



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

DARIS CORREIA DOS SANTOS

**PROJETO MODELO: POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUAS RESIDUAIS
TRATADAS PARA FINS AGRÍCOLAS NO NORDESTE BRASILEIRO**

CAMPINA GRANDE – PB

2011

DARIS CORREIA DOS SANTOS

**PROJETO MODELO: POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUAS RESIDUAIS
TRATADAS PARA FINS AGRÍCOLAS NO NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Howard William Pearson

CAMPINA GRANDE – PB

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL – UEPB

S596p Santos, Daris Correia dos.
Projeto Modelo [manuscrito]: potencial de reuso de águas residuais tratadas para fins agrícolas no nordeste brasileiro / Daris Correia dos Santos. – 2011.
57 f.; il.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologias, 2011.

“Orientação: Prof. Dr. Howard William Pearson, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental”.

1. Recursos hídricos. 2. Águas residuais. 3. Reuso. I. Título.

21. ed. CDD 628.21

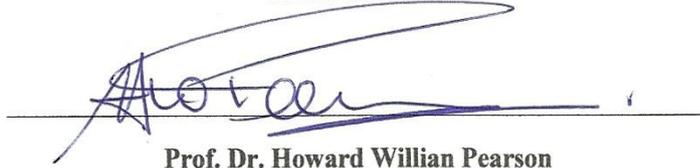
DARIS CORREIA DOS SANTOS

**PROJETO MODELO: POTENCIAL DE REUSO DE ÁGUAS RESIDUAIS
TRATADAS PARA FINS AGRÍCOLAS NO NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado a Coordenação do Curso de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

Aprovado em: 18/11/2011

Examinadores:



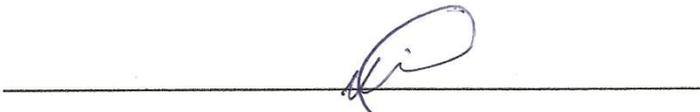
Prof. Dr. Howard Willian Pearson

(Orientador – DESA/CCT/UEPB)



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira

(Examinador – DESA/CCT/UEPB)



Prof. Dr. Valderi Duarte Leite

(Examinador– DESA/CCT/UEPB)

A Deus que me concedeu a conclusão do meu curso, me capacitando para tal, e aos meus pais, Deusdede e Eutália, que sempre me incentivaram para que eu prosseguisse na realização dos meus sonhos, acreditando que eu seria capaz de alcançar mais esta vitória em minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Howard William Pearson, pela disposição em me orientar na elaboração deste trabalho, pela oportunidade de trabalhar com o tema, pela consideração, confiança e cooperação durante todo o período de desenvolvimento do trabalho.

Aos professores Fernando Fernandes Vieira e Valderi Duarte Leite, por aceitarem o convite para participar da comissão examinadora deste trabalho, pela atenção, sugestões e críticas propostas com o intuito de aprimorar o mesmo.

SANTOS, Daris Correia dos. **Projeto Modelo: Potencial de Reuso de Águas Residuais Tratadas para Fins Agrícolas no Nordeste Brasileiro**. Campina Grande, UEPB, 2011, 57 p. (Monografia para Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental).

RESUMO

Existe atualmente uma preocupante carência de recursos hídricos em muitas regiões habitadas do globo, que se prevê possa vir a ser substancialmente agravada em extensão e severidade na sequência das recentes alterações climáticas à escala planetária. Os progressivos desenvolvimentos conseguidos no domínio da depuração e controle de qualidade de águas residuais comunitárias sujeitas a tratamento, torna a sua reutilização em muitas áreas, em particular na irrigação de espaços verdes ou agrícolas e no reforço de reservas existentes, através, por exemplo, da recarga de aquíferos subterrâneos, como uma solução que poderá ser, não só segura e favorável do ponto de vista econômico, como extremamente interessante em termos ambientais. Com a utilização deste recurso reciclado, torna-se possível compatibilizar a necessidade de tratamento de águas residuais, praticamente indispensável ao controle dos níveis de poluição nos meios receptores, a satisfação dos requisitos de volumes de água e de caudais para os fins pretendidos, e o reaproveitamento de um bem essencial à vida, permitindo uma melhor gestão dos recursos hídricos disponíveis. Nas regiões áridas e semi-áridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Mesmo áreas com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender à demandas elevadas, experimentam conflitos de uso e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Nessas condições, reuso e conservação passaram a ser as palavras chave em termos de gestão, em regiões com baixa disponibilidade ou insuficiência de recursos hídricos. O reuso de água encontra, no Brasil, uma gama significativa de aplicações potenciais. O uso de efluentes tratados na agricultura, nas áreas urbanas, particularmente, para fins não potáveis, no atendimento da demanda industrial e na recarga artificial de aquíferos, se constitui em instrumento poderoso para restaurar o equilíbrio entre oferta e demanda de água em diversas regiões brasileiras. Cabe entretanto, institucionalizar, regulamentar e promover o reuso de água no Brasil, fazendo com que a prática se desenvolva de acordo com princípios técnicos adequados, seja economicamente viável, socialmente aceita, e segura, em termos de preservação ambiental e de proteção dos grupos de riscos envolvidos. Este estudo avalia o potencial da reutilização de águas residuais no nordeste do Brasil e apresenta um projeto modelo aplicável a cidades difusas e pequenas na região. O dimensionamento proposto deverá atender as diretrizes da Organização Mundial de Saúde para irrigação irrestrita com o número de Coliformes termotolerantes de 257,55 CTT/100 ml e com o número de ovos helmintos de 0,06 ovos/l no efluente final, e para o reuso do efluente deve ser considerados a cultura a ser implantada e o sistema de irrigação a ser utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos. Águas residuais. Reuso. Nordeste brasileiro.

SANTOS, Daris Correia dos. **Project Model: Potential Reuse of treated wastewater for agriculture in Northeast Brazil.** Campina Grande, UEPB, 2011, p. 57 (Monograph for Graduation in Sanitary and Environmental Engineering).

ABSTRACT

There is currently a worrying lack of water resources in many populated areas of the globe and this is expected to increase substantially in extent and severity as a result of recent climate change on a global scale. The progressive developments in the field of purification and quality control of wastewater treatment, makes effluent reuse an attractive option in many areas, particularly in the irrigation of urban green spaces and agricultural land and in strengthening existing water reserves, through, for example, recharge of groundwater aquifers. This solution can be not only safe and favorable economically, but also extremely interesting in environmental terms. The use of recycled water, makes it possible to reconcile the need for community wastewater treatment with the control of pollution levels in the receiving water bodies, whilst allowing a better management of available water resources essential to life. In arid and semi-arid regions, water has become a limiting factor for urban, industrial and agricultural development. Even in areas with abundant water resources, but which are nevertheless insufficient to meet the high demands, experience conflicts of use and consumption which restrict economic development and the quality of life. Under these conditions, reuse and conservation have become key words in terms of management, in regions with low availability or shortage of water resources. Reuse in Brazil, has a significant range of potential applications. The use of treated effluents in agriculture, urban areas, particularly for non-potable uses, in meeting demand in the industrial and artificial recharge of aquifers, constitutes a powerful tool to restore the balance between supply and demand for water in several Brazilian regions. It is however, necessary to institutionalize, regulate and promote the reuse of water in Brazil, so developing the practice in accordance with sound technical resources, economically viable projects which are socially acceptable and safe in terms of environmental preservation and protection. This study evaluates of the potential reuse of wastewater in northeast Brazil and presents o model project applicable to mant diffuse and small towns in the region. The proposed design must meet the guidelines of the World Health Organization for unrestricted irrigation with the number of thermotolerant coliforms 257 CTT/100ml and the number of helminth eggs from 0.06 eggs/l in the final effluent, and the reuse of effluent must be considered culture to be deployed and the irrigation system to be used.

KEYWORDS: water resources; wastewater; reuse; northeast Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da disponibilidade hídrica na região Nordeste	16
Figura 2: Necessidade de irrigação, pelo período de três dias- Pernambuco	22
Figura 3: Necessidade de irrigação, pelo período de três dias- Paraíba	23
Figura 4: Esquema de tratamento de águas residuais	27
Figura 6: Detalhamento da unidade de gradeamento	32
Figura 7: Detalhamento da caixa de areia	33
Figura 8: Detalhamento da calha Parshall	34
Figura 9: Detalhamento da Lagoa Anaeróbia	32
Figura 10: Detalhamento da Lagoa Facultativa Secundária	33
Figura 11: Detalhamento das Lagoas de Maturação	34
Figura 12: Detalhamento- Dispositivos de Entrada e Saída das Lagoas	35
Figura 13: Croqui- Sistema de irrigação por aspersão convencional	52
Figura 14: Croqui - Sistema de irrigação por gotejamento	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diretrizes sanitárias da Organização Mundial da Saúde	15
Tabela 2: Desempenho de um sistema de lagoas de estabilização em série no Nordeste do Brasil (com temperatura média de 26°C)	22
Tabela 3: Avaliação inicial para implementação do Projeto	25
Tabela 4: Estação para colheita	26
Tabela 5: Dados e Parâmetros de Projeto	28
Tabela 6: Vazões de projeto	28
Tabela 7: Dados do gradeamento	29
Tabela 8: Dados do desarenador e calha Parshall	30
Tabela 9: Base de Dados e Parâmetros- Lagoa anaeróbia	31
Tabela 10: Base de Dados e Parâmetros- Lagoa Facultativa Secundária	33
Tabela 11: Base de Dados e Parâmetros- Lagoa de maturação	34
Tabela 12: Dimensões do Medidor Parshall (cm) e Vazão com escoamento livre (L/s)	43
Tabela 13: Dados Técnicos do Aspensor	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aph	Área de projeto hidráulico
Cg	Coefficiente de rugosidade do tubo com gotejadores
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
Ea	Eficiência de aplicação
ETc	Evapotranspiração da cultura
Etpc	Evapotranspiração potencial da cultura
Eto	Evapotranspiração de referência
ETg	Evapotranspiração média na área
F	Fator de Christiansen
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura
FARMOD	Modelagem de Produção Agrícola desenvolvida pelo BM/FAO
ha	Hectare
H	Pressão de operação do emissor
Hm	Pressão manométrica
Hr	Altura de recalque
Hs	Altura de sucção
hf _s	Perda de carga na sucção
HfCC	Perda de carga no cabeçal de controle
HfLP	Perda de carga na linha principal
hf _{LOC}	Perda de carga localizada
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWMI	International Water Management Institute
IRN	Irrigação real necessária
ITN	Irrigação total necessária
kc	Constante da cultura
LD	Linha de derivação
LL	Linhas laterais
MENA	Midle East and North Africa
n	número de gotejadores por planta.
N	Número de unidades operacionais
Nh	Número de horas
NCSWS	National Center for Sustainable Water Supply
OMS	Organização Mundial da Saúde
PinLD	Pressão no início da LD
PLIRHINE	Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste
P	Porcentagem de área molhada em relação a área total
Pot	Potência
Sg	Espaçamento entre gotejadores
UPA	Unidade de Produção Agrícola
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.2 Benefícios econômicos do reúso agrícola	15
3.3 Esgoto doméstico e sua utilização.....	15
3.4 Caracterização da área de estudo	16
3.5 Reflexo das experiências de reúso em outros países	17
3.6 Exemplos de Projetos de Reuso no Mundo.....	19
3.7 Aspectos técnicos de reúso.....	22
3.8 Necessidade de irrigação.....	23
4. Desenvolvimento do Projeto de Tratamento e Reuso Agrícola Integrado	25
4.1 Apresentação	25
4.2 Material e métodos	25
4.3 Aspectos construtivos.....	25
4.5 Sistemas de irrigação.....	26
4.6 Resultados	28
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	37
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
APÊNDICE A- MEMORIAL DE CÁLCULO - ETE	41
APÊNDICE B- MEMORIAL DE CÁLCULO- SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	50

