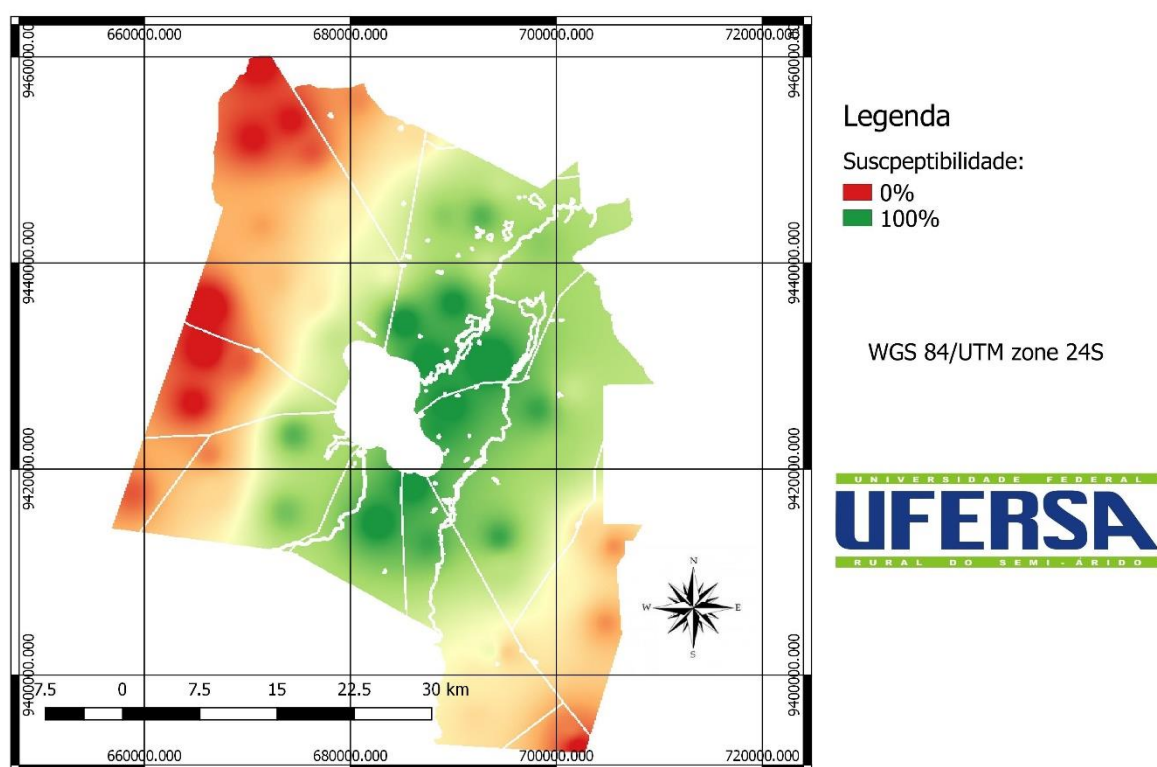
principais estradas, mas ainda sim a ETE precisa ter um acesso, que no caso do sítio 46, já existe.

5.5 INTERPOLAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NOS SÍTIOS PARA TODA A ÁREA ESTUDADA.

Visto que a área dos sítios não engloba toda a área estudada, foi elaborado um mapa de interpolação para visualização da susceptibilidade em toda área de Mossoró.

A Figura a seguir, mostra a interpolação feita através do método do peso pelo inverso da distância para toda área estudada em Mossoró.

Figura 15 - Mapa de interpolação da susceptibilidade de instalação da ETE



Fonte: Autoria própria (2018).

Foi aplicada uma composição falsa cor ao mapa de interpolação para melhor visualização. Quanto maior a intensidade do verde, maior a susceptibilidade da área para instalação da ETE e quanto maior a intensidade do vermelho, menor a susceptibilidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da análise de diversos sítios no município de Mossoró, foi possível perceber que dificilmente uma área irá atender da melhor forma todos os critérios impostos para instalação da ETE. Desta forma, foi escolhida a área que melhor se adequasse aos mesmos.

O emprego do geoprocessamento para exploração e análise de sítios para instalação de lagoas de estabilização possibilitou incluir durante o processo de avaliação diversos critérios, o que tornou o procedimento mais completo. A facilidade proporcionada pelos SIG's de integrar dados de diferentes fontes somada a facilidade de obtenção dos dados de forma gratuita foram as principais vantagens apresentadas pelo emprego das geotecnologias no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). **Atlas esgotos : despoluição de bacias hidrográficas – sistema existente**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Atlas_Esgoto/Rio_Grande_do_Norte/Sistema_Atual/Mossor%C3%B3.pdf>. Acesso em: mar. 2018.

ASSECOM/RN. Caern conclui obra que amplia capacidade da ETE Cajazeiras em Mossoró. **Junta Comercial do RN**, 2014. Disponível em: <<http://www.jucern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=19003&ACT=null&PAGE=null&PARM=null&LBL=NOT%C3%83+CIA>>. Acesso em: mar. 2018.

CÂMARA, G. e MONTEIRO, A. M. U. (2001) - “**Conceitos básicos em ciência da geoinformação**”. In: G. CÂMARA et al. (Ed.) Introdução à ciência da geoinformação, São José dos Campos: INPE. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html> Acesso em: dezembro de 2017.

CÂMARA, G. e MONTEIRO, A. M. U. (2001) - “**Introdução**”. In: G. CÂMARA et al. (Ed.) Introdução à ciência da geoinformação, São José dos Campos: INPE. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html> Acesso em: dezembro de 2017.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 230**: Projeto de lagoas de estabilização e seu tratamento complementar para esgoto sanitário. São Paulo, 2009.

CORREIA, Laís Ariane M. Barbosa; GALVÃO, Maria Luiza Medeiros; ARAËJO, André Luis Calado. GEOPROCESSAMENTO APLICADO A GESTÃO TERRITORIAL URBANA DE PEDRO VELHO/RN. **Geoconexões**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.44-55, 17 dez. 2014. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/geoconexoes.2015.2648>. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/2648/1000>>. Acesso em: mar. 2018.

HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis. **METODOLOGIA DE USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS DE CIDADES COSTEIRAS BRASILEIRAS ATRAVÉS DE SIG COM BASE NO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO E AMBIENTAL**. 2006. 486 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89358/231632.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2010): Pesquisa nacional de saneamento básico 2008. Rio de Janeiro. 218 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap8.pdf. Acesso em: janeiro de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2017). Diretoria de Pesquisas - DPE, Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. **Informações do município: Mossoró**. Rio de Janeiro: 2017. Disponível

em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rn/mossoro/panorama>>. Acesso em: dezembro de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2010). **Pesquisa Nacional De Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. 218 p.

MEDRI, Waldir. **“Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos de suínos”**. Dissertação, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**, 2016.

NETTO, J. M. de A. Aspectos construtivos de lagoas de estabilização. **Revista DAE**, v.45, n.140. 1985.

PINHO, Eliane Alves da Silva et al. Tratamento de esgoto sanitário contendo micropoluentes no Brasil: revisão. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, p. 46, 2018.

Pires, A. D. M., Albuquerque, B. C. D., Santos, D., Alves, B., Santos, J. P., & Silva, L. K. T. (2010). **Uso do geoprocessamento aplicado à gestão de sistemas de lagoas de estabilização no Rio Grande do Norte**. Paper presented at the CONNEPI 2010, Maceió, Brasil. Disponível em: <<https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/438>>. Acesso em: março de 2018.

PONTES, M. R. **Contribuição para a melhoria no gerenciamento de resíduos sólidos: estudos aplicados às Estações de Tratamento de Água e Esgotos e Escritórios dos municípios abrangidos pela Superintendência da Unidade de Negócios Baixo Paranapanema da SABESP, Região Oeste do Estado de São Paulo**. Presidente Prudente: FCT, UNESP, Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/149742>>. Acesso em: março de 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MOSSORÓ - PMM. **Plano de Desenvolvimento para o Sistema de Saneamento Básico do Município de Mossoró**. Fundação Getúlio Vargas, 2010. 54 p.