1 INTRODUÇÃO

O reuso da água ou o uso de águas residuais ¹ não é um conceito novo e tem sido mundialmente utilizado há alguns anos. A demanda crescente por água tem feito da reutilização de tal recurso um tema de grande importância. Nesse sentido, é possível considerar o reuso da água como parte integrante de um conceito mais abrangente, que é o uso racional da água, o qual, por sua vez, está inserido no de recursos naturais, compreendendo a alocação e uso racionais, o controle de perdas e desperdícios, bem como a minimização da produção de resíduos e do consumo.

O reuso planejado aplica conceitos que vem evoluindo nos últimos anos. Desde o conceito conservacionista em que os dejetos deveriam ser conservados para manter a fertilidade do solo, ou para a redução ou eliminação da poluição dos rios, passando pelo enfoque de que o reuso deveria ser feito para fornecer água somente para zonas áridas, o que acabou se juntando a necessidade de se reduzir a crescente poluição dos mananciais de superfície. Chegando ao ponto em que, devido às restritivas exigências ambientais que devem ser seguidas quando do tratamento de um efluente antes deste ser lançado em um corpo de água, torna-se mais vantajoso reutilizar o efluente o maior número de vezes possíveis antes de realizar o seu descarte (FIESP/CIESP, 2005).

São várias as formas de reuso de água: irrigação paisagística; irrigação de campos de cultivo; usos industriais; recarga de aquíferos; usos urbanos não potáveis; represamento; aumento das vazões de cursos d'água; aquicultura; dessedentação de animais (CROOK, 1993).

De forma geral, as responsáveis pelo controle das fontes poluidoras têm demonstrado interesse em empregar recursos financeiros somente quando exigido pela legislação corrente, de forma a enquadrar seus níveis de lançamento naqueles tolerados pela normatização vigente. Nesse contexto e considerando que a água será um bem estruturante do futuro, a adoção de tecnologias voltadas para o uso racional e, conseqüentemente, redução do desperdício, refletirá favoravelmente para a sua conservação. Assim sendo, o presente trabalho propôs-se a focalizar na reutilização de águas residuais tratadas para fins agrícolas no nordeste brasileiro.

¹ Águas residuais – são os despejos líquidos descarregados nos coletores de esgotos e que tem como origem as residências, os estabelecimentos comerciais e as indústrias.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Apresentar uma proposta de um modelo de ações com foco no desenvolvimento da agricultura sustentável na região do semiárido nordestino do Brasil, tomando como referência o sucesso das experiências no mundo, referente ao reuso de esgotos para fins agrícolas, através de uma análise dos projetos implantados, os quais visam a reciclagem das águas residuais.

2.2 Objetivos específicos

- I. Estimular a atividade de reuso de águas residuais (esgotos sanitários) tratadas em áreas agrícolas.
- II. Obtenção de água residual tratada com qualidade para fins de reuso em irrigação destinados a projetos de cidades de pequeno porte, que não possuem uma destinação adequada para os efluentes gerados.
- III. E de acordo com as necessidades hídricas da cultura e suas características de tolerância a compostos dissolvidos na água de reuso, considerar o tipo de sistema de irrigação a ser implantado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.2 Benefícios econômicos do reúso agrícola

Os benefícios econômicos são auferidos graças ao aumento da área cultivada e ao aumento da produtividade agrícola, os quais são mais significativos em áreas onde se depende apenas de irrigação natural, proporcionada pelas águas de chuvas.

O fenômeno da escassez não é, entretanto, atributo exclusivo das regiões áridas e semi-áridas (HESPANHOL,2001). Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para satisfazer demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Os benefícios diretos do reúso agrícola podem ser estimados diretamente em termos de aumento da produtividade ou da produção, economia no uso de fertilizantes comerciais, economia no uso de água, etc. Entre os muitos benefícios indiretos que atraem a atenção dos avaliadores econômicos e tomadores de decisão, capazes de visualizar as vantagens ambientais, de saúde e sociais do reúso agrícola, estão os seguintes:

- aumento do nível nutricional das populações mais pobres, através do aumento da produção de alimentos;
- aumento da disponibilidade de empregos e assentamentos populacionais nas áreas rurais;
- redução de danos ao meio ambiente;
- proteção de recursos subterrâneos contra depleção;
- proteção dos recursos de água de boa qualidade contra a poluição;
- controle da erosão, redução da desertificação, etc.

3.3 Esgoto doméstico e sua utilização

A Organização Mundial de Saúde estabelece critérios e diretrizes para utilização de águas residuais na agricultura com base em processos técnicos e científicos e em evidências epidemiológicas disponíveis.

A Tabela (1) mostra as diretrizes mais recentes da WHO para utilização de águas residuais na agricultura (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006).

Tabela 1: Diretrizes WHO de águas residuais para fins agrícolas.

CATEGORIA IRRIGAÇÃO	OPÇÃO ⁽¹⁾	TRATAMENTO DE ESGOTOS E REMOÇÃO DE PATÓGENOS (LOG10) ⁽²⁾	QUALIDADE DO EFLUENTE	
			<i>E. COLI</i> 100ML (3)	OVOS DE HELMINTOS L ⁻¹
Irrestrita	A	4	$\leq 10^3$	≤ 1 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾
	B	3	$\leq 10^4$	
	C	2	$\leq 10^5$	
	D	4	$\leq 10^3$	
	E	6 ou 7	$\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$	
Restrita	F	4	$\leq 10^4$	
	G	3	$\leq 10^5$	
	H	<1	$\leq 10^6$	

(1) Combinação de medidas de proteção à saúde. (A): cultivo de raízes e tubérculos; (B): cultivo de folhosas; (C): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; (D): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; (E): qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento tais como tratamento secundário + coagulação + filtração + desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada ainda com o emprego de indicadores complementares (por exemplo: turbidez, SST, cloro residual); (F): agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva; (G): agricultura de alto nível tecnológico e, altamente mecanizada; (H): técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógeno (por exemplo: tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial). (2) remoção de vírus que associada a outras medidas de proteção à saúde corresponderia a uma carga de doenças virais tolerável $\leq 10^{-6}$ DALY ppa e riscos menores de infecções bacterianas e por protozoários. (3) Qualidade do efluente correspondente à remoção de patógenos indicada em (2). (4) No caso de exposição de crianças (15 anos) recomenda-se um padrão e, ou, medidas complementares mais exigentes: $\leq 0,1$ ovo/L, utilização de equipamentos de proteção individual, tratamento quimioterápico. No caso da garantia da remoção adicional de 1 log10 na higiene dos alimentos pode-se admitir ≤ 10 ovos/L. (5) Média aritmética em pelo menos 90% do tempo, durante o período de irrigação. A remoção requerida de ovos de helmintos (log10) depende da concentração presente no esgoto bruto. Com o emprego de lagoas estabilização, o tempo de detenção hidráulica pode ser utilizado como indicador de remoção de helmintos. No caso da utilização de técnicas de tratamento mais complexas (opção E), o emprego de outros indicadores (por exemplo: turbidez ≤ 2 uT) pode dispensar a verificação do padrão ovos de helmintos. No caso de irrigação localizada, em que não haja contato da água com as plantas e na ausência de riscos para os agricultores (por exemplo: opção H) o padrão ovos de helmintos poderia ser dispensável.

3.4 Caracterização da área de estudo

A região Nordeste do Brasil está situada logo abaixo do Equador, ocupando a posição norte oriental do País, entre 1° e 18° 30 de latitude Sul e 34° 20 e 48° 30 de longitude oeste. Ocupa uma área de 1.561.177,8 km², o que representa 18,3% do território brasileiro e é a região mais subdividida politicamente país, com nove estados:

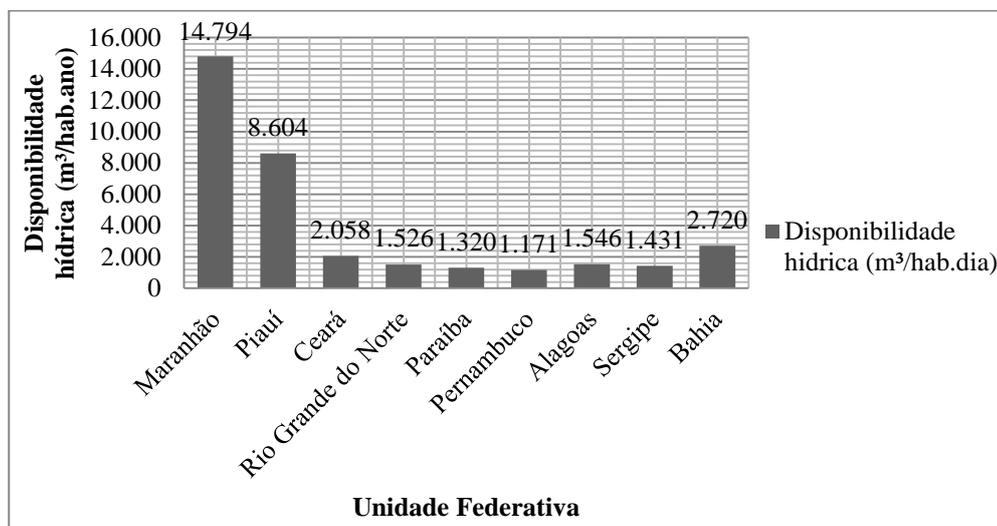
Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Garcia & Garavello, 1996).

Quanto ao relevo, sua porção oriental é dominada por superfícies tabulares e chapadas cristalinas, como a Borborema e Diamantina.

As bacias hidrográficas do Nordeste correspondem a 18% das bacias brasileiras, colocando a região em terceiro lugar, atrás apenas das regiões Norte e Centro-Oeste.

Na região nordeste, os Estados de Alagoas, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe apresentam oferta hídrica abaixo da necessária (Figura 1). Assim, mesmo que relativamente abundante, a água tem distribuição bastante irregular tanto no planeta quando no Brasil, de modo que seu uso racional é imprescindível à preservação e conservação deste recurso natural para as gerações futuras (IBGE, 2006).

Figura 1: Distribuição da disponibilidade hídrica na região Nordeste



3.5 Reflexo das experiências de reúso em outros países

México

O reúso de água é uma prática difundida no México. O país tem problemas de disponibilidade de água em vista de sua distribuição geográfica, clima, além da contaminação de suas águas.

O uso agrícola de águas residuais para irrigação no Vale do Mezquital data do final do século XIX, como consequência das obras de drenagem do Vale do México. Essas águas constituem um recurso valioso e são destinadas a regiões áridas e semiáridas, cada vez com maior eficiência e segurança para a saúde humana e proteção do meio ambiente. No Vale do Mezquital, a principal atividade econômica da população é a agricultura, complementada pela criação de gado. De acordo com (ALVAREZ, 1999), a região apresenta um exemplo único do reúso para a irrigação, devido a grande área cultivada (83.000 ha entre 1993 e 1994) e ao longo tempo de experiência na utilização das águas residuais para a irrigação.

Em função do histórico do conhecimento do uso das águas residuais, o Vale do Mezquital apresenta condições para que se execute uma série de estudos com relação à produtividade, contaminação e riscos para a população, de forma a tentar subsidiar as decisões em relação aos usos possíveis destas águas, criando regulamentos e projetos adaptados à sua realidade.

Israel

Israel foi pioneiro em utilizar água de reuso na irrigação, seguido por Tunísia, Chipre e Jordânia (ANGELAKIS e BONTOUX, 2001). No país está sendo reutilizado mais de 70% do volume total de águas das redes de esgotos urbanos. O projeto da região de Dan demonstra a possibilidade de converter o deserto de Negev em uma área fértil e produtiva para a agricultura, através do aproveitamento das águas residuais.

A reutilização dessas águas em escala nacional, a custo relativamente baixo, está possibilitando adiar os grandes investimentos para dessalinização da água do mar, considerado como último recurso de água disponível em Israel. As águas residuais são tratadas para irrigar lavouras e jardins públicos, além de revitalizar os rios (VOMERO et al., 2000).

Tunísia

O reuso na Tunísia mostra-se prioritário na gestão dos recursos hídricos em função da escassez de água e do aumento da poluição (BAHRI, 1998). Os programas de reuso no país remontam à década de sessenta, o que coloca esta região entre as poucas nações do mediterrâneo que têm uma política federal de reuso em plena atividade. A responsabilidade pela utilização das águas de reuso na agricultura é dividida entre vários ministérios, são eles: do Interior, do Meio Ambiente, da Agricultura, da Economia e da Saúde Pública. Nas grandes cidades, a National Sewerage and Sanitation Office (ONAS), a qual é subsidiária do Ministério do Meio Ambiente, é a responsável pela coleta, tratamento e disposição final dos esgotos, incluindo a construção, operação e manutenção de toda a infraestrutura necessária. O reuso agrícola é regulamentado por leis e por um decreto que prevê uma estrutura legal para o reuso e proíbe a sua utilização para a irrigação de qualquer cultura que possa ser ingerida, além de estipular parâmetros de qualidade das águas de reuso com o intuito de evitar a transmissão de doenças (BAHRI, 1998).

Os padrões de qualidade para as águas de reuso foram estabelecidos no documento legal "Tunisian Standard 106.03" de 1989, o qual apresenta uma lista de culturas para as quais há possibilidade de sua implementação. As especificações visando à proteção dos grupos de risco, como trabalhadores e consumidores, também foram contempladas nesse documento. Os ministérios estão somando esforços para a efetiva implementação deste Decreto (BAHRI, 1998).

África do Sul

Por ser um país que tem problemas com escassez de água, a África do Sul tem grande interesse na utilização de águas residuais. O país considera as águas provenientes do reuso como um recurso adicional para suprir as necessidades da sua população (ODENDAAL et al 1998). As pesquisas sobre o assunto no país remontam a

década de 60 e estão direcionadas no princípio às condições geográficas, uma vez que as maiores cidades estão localizadas longe do mar.

A legislação pertinente prevê o reuso indireto de efluentes, os quais devem ser retornados ao curso d'água de origem, o que impõe um controle tanto no tratamento quanto na descarga dos efluentes. Para tanto, deve haver uma grande integração entre os aspectos de tratamento de efluentes e as políticas de proteção da qualidade das águas (ODENDAAL et al 1998).

Em Porto Elizabeth, diariamente cerca de 93.000 m³ de águas residuais são destinadas ao reuso, tratadas em sistemas de lodos ativados. A água de reuso não é destinada ao consumo, entretanto estima-se que até o ano de 2020 a taxa de água potável da cidade obtida a partir de águas residuais chegue a 30% (LEWIN et al, 2002).

Chipre

Na Ilha de Chipre, no ano de 2001, cerca de 16 milhões de m³ de águas residuais tratadas estavam sendo utilizadas, principalmente na cidade de Nicosia, capital do Chipre. As demandas domésticas e industriais são prioritárias frente ao uso agrícola na região e tem aumentado acentuadamente. Este fato motivou o reuso de cerca de 11 milhões de m³ por ano no setor agrícola a fim de liberar volumes de água de fontes convencionais para cobrir as demandas domésticas e industriais, que requerem água de melhor qualidade. Este fato torna a água residual tratada como a principal fonte de abastecimento para a agricultura no futuro (AEMA, 2001).

3.6 Exemplos de Projetos de Reuso no Mundo

I. Projeto Palestina, Jordânia e Israel (PJIP)

Este projeto em conjunto com a Palestina, Jordânia e pesquisadores de Israel, liderada pelo professor emérito Josef Hagin, busca desenvolver e aplicar tecnologias para tratamento de águas residuais e reutilização na agricultura que são adequados para as condições prevalentes na região. Baixa qualidade do efluente, após tratamento secundário em lagoas de estabilização e reatores de batelada é trazido a normas adequadas para irrigação irrestrita por tecnologias de membrana integrada, microfiltração, ultrafiltração e osmose reversa. Estas tecnologias são adaptadas as pequenas estações de tratamento de água. O manejo de irrigação é projetado para ter em conta a qualidade da água de propriedades, o solo e suas interações, as exigências das culturas, e minimizando os riscos ambientais e de saúde.

O projeto foi financiado ao longo dos anos pela Sociedade Britânica Technion, a Fundação Rothschild e da Fundação Beracha. MERC US-AID (Middle East Research Cooperação) aprovou em maio de 2003 um orçamento de \$ 1794800 por um período de 3 anos para o projeto.

De um total de 500 milhões de m³ do esgoto produzido em Israel em 2008, cerca de 70% dos efluentes foram recuperados. Autoridades locais são responsáveis pelo tratamento de esgoto municipal. Nos últimos anos, estações de tratamento intensivo foram implantadas nos municípios de todo o país. O objetivo final é tratar 100% do esgoto de Israel a um nível que permita a irrigação irrestrita, de acordo com a

sensibilidade do solo e sem risco o solo e a água. Israel vem se destacando na área de agricultura, graças às modernas técnicas de irrigação e a alta taxa de aproveitamento de suas águas residuais para fins agrícolas.

II. Águas residuais usadas em áreas urbanas e peri-urbanas na agricultura vegetal, Kumasi, Gana

Duração: 2001-em curso

Objetivo: estudar o uso corrente de águas residuais na irrigação de vegetais informal, para avaliar possibilidades de parcial tratamento de esgoto no quadro de uma avaliação geral de estratégias apropriadas para a agricultura vegetal segura, produtiva e sustentável em áreas urbanas e peri-urbanas para a agricultura (UPA).

Campo de local de pesquisa: Kumasi, Gana.

Parceiros:

- Kwame Nkrumah Universidade de Ciência e Tecnologia (KNUST), Kumasi
- Universidade de Wageningen, na Holanda

Descrição do projeto:

Este projeto começou em Julho de 2001 para estudar como os agricultores estão usando atualmente águas residuais em fazendas vegetais irrigados nas áreas urbanas e peri-urbana de Kumasi. Informações sobre a qualidade e quantidade de água que os agricultores estão usando, os métodos de irrigação e as práticas agrícolas são avaliadas. Além disso, a procura e a percepção dos agricultores, consumidores e autoridades competentes sobre o uso de águas residuais está sendo estudado. A análise de opções de uma utilização mais segura está sendo realizada sobre o potencial impacto negativo e positivo da irrigação de águas residuais no solo e nas culturas produzidas. Dados também serão obtidos na pós-colheita das culturas.

Com base nas conclusões, o estudo irá fornecer orientações sobre métodos de irrigação melhorados/técnicas, práticas agrícolas e manejo higiênico de legumes para aumentar a produção vegetal sustentável e minimizar os impactos negativos. Serão feitas recomendações ao governo e legisladores no que diz respeito ao potencial de uso de águas residuais segura para a produção vegetal.