_____. **QGIS: LTR Essen. Version 2.14.22**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://qgisbrasil.org/comunidade-de-usuarios-qgis-brasil/baixarinstalar/#Windows>>. Acesso em: mar. 2017.

RIBEIRO, Antonio Júnior Alves; DA SILVA, Carlos Augusto Uchôa; DE ARAÚJO BARROSO, Suelly Helena. Metodologia para criação de um banco de dados georeferenciado a partir de dados geotécnicos obtidos em “as built” e projetos rodoviários. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 12, n. 2, 2016.

SILVA FILHO, P. A. da. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2007. 169p.

SILVA, F. L.; SILVA, I. J.; RODRIGUES, L. S.; OLIVEIRA, P. R. Influência dos parâmetros de projeto e condições operacionais no desempenho de lagoas de estabilização no tratamento de dejetos de suínos. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3. 2009.

SILVA FILHO, Pedro Alves da. **DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO**. 2007. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

_____. **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) versão 5.5.2**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>> Acesso em: jan. 2018.

SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T.; SILVA, E. de B.; GANDINI, A. M. M.; CORRÊA, J. M. Redução do potencial poluidor de dejetos de suínos em lagoas de estabilização em série. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 30, n. 1. 2014.

TAKEUTI, M. R. S. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização com chicanas**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2003.

Teixeira, M. R., 2016. **A Utilização do Geoprocessamento na Análise Ambiental e sua Importância na Tomada de Decisões: um estudo sobre o uso do geoprocessamento em pesquisas sobre ocupação desordenada do solo**. TCC (Especialização). Brasília, Uniceub.

TRUPPEL, A. **Redução de odores de uma lagoa de estabilização de esgoto sanitário e avaliação da qualidade de seu efluente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002. 207p.

VON SPERLING, Marcos. Lagoas de Estabilização-Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 3 (2ª Edição ampliada). **Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG)**, v. 196, 2009.

ZAIDAN, Ricardo Tavares. GEOPROCESSAMENTO CONCEITOS E DEFINIÇÕES. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 7, n. 2, 2017.