III. Equilibrar as preocupações econômicas e ecológicas da irrigação com águas residuais

Duração: 1999-2000

Objetivo: analisar os benefícios econômicos para os agricultores de irrigação de águas residuais e os riscos sanitários e ambientais envolvidos.

Campo de local de pesquisa: Bacia do Rio Guanajuato, México.

Doadores: Este projeto recebeu o apoio do Conselho de Agricultura de Taiwan, o Tao Yuan Fundação para a Pesquisa de Irrigação (Taiwan) e T. São-Jin Memorial Foundation para R & D da Agricultura e Irrigação (Taiwan).

Parceiros:

- Autoridade de Água e Esgoto da Cidade de Guanajuato
- Universidade de Guanajuato

Descrição do projeto:

Pesquisa realizada IWMI (International Water Management Institute) no México consistiu em examinar as vantagens e desvantagens do uso de águas residuais urbanas para a produção agrícola do México Guanajuato da bacia hidrográfica, devido a escassez de água. Aqui, a irrigação de águas residuais é um componente crítico das práticas de reciclagem intensiva de água. Este estudo mostra que a jusante 140 hectares, local de Guanajuato - que é irrigada com esgoto bruto - serve como uma instalação de tratamento de água de fato com retenção significativa de contaminantes. O estudo constatou que o valor econômico das águas residuais utilizadas para a irrigação representa um significativo benefício monetário para a sociedade e os usuários de água.

As conclusões deste estudo sugerem que a continuação da aplicação de águas residuais em terrenos agrícolas nessa área seria uma forma mais econômica de tratamento de águas residuais do que construir uma estação de tratamento de águas residuais. Se uma estação de tratamento for construída, os rendimentos dos agricultores locais líquido seria reduzido, já que teria que comprar nutrientes agrícolas para substituir as anteriormente fornecidas pelo esgoto. A ressalva é que o potencial para sérios impactos negativos sobre a saúde e o meio ambiente devem ser pesquisados e monitorados em uma base contínua.

IV. Aplicação Controlada de Água Residuária e Lodo de Esgoto no Solo, para Melhorar e Incrementar a Agricultura do Semi-Árido Nordeste.

Local: Unidade Acadêmica de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande (PB), com a colaboração da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da mesma instituição.

Colaboradores: Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (CNPQ) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e a Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba (Cagepa).

Objetivos

- Desenvolver estudos de campo que demonstrem a viabilidade do uso controlado de águas residuárias domésticas tratadas por lagoas de estabilização, na irrigação de culturas de interesse econômico da região nordestina;
- Monitorar, de modo sistemático, a qualidade físico-química das águas residuárias utilizadas particularmente com relação à contaminação por microorganismos patogênicos da cultura selecionada (algodão herbáceo; capim-elefante e alface) e à salinização do solo e desertificação;

- Propor métodos adequados de irrigação, para minimizar os riscos de contaminação do trabalhador e do consumidor final do produto.

Descrição do Projeto: Foi estudada a aplicação controlada de água residuária tratada e lodo de esgoto de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), em solos da região semi-árida do Estado da Paraíba, para viabilizar o aumento da produção agrícola, dependente de precipitações pluviométricas cuja frequência e intensidade é variável, comprometendo a produção e a sobrevivência do agricultor que, sem alternativa, migra até os centros urbanos agravando os problemas sociais. Os trabalhos foram desenvolvidos na ETE de Campina Grande (PB). Parcelas experimentais foram delimitadas e cultivadas com algodão (uso industrial), milho, capim-elefante (uso animal) e alface (humano). A água de irrigação era do efluente final da ETE e os métodos de irrigação utilizados foram o sulco (algodão), inundação (capim-elefante) e aspersão (alface). Os trabalhos com o lodo de esgoto (reator UASB, tratando esgoto doméstico), foram desenvolvidos em casa de vegetação da Embrapa – CNPA - Campina Grande (PB). A água de irrigação (esgoto tratado) e o lodo de esgoto foram submetidos a análises físico-químicas, microbiológicas e parasitológicas (ovos de helmintos). Os solos das parcelas experimentais (no campo e na casa de vegetação) foram analisados no início e fim dos experimentos.

Resultados: As análises mostraram elevada contaminação microbiológica do solo, na ordem de 10^5 UFC/100g, tanto nas parcelas irrigadas com água de abastecimento quanto naquelas irrigadas com água residuária, para os indicadores coliformes termotolerantes. Essa contaminação foi associada à presença de bactérias entéricas já existentes no solo antes do início do experimento, pela introdução via efluentes de água residuária como também pela elevada capacidade de manterem-se vivos no solo sob determinadas condições relatadas por Feachem et al. (1983). A produtividade foi elevada, entre 1,0 e 2,5kg/m² e associada à presença do adubo orgânico (estrume bovino).

3.7 Aspectos técnicos de reuso

Pesquisas mostram que em países de clima predominantemente quente, como o Brasil, a tecnologia mais adequada para tratamento de efluentes para uso agrícola são as lagoas de estabilização (MARA; 1976, ARTHUR, 1983). Lagoas em série constituídas por unidades anaeróbias, facultativas e de maturação, com tempos de detenção hidráulicos médios de 10 a 30 dias (dependendo da temperatura) podem ser projetadas para atender às diretrizes da Organização Mundial da Saúde, tanto para coliformes termotolerantes como para helmintos.

A Tabela (2) (MARA; SILVA, 1986), indicam a segurança com a qual lagoas de estabilização em série atendem às diretrizes para reuso irrestrito. E mostra, também, as remoções significativas de DBO e sólidos suspensos proporcionados por sistemas de lagoas em série.

Tabela 2: Desempenho de um sistema de lagoas de estabilização em série no Nordeste do Brasil (temperatura média de 26° C)

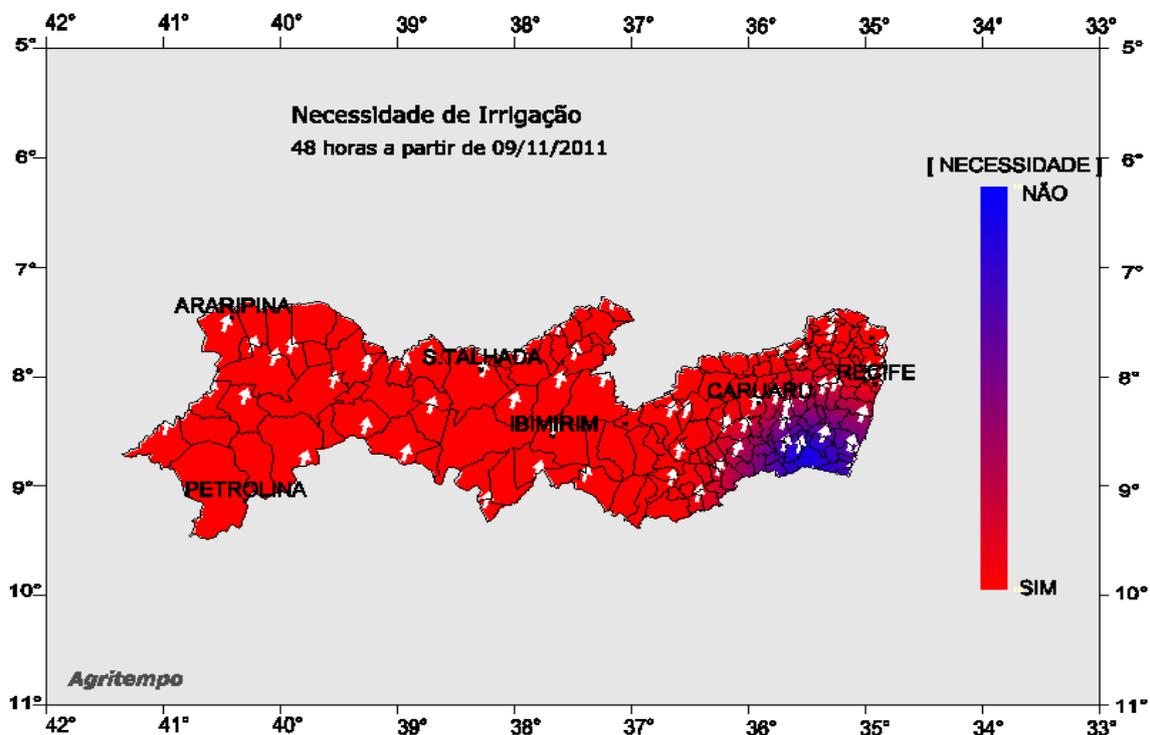
Amostra coletada	tempo de detenção (dias)	DBO ₅ (mg/L)	Sólidos suspensos (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Ovos helmintos (ovos/litro)
Esgoto bruto	-	240	305	4,60E+07	804
Lagoa anaeróbia	6,8	63	56	2,90E+06	29
Lagoa facultativa	5,5	45	74	3,20E+05	1
Lagoa de maturação 1	5,5	25	61	2,40E+04	0
Lagoa de maturação 2	5,5	19	43	450	0
Lagoa de maturação 3	5,8	17	45	30	0

Fonte: Mara and Silva, 1986.

3.8 Necessidade de irrigação

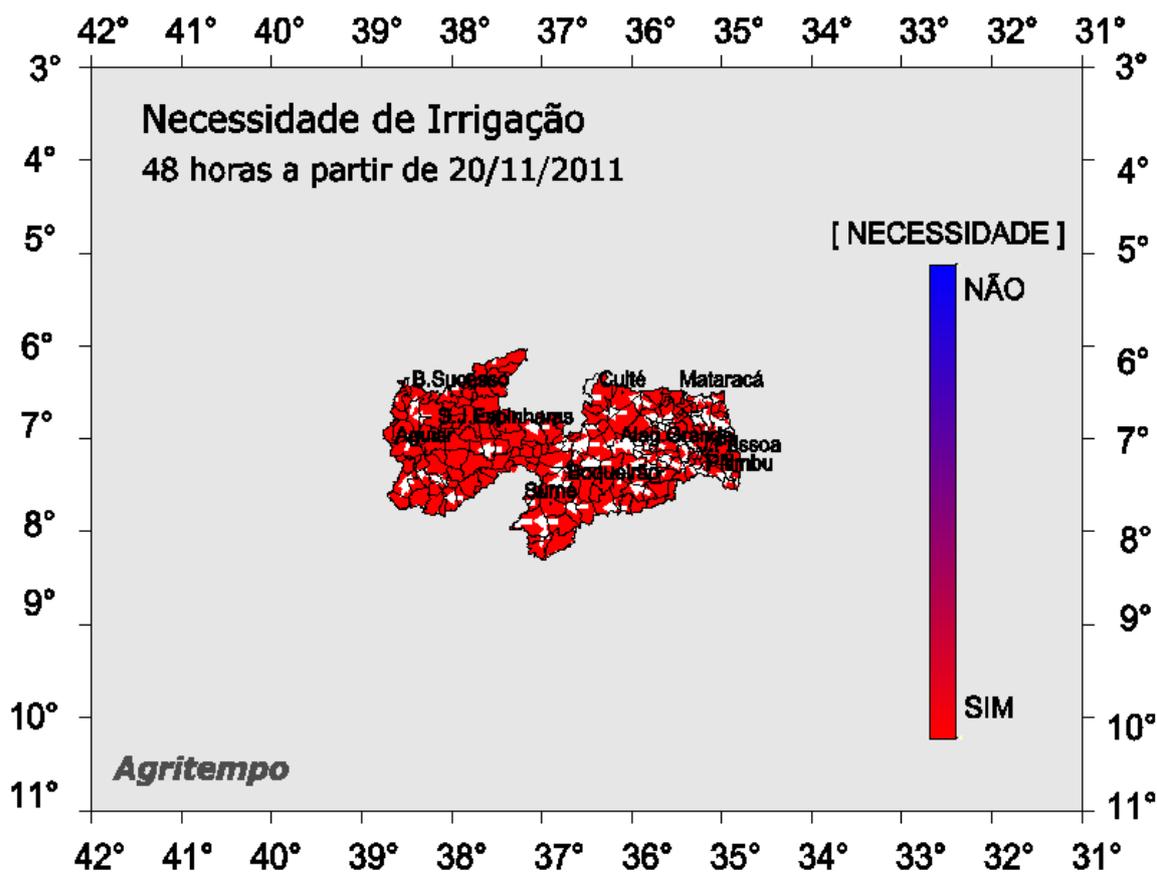
O Sistema Agritempo (<http://www.agritempo.gov.br/>) fornece mapas sobre a necessidade de irrigação para todos os Estados brasileiros. São informações coletadas de inúmeras estações meteorológicas espalhadas no País, atualizadas diariamente (Figuras 2 e 3).

Figura 2: Necessidade de irrigação, pelo período de três dias- Pernambuco



Fonte: Agritempo

Figura 3: Necessidades de irrigação, pelo período de três dias- Paraíba



Fonte: Agritempo

As tecnologias e irrigação com águas residuais pode ser efetuada através dos seguintes métodos:

- Inundação – consiste na cobertura de toda a área cultivada com um lençol d'água com uma determinada espessura, que é função do tipo de solo e da cultura;
- Sulcos e canais – o efluente é distribuído através dos canais e se infiltra no solo, molhando apenas uma pequena parte da superfície do solo;
- Aspersores – o efluente é aplicado em tubulações sob pressão, dispostas no solo, e aspergido através de bocais especiais sobre o terreno, fazendo com que o solo e as culturas sejam molhados de maneira semelhante ao que ocorre durante as chuvas;
- Irrigação subsuperficial – apenas uma pequena porção do solo é molhada, mas permitindo a saturação do subsolo;
- Irrigação por gotejamento – irrigação localizada, na qual a água é aplicada a cada planta, individualmente.

4. Desenvolvimento do Projeto de Tratamento e Reuso Agrícola Integrado

4.1 Apresentação

O referido empreendimento visa fornecer a cidades de pequeno porte as melhores condições sanitárias para provimento do bem estar socioambiental, atendendo simultaneamente às Legislações ambientais vigentes no âmbito Federal, Estadual e Municipal. O sistema proposto para o tratamento é composto por grade, caixa de areia, calha Parshall e lagoas de estabilização, pois, de acordo com a Pesquisa de Informações Básicas Municipais, a presença de esgoto a céu aberto prejudica comunidades em 1.031 municípios brasileiros (46%). No Nordeste, o estado com mais municípios com pelo menos um impacto ambiental relevante foi Pernambuco, onde 82% deles têm esgoto a céu aberto (IBGE, 2011). Este projeto foi desenvolvido tomando como base o crescimento populacional de 1,05% ao ano segundo dados do IBGE, sendo projetado para uma perspectiva de 20 anos de funcionamento acompanhando o desenvolvimento populacional. A região nordeste possui uma temperatura média mínima de 25°C, o que é definitivo para escolha do processo de tratamento dos efluentes, o que indica um tratamento que possa aproveitar essa temperatura para aceleração do processo de tratamento.

4.2 Material e métodos

O objeto principal de estudo é um modelo de layout (arranjo físico) de um sistema de tratamento de efluentes para fins agrícolas.

Para tal, foram utilizados dados bibliográficos de livros, periódicos, e dissertações, buscando referências, conceitos, instrumentos legais existentes relacionados à temática em questão e experiências nacionais e internacionais na técnica de reciclagem de água. A pesquisa bibliográfica abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema estudado, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, materiais cartográficos e meios de comunicação.

4.3 Aspectos construtivos

No que se refere à área de implementação do projeto as lagoas devem ser localizadas pelo menos 200 m (de preferência 500 m) a favor do vento a partir da comunidade que servem e longe de qualquer área provável de expansão futura. Este é principalmente para desencorajar as pessoas a visitar as lagoas. Os principais objetivos de uma investigação geotécnica são para garantir a correta implantação do projeto de terraplenagem e para determinar se o solo é suficientemente permeável para exigir que a lagoa seja alinhada. A altura máxima do lençol freático deve ser determinado, e as seguintes propriedades do solo na proposta da localização da lagoa deve ser verificado:

- distribuição do tamanho de partículas;
- densidade seca máxima e umidade ótima (modificado Teste de Proctor);
- teor de matéria orgânica, e
- coeficiente de permeabilidade.

Pelo menos quatro amostras de solo devem ser tomadas por hectare e as amostras devem ser representativas do perfil do solo a uma profundidade de 1 m maior do que a profundidade da lagoa prevista (MARA e PEARSON, 1986).

Se a permeabilidade do solo é mais do que a máxima, a lagoa deve ser revestida. Uma variedade de materiais de revestimento está disponível e os custos locais ditam o que deve ser usado. Revestimento satisfatório foi alcançado com ordinária cimento portland (8 kg/m^2) e membranas plásticas. Como um guia geral, as seguintes interpretações podem ser colocados sobre os valores obtidos para o coeficiente: $k > 10^{-6} \text{ m/s}$: o solo é muito permeável e as lagoas deve ser revestida; $k > 10^{-7} \text{ m/s}$: algumas infiltrações podem ocorrer; $k < 10^{-8} \text{ m/s}$: ótimo sem problemas nenhum de infiltração; $k < 10^{-9} \text{ m/s}$: não há risco de contaminação das águas subterrâneas; se $k > 10^{-9} \text{ m/s}$ e as águas subterrâneas são utilizadas para o abastecimento potável, estudos hidrogeológicos podem ser necessários (MARA e PEARSON, 1986).

4.4 Investimentos para o Projeto

Os custos do tratamento de efluentes variam amplamente com as características do efluente, processo adotado, clima, critérios de projeto, condições locais e custos locais unitários de mão de obra, materiais, terreno e energia. A estimativa de custos deve compreender o levantamento dos custos de implantação e os custos anuais de operação distribuídos no tempo. Os custos anuais de operação compreendem:

- Juros de empréstimo para execução do projeto;
- Amortização dos empréstimos;
- Depreciação da ETE;
- Seguro da ETE;
- Custos de operação e manutenção da ETE.

Os custos de implantação estimados do projeto da Estação de devem considerar os custos locais de onde o empreendimento será desenvolvido.

A Tabela (3) contempla uma avaliação inicial para implementação do Projeto, levando em conta as informações disponíveis até o presente momento.

Tabela 3: Cronograma para avaliação inicial do projeto.

ATIVIDADES	MESES					
	12/2011	1/2012	2/2012	3/2012	4/2012	5/2012
1. Análises para o Diagnóstico dos Possíveis Problemas	X	X	X	X	X	X
2. Construção da ETE	X	X	X	X	X	X
3. Análises de Monitoramento da ETE	X	X	X	X	X	
4. Escavação das Lagoas	X	X	X			
5. Cursos com os operadores da ETE	X	X	X	X	X	X
5. Previsão de entrega do projeto						X

4.5 Sistemas de irrigação

Na agricultura irrigada, a escolha do sistema de irrigação é o ponto de partida para se estabelecer um planejamento e manejo adequado da irrigação, a fim de propiciar ao produtor, possibilidades de usar o recurso água com a máxima eficiência, aumentando a produtividade das culturas, reduzindo os custos de produção e maximizando a receita líquida dos investimentos. A estação da colheita dos alimentos

pode ser dividida em três pontos: período em safra, com os preços baixos e melhor qualidade dos produtos; período de início ou de final de safra, com alteração de preços e período de entre safra, em que os preços ficam equilibrados, devido à alta procura (Tabela 4).

Tabela 4: Estação para colheita.

	Início de Safra	Safra	Fim de Safra	Entressafra								
Produtos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Couve							Jul	Ago	Set			
Alface	Jan		Mar	Abr								
Laranja								Ago	Set	Out		
Limão			Mar									Dez
Mamão Havaí	Jan		Mar							Out	Nov	
Batata					Mai	Jun	Jul					
Inhame			Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	
Cará			Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			
Maçã				Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out		
Pera			Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago				
Uva				Abr	Mai	Jun	Jul					

Fonte: Centro de Qualidade Hortigranjeira da CEAGESP (SECQH)- 2011

Para computar os fluxos de custos e benefícios observados nas áreas irrigadas, pode-se utilizar um *software* denominado FARMOD, desenvolvido em parceria entre a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) e o BM. O FARMOD compreende modelos de cultivos, de área e produção agrícola, informações relativas ao emprego de insumos e trabalho, e medidas de renda, investimento e custos de operação e de retornos financeiros e econômicos. Em linhas gerais, o *software* FARMOD é empregado para: simular atividades individuais para o financiamento parcial de cultivos anuais e/ou pluri-anuais e de atividades de pós-colheita;

- simular unidades primárias de cultivo (pequenas, médias e grandes), incluindo diferentes combinações de culturas e atividades;
- gerar modelos de sistemas de irrigação, que inclui um conjunto de unidades rurais com agricultura irrigada e atividades anteriores e posteriores da cadeia de produção;
- modelar um conjunto de sistemas de irrigação, permitindo a avaliação de todos os investimentos existentes em um perímetro, incluindo as principais externalidades; e,
- simular a disponibilidade e o uso de mão-de-obra familiar e contratada.