APÊNDICES

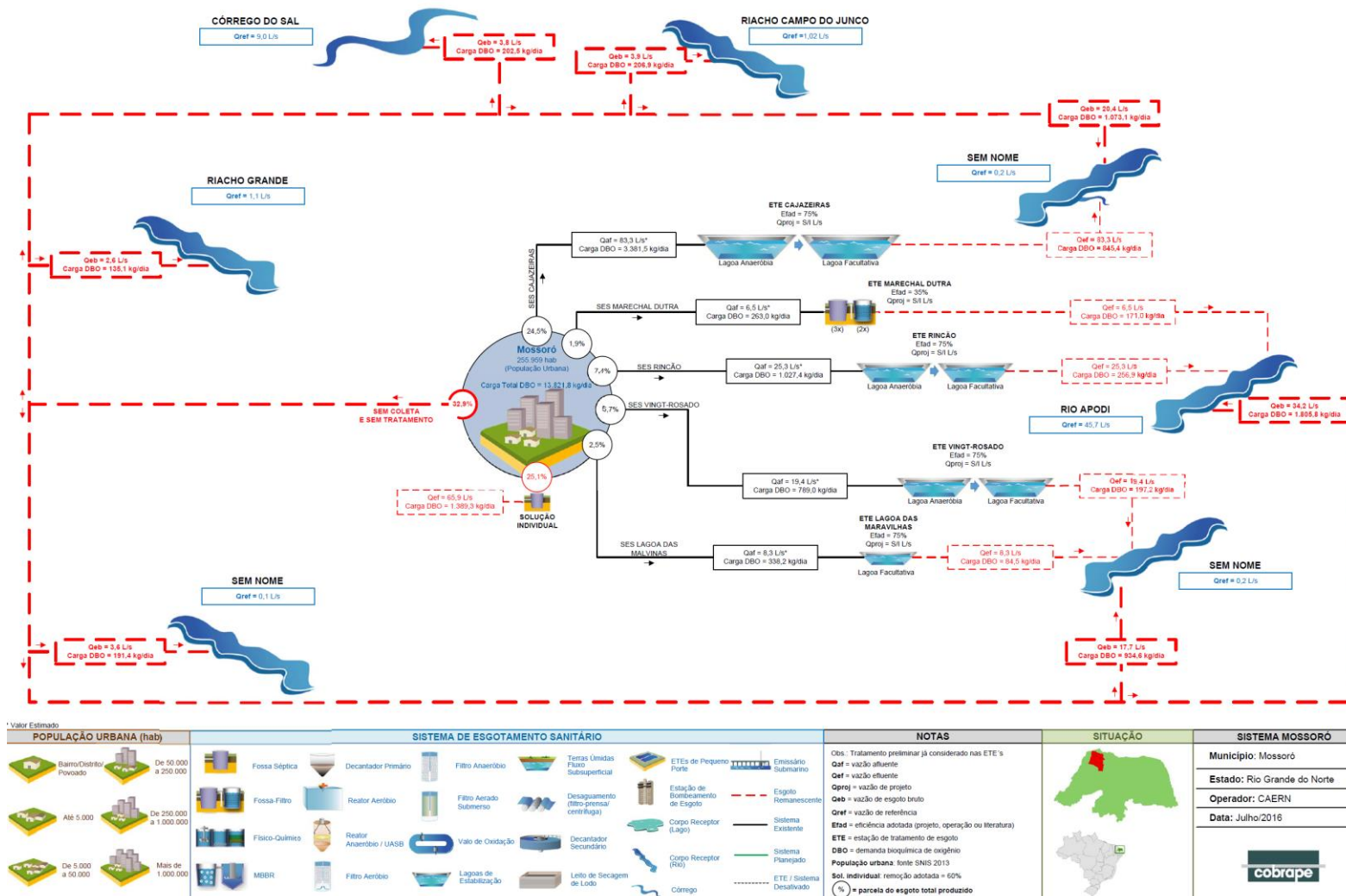
APÊNDICE A - COORDENADAS DOS SÍTIOS (UTM ZONA 24S)

Sítio	Coordenada X	Coordenada Y	Sítio	Coordenada X	Coordenada Y
0	669061,91	9430515,33	25	699651,62	9421255,23
1	704792,84	9405031,38	26	692248,59	9395894,40
2	695312,56	9402146,76	27	693593,56	9402389,81
3	674261,42	9453788,58	28	701296,18	9394867,22
4	666621,31	9417747,98	29	694430,52	9413432,07
5	689218,59	9444531,64	30	698540,62	9441883,96
6	693254,08	9439940,00	31	666238,40	9421412,73
7	666234,75	9435701,29	32	692725,92	9444473,39
8	672331,01	9438591,65	33	687461,53	9430628,65
9	688565,25	9424127,23	34	666071,96	9431559,05
10	698115,32	9425811,68	35	664793,65	9426417,57
11	671366,93	9443582,32	36	670575,37	9452068,10
12	674485,63	9423281,29	37	682692,96	9414800,09
13	685217,91	9434206,44	38	689516,40	9426111,36
14	671173,45	9459249,18	39	676213,91	9450990,82
15	676465,43	9436629,10	40	687569,99	9412942,61
16	683439,04	9439232,55	41	658811,71	9417672,36
17	689992,79	9436109,67	42	694644,08	9410123,85
18	673748,08	9415831,99	43	701668,25	9427668,78
19	685976,51	9418383,88	44	678853,54	9432420,82
20	700851,26	9408416,08	45	692209,89	9399999,29
21	705595,32	9412486,73	46	693592,48	9430405,87
22	678657,78	9444951,60	47	702094,72	9393005,51
23	703294,72	9413814,39	48	686218,50	9452467,72
24	680588,55	9455916,82	49	694807,82	9447927,58

Fonte: Autoria própria (2018).

ANEXOS

ANEXO A - SISTEMA DE ESGOTO EXISTENTE EM MOSSORÓ



Fonte: Agência Nacional de Águas (2016).