As simulações do FARMOD quantificam o efeito dos investimentos em irrigação em três níveis: projetos de unidades de produção/lotês; projetos de produtos/*commodities*; e, projetos de desenvolvimento regional.

4.6 Resultados

Na Tabela (5) são apresentados os dados usados no cálculo do projeto e os parâmetros adotados, para projeção populacional de 20 anos, prevendo a coleta de todo o esgoto doméstico e encaminhando-o para a estação de tratamento sugerida. A ETE deverá atender a totalidade da população prevista para municípios com até 20.000 habitantes. O projeto foi concebido de forma modular sendo composto por pré-tratamento (gradeamento de barras paralelas, para remoção de sólidos grosseiros, seguido pela caixa de areia, cuja finalidade é reter sólidos de menor diâmetro) e para a ETE do presente projeto, será instalado um medidor Parshall a jusante da caixa de areia, acoplado a uma régua graduada para leitura das lâminas de líquido, e respectivas vazões, seguido de 4 lagoas de estabilização (anaeróbia, facultativa secundária e lagoas de maturação) como mostra a Figura (4). Quando houver desnível suficiente entre a rede de coleta de esgotos e a entrada do sistema propriamente dito é preferível que esta se dê por ação da gravidade; a instalação de uma estação elevatória de esgotos se faz necessária quando não houver cota suficiente para que a entrada do esgoto se dê por ação da gravidade.

Figura 4: Esquema- Estação de Tratamento de Esgotos



- **ESGOTO:**
- *População = 20.000 hab*

$$\begin{aligned}
 \text{População}_{\text{projeto}} &= \text{População}_{\text{atual}} \times (1 + k)^{\text{tempo de projeto}} = \text{População}_{2031} \\
 &= \text{População}_{2011} \times (1 + 0,0105)^{20} = 20.000 \times (1 + 0,0105)^{20} = \\
 &= 24646 \text{ habitantes}
 \end{aligned}$$

Considerando que 70% da população é urbana, tem-se:

$$\text{População}_{\text{projeto}} = 0,70 \times 24.646 \text{ habitantes} = 17.252 \text{ habitantes}$$

O consumo per capita médio na região nordeste, segundo dados do IBGE é de 170 l/hab.d, variando entre 120 l/hab.d (Alagoas) e 240 l/hab.d (Rio Grande do Norte).

$$\text{per capita} = 170 \frac{L}{\text{hab}}$$

Considerando que retorna cerca de 70% do volume de água potável na forma de esgoto, teremos uma vazão média de esgoto:

$$\begin{aligned}
 \text{Per capita de esgoto} &= 70\% \times \text{per capita de água potável} = 70\% \times 170 \frac{L}{\text{hab}} \cdot d \\
 &= \text{Per capita de esgoto} = \frac{119 L}{\text{habitante}} \cdot d
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{méd}} = \text{população} \times \text{per capita} = 17.252 \text{ hab} \times 119 \frac{\text{L}}{\text{hab}} \cdot d = 2052988 \frac{\text{L}}{\text{dia}}$$

$$\cong 2052,988 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \quad \text{realizando arredondamento para que o sistema trabalhe}$$

$$\text{com folga de projeto teremos } Q_{\text{méd}} = 2053 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \cong 0,024 \frac{\text{m}^3}{\text{segundo}}$$

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{méd}} \times 1,2 \times 1,5 = 0,024 \times 1,2 \times 1,5 \cong 0,043 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{mín}} = Q_{\text{méd}} \times 0,5 = 0,043 \times 0,5 \cong 0,022 \text{ m}^3/\text{s}$$

Na Tabela (5) são apresentados os dados de entrada para o cálculo do projeto e os parâmetros adotados.

Tabela 5: Dados e parâmetros do Projeto.

Dados Gerais	Quantidade/Geometria	Unidade
População	20.000	Habitantes (hab)
Tempo do Projeto	20	Anos
Consumo per capita de água potável	170	L/hab.dia
Coefficiente de retorno da água potável na forma de esgoto para a Estação de Tratamento de Águas Residuais .	70%	-
Produção per capita de esgoto	119	L/hab.dia
Vazão média de projeto ($Q_{\text{méd}}$)	2052988	L/dia
Temperatura Média	25	°C
DQO	600	mg/L
DBO	300	mg/L
Coliformes Termotolerantes	1×10^8	CTT/100ml
Ovos helmintos	300	Ovos/l

O pré tratamento deverá ser concebidos para suportar vazões de final de plano.

Tabela 6: Vazões do Projeto.

	20 anos Para o ano de 2031 (L/dia)	20 anos Para o ano de 2031 (m ³ /s)
$Q_{\text{máxima}} =$	3695378,4	0,043
$Q_{\text{média}} =$	2.052.988	0,024
$Q_{\text{mínima}} =$	1026494	0,022

O dimensionamento das partes componentes da ETE como mostrado no Apêndice A, seguiu a seguinte sequência de cálculo, considerando a vazão final de projeto.

GRADEAMENTO

A inclinação da barra deve ser entre 70° e 90° para que ocorra maior rendimento evitando-se que o material desprenda-se facilmente do rastelo.

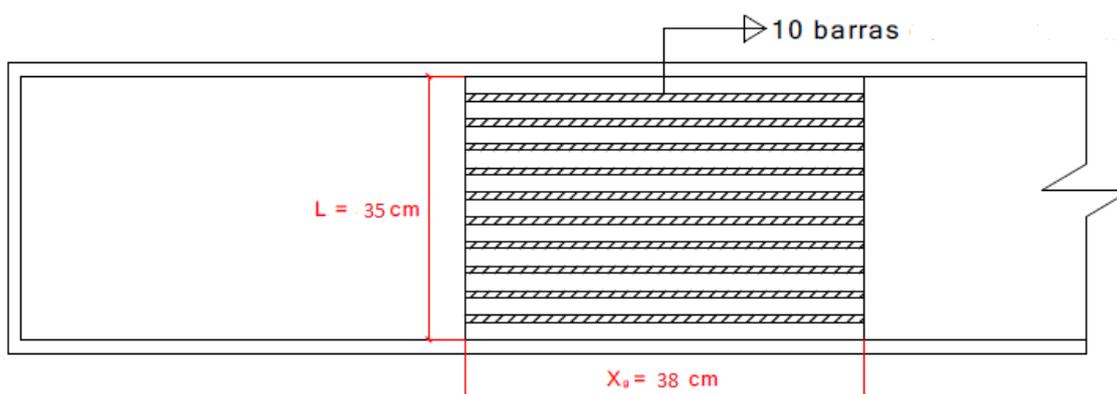
A velocidade de passagem nas grades (v), deverá ficar entre 0,40 m/s e 0,75m/s, adotando-se 0,60 m/s. E a obstrução máxima da grade deverá ser de 50%.

Tabela 7: Dados do gradeamento

Grade	Quantidade/Geometria	Unidade
Ângulo de Inclinação	75	° (graus)
Tipo de Barras	Retangulares	-
Largura da Barra	0,35	m
Espaçamento da Barra	2	mm
Número de Barras	10	-
Número de Espaços	9	-
Eficiência	50	%
Área Útil	0,072	m ²
Seção no local da grade	0,144	m ²
Velocidade Máxima	0,6	m/s
Comprimento da grade	0,38	m
Perda de Carga	0,009	m

A Figura (6) mostra as dimensões encontradas para a grade:

Figura 6- Detalhamento da unidade de gradeamento



DESARENADOR E MEDIDOR PARSHALL

De acordo com a NBR-12209, a limpeza do desarenador deve ser mecanizada, pois a vazão máxima é superior a 250 l/dia.

As calhas Parshall constituintes de uma ETAR possuem dimensões predefinidas e sua escolha dependente das vazões mínima e máxima de projeto, a calha que atende as vazões do projeto é a W = 3" (AZEVEDO NETO, 2008).

- Velocidade de passagem nas grades (v), deverá ficar entre 0,40 m/s e 0,75m/s, adotando-se 0,60 m/s.
- Obstrução máxima da grade = 50%.
- Manter velocidade no desarenador em 0,30 m/s. (variação mínima de 20% - 0,24 a 0,36 m/s).

Tabela 8: Dados do desarenador e da calha Parshall

Desarenador/Calha Parshall	Quantidade/Geometria	Unidade
Largura da Garganta	7,6	cm
Rebaixo (Z)	10,3	cm
Largura do Canal	0,48	m
Velocidade Máxima	0,3198	m/s
Velocidade Mínima	0,3198	m/s
Comprimento da Caixa de Areia	3,75	m
Comprimento canal	7,9	m
Altura h	0,27	m
Altura h2	0,189	m
Altura h3	0,27	m
Rebaixo na Garganta	0,056	m
NA	0,351	m

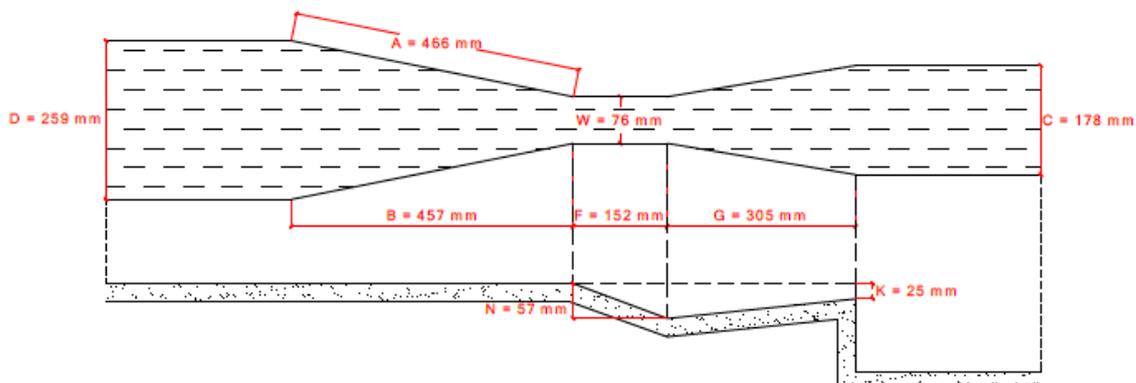
As dimensões encontradas podem ser observadas conforme a Figura (7):

Figura 7- Detalhamento da caixa de areia



Para a largura encontrada de 3", temos as demais dimensões obtidas conforme Azevedo Netto et alli (1998):

Figura 8- Detalhamento da calha Parshall



LAGOA ANAERÓBIA

As lagoas anaeróbias são normalmente empregadas para estabilização de altas cargas orgânicas aplicadas e atuam como unidade primária em um sistema em série de lagoas. Sua função principal é a degradação da matéria orgânica (DBO e DQO) envolvendo a participação de bactérias facultativas e estritamente anaeróbias.

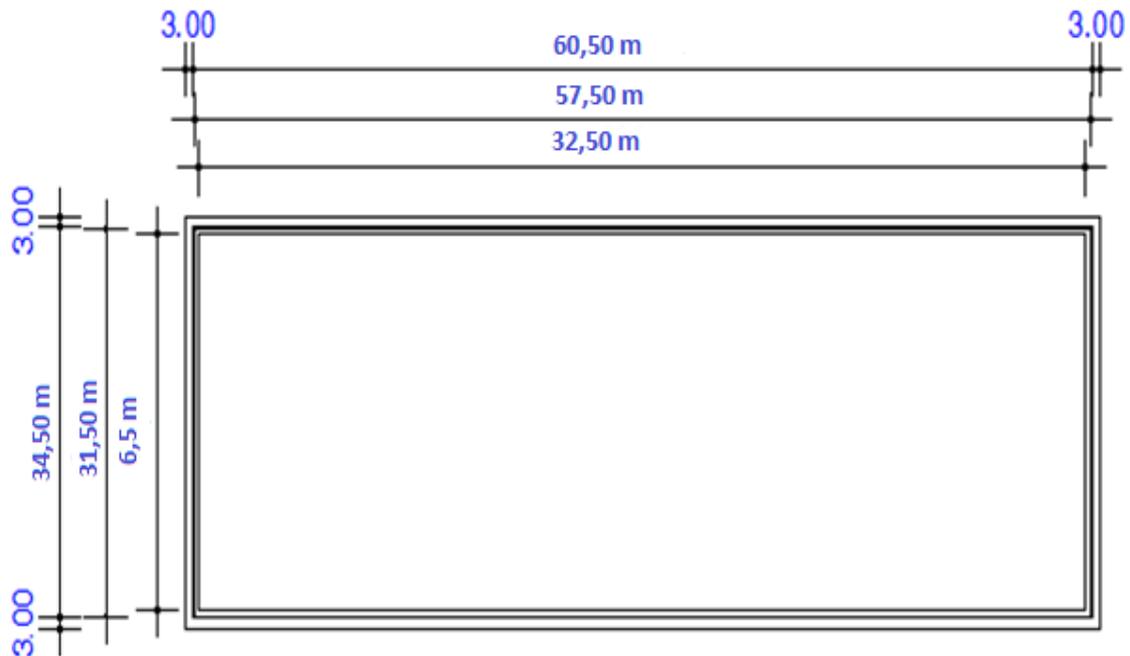
A temperatura usada no projeto vai ser de 25°C, a concentração de DBO do afluente é de 300mg/L (adotada). Os dados e par

Tabela 9: Base de Dados e Parâmetros – Lagoa anaeróbia

Lagoa Anaeróbia	Quantidade/Geometria	Unidade
Coliformes Termotolerantes	1×10^8	CTT/100ml
Vazão	2052988	l/dia
Número de Lagoas	1	-
Direção dos ventos	Norte para Sul	-
Fluxo da Lagoa	Sul para Norte	-
Inclinação do Talude Interno e Externo	1:2,5	-
Borda Livre	0,6	m
Profundidade da Lagoa	2	m
Tempo de Detenção Hidráulica do efluente no sistema	2	dias
Volume de Cada Lagoa	4105,976	m ³
Área	821,19	m ²
Comprimento de Fundo	32,50	m
Comprimento NA	57,50	m
Comprimento na Crista do Talude	60,50	m
Largura de Fundo	6,5	m
Largura NA	31,50	m
Largura na Crista do Talude	34,50	m

De acordo com o dimensionamento, a lagoa anaeróbia tem as seguintes dimensões, Figura (9):

Figura 9: Detalhamento da Lagoa anaeróbia



LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA

Nas lagoas facultativas secundárias, as diferentes razões entre comprimento, largura e profundidade têm pouco efeito na qualidade do efluente em termos de DBO₅, SS e CTT (Pearson et al, 1995). Assim, se aumentar a profundidade das lagoas facultativas e, portanto, o tempo de detenção hidráulica, mantendo a mesma carga orgânica superficial, não melhora significativamente a qualidade físico-química ou microbiológica do efluente. Os autores ainda continuam dizendo que alguns projetistas têm a tendência de aumentar a profundidade da lagoa como uma maneira de aumentar o tempo de detenção na série de lagoas, na crença de que isto produzirá uma melhor qualidade do efluente em termos de microbiologia.

A carga afluente é o efluente da lagoa anaeróbia, como a eficiência de remoção na lagoa anaeróbia é de 60%, a carga afluente a lagoa facultativa é de 246,35 kg de DBO/d.

Para climas quentes e altas insolações e radiações solares como o nordeste brasileiro, pode ser usada uma taxa bem alta, considerando-se a lagoa facultativa secundária, tem-se segundo Mara e Pearson (1997) para T=25°C, uma taxa de aplicação superficial de 350 Kg de DBO/ha.d.

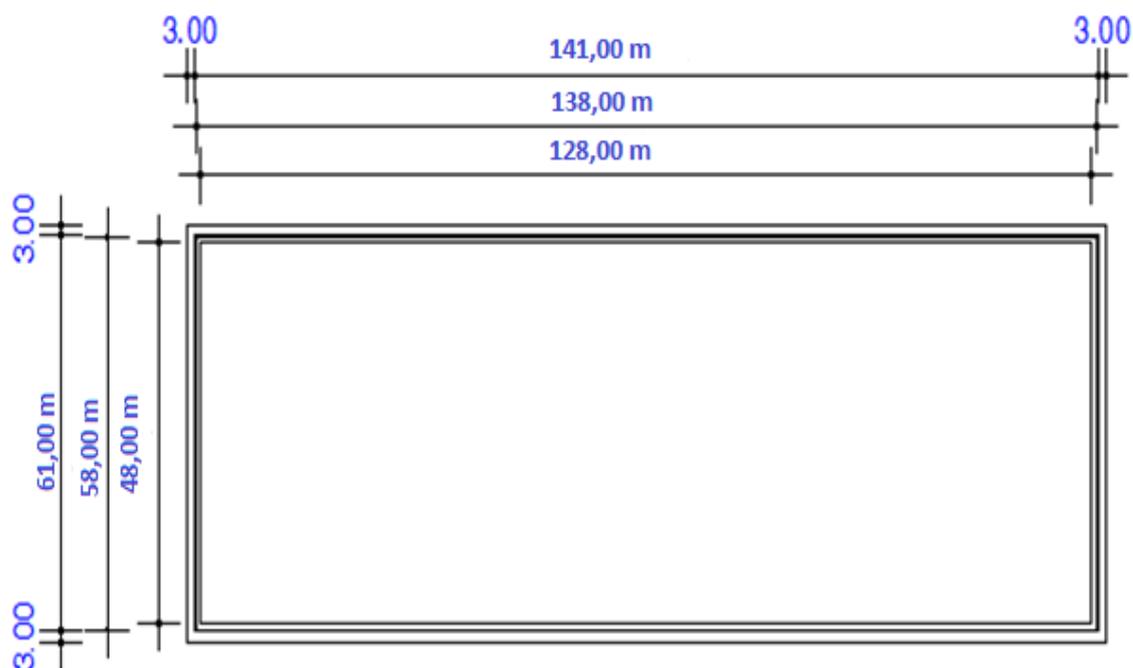
A base de dados e parâmetros utilizados no dimensionamento da lagoa facultativa secundária são mostrados na Tabela (10).

Tabela 10: Base de Dados e Parâmetros- Lagoa facultativa secundária.

Lagoa Facultativa Secundária	Quantidade/Geometria	Unidade
Carga afluenta a lagoa facultativa	246,35	Kg de DBO/dia
Taxa de aplicação superficial	350	Kg de DBO/ha.d
Área requerida	7038,74	m ²
Volume	14098	m ³
Comprimento de fundo	128	m
Comprimento no nível da água	138	m
Comprimento da crista do talude	141	m
Largura do fundo	48,00	m
Largura no nível da água	58,00	m
Largura na crista do talude	61,00	m
TDH	6,86	dias
Eficiência (An+Fac)	85,14%	-
Área total requerida (Na +Fac)	0,78	ha

A lagoa facultativa secundária apresenta as seguintes dimensões (Figura 10):

Figura 10: Detalhamento da Lagoa Facultativa Secundária



LAGOA DE MATURAÇÃO

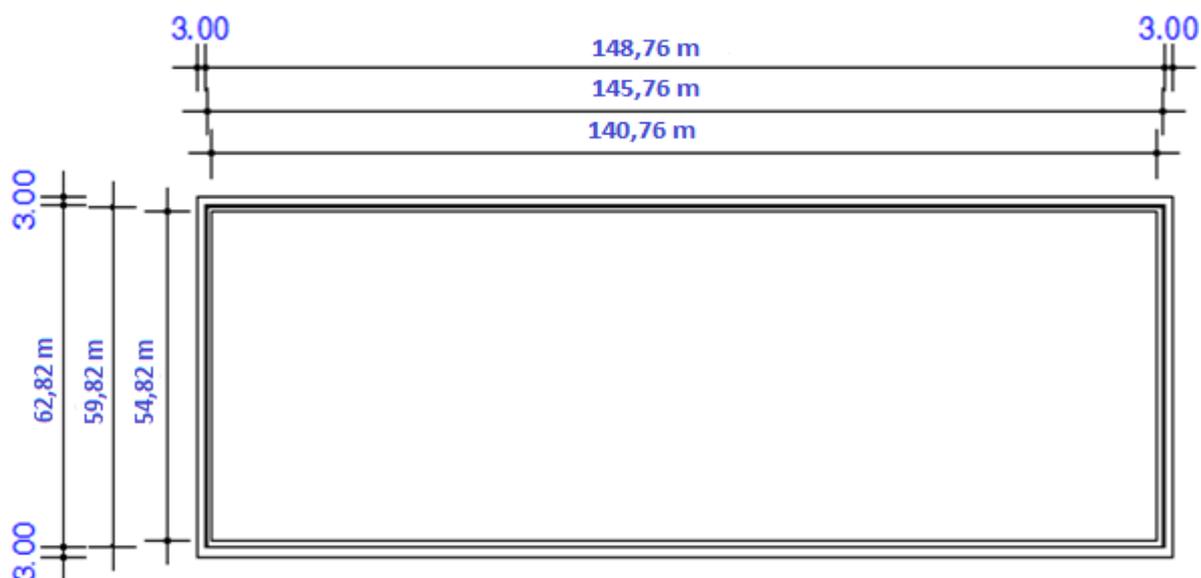
As lagoas de maturação são predominantemente aeróbias, em virtude da remoção de grande parte da carga orgânica nos tratamentos precedentes, tendo como objetivo principal a remoção de organismos patogênicos e de nutrientes, a base de dados e parâmetros adotados para o seu dimensionamento encontra-se na Tabela (11).

Tabela 11: Base de Dados e Parâmetros- Lagoa de maturação

Lagoa de Maturação	Quantidade/Geometria	Unidade
Coliformes Termotolerantes	1×10^8	CTT/100ml
Ovos helmintos afluente	300	ovos/l
Vazão	2.052.988	l/dia
Número de Lagoas	2	-
Coliformes Termotolerantes efluentes	257,55	CTT/100ml
Disposição das Lagoas	Série	-
Direção dos ventos	Norte para Sul	-
Fluxo da Lagoa	Sul para Norte	-
Inclinação do Talude Interno	1:2,5	-
Borda Livre	0,6	m
Profundidade da Lagoa	1	m
Tempo de Detenção Hidráulica do efluente no sistema	4	dias
Volume de Cada Lagoa	8211,952	m ³
Eficiência lagoa maturação	99,99%	-
Área (2 lagoas maturação)	1,64	ha
Área sistema de lagoas (An+Fac+Mat)	3,00	ha
Remoção de ovos helmintos	0,06	ovos/l
Comprimento de fundo	140,76	m
Comprimento de nível de água	145,76	m
Comprimento na crista do talude	148,76	m
Largura de fundo	54,82	m
Largura do nível de água	59,82	m
Largura na crista do talude	62,82	m

A Figura (11) mostra as possíveis dimensões das lagoas de maturação.

Figura 11: Detalhamento das lagoas de maturação



A entrada do afluente na lagoa deve satisfazer às seguintes condições:

- ❖ Garantir uma ampla homogeneização do líquido;
- ❖ Ser submersa, de forma a não possibilitar o desprendimento de gases mal cheirosos.

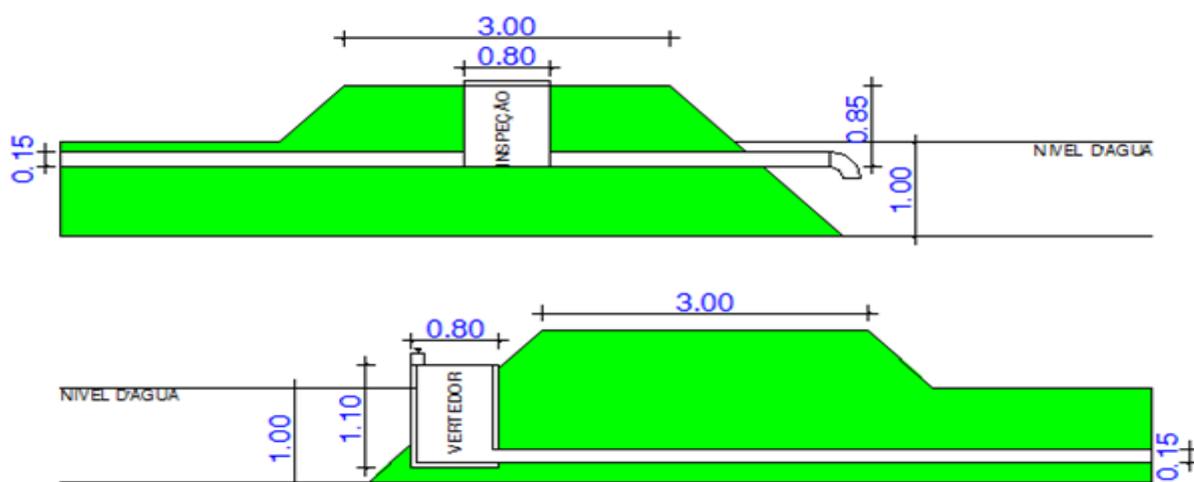
- ❖ Evitar o solapamento dos taludes e do fundo da lagoa.

A saída do efluente da lagoa deve levar em consideração os seguintes aspectos:

- ❖ Situar-se na extremidade oposta à da entrada, para evitar curtos-circuitos;
- ❖ Não deve situar-se no mesmo alinhamento da entrada
- ❖ Podem ser de nível fixo ou variável;
- ❖ Possuir placas defletoras com alcance abaixo do nível d'água.
- ❖ Fácil acesso para permitir medição de vazões.

O detalhamento dos dispositivos de entrada e saída das lagoas são apresentados na Figura (12).

Figura 12: Detalhamento- Dispositivos de Entrada e Saída das lagoas.



Considerando que já existe um número considerável de sistemas de tratamentos de águas residuais do tipo lagoas de estabilização implantados na Região Nordeste, e a comprovada eficiência deste modelo de tratamento, quando adequadamente gerenciado, expresso pela qualidade dos seus efluentes finais, justifica os investimentos que venham a ser aplicados para implantação de sistemas integrados de tratamento e reúso permitindo o desenvolvimento de modelos otimizados para aplicações mais amplas. Com este intuito é que tomamos o sistema composto por lagoa anaeróbia, facultativa secundária e uma série de lagoas de maturação onde os efluentes tratados, com os devidos ajustes podem representar um grande potencial de reúso agrícola, através de sistemas de irrigação adequados.

Conforme o dimensionamento proposto, o número de coliformes termotolerantes no efluente final corresponderá a 257,55 *CTT/100ml* e a remoção de ovos helmintos 0,06 ovos/l, logo o sistema proposto deverá atender as diretrizes da WHO, para irrigação irrestrita.

O esgoto da cidade de 20.000 habitantes pode suportar um projeto de irrigação de 15,18 ha – 30,36 ha em 2011 (14.000 habitantes), ampliando para 18,71ha – 36,50ha em 2031 (17.252 habitantes), levando-se em consideração a evaporação do sistema de 5mm/dia e 10mm/dia, respectivamente.

Para os sistemas de irrigação propostos (Apêndice B) a irrigação por aspersão convencional foi projetado para ocupar área de 16,2 ha (540 m x 300 m), e para o sistema de irrigação por gotejamento a área total do projeto foi de 9,72 ha, cada unidade operacional terá 1,62 ha.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação realizada permitiu concluir que:

- Os conhecimentos internacionais e nacionais de reuso, associados a atitudes prudentes de aplicação com novos estudos e pesquisas sendo desenvolvidos, estimulam a implementação da técnica com competência.
- Segundo VAN DER HOEK et al. (2002), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária para fins agrícolas residem na conservação da água disponível e na possibilidade de aporte e reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos), concorrendo para a preservação do meio ambiente.
- As características similares de clima e escassez de água que existem entre Israel e a região do semi árido brasileiro podem, em princípio, levar a crer que a experiência bem sucedida deste país, no campo da agricultura irrigada, utilizando águas residuais, poderá ser facilmente repetida no Brasil.
- A utilização das águas residuais na agricultura favorece a continuidade na produção agrícola em localidades que não possuem outra fonte de água durante a estação seca a não ser esgotos.

Diante do exposto, a implantação de uma ETE e de sistemas de irrigação adequados, garantem o sucesso de reuso. Neste processo o esgoto é tratado em lagoas artificiais (taludes de terra), onde as algas promovem a aeração e as bactérias, a transformação da matéria orgânica. Juntas elas proporcionam o necessário equilíbrio ao sistema, ou seja, uma biodegradação compatível com o oxigênio produzido pelas algas (Neto, 1997; D'Avignon *et al.*, 2002). O financiamento público é justificável, devido à poupança resultante dos gastos com a saúde pública e com outras externalidades, como a melhoria da produtividade das pessoas. Investimentos em saneamento, além de proporcionar os benefícios relacionados à salubridade, tendem a instigar o desenvolvimento socioeconômico da região, acarretando novos investimentos em outros setores da economia, principalmente no setor agrícola, em que já foi comprovado o aumento da produtividade, em vários países com características semelhantes ao nordeste brasileiro que fazem uso desta tecnologia em comparação com o uso de água de abastecimento e adição de fertilizantes artificiais. E em períodos de chuvas, como a irrigação é desnecessária as águas residuais tratadas podem ser lançadas em um manancial sem danos ao meio ambiente, de acordo com a resolução CONAMA nº. 430 de 13 de maio 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEMA. **Sustainable water use in Europe**. Part 2: Demand management. n. 19. Environmental issue report. European Environment Agency, 2001. Disponível em: <http://www.eea.eu.int/> Acesso em: 10 agosto. 2011.

Águas Residuais Urbanas: um recurso valioso para agricultura. Um Estudo de Caso de Haroonabad, Paquistão. IWMI Research Report. Disponível em: <http://www.water.tkk.fi>. Acesso em: 09 de setembro de 2011, às 10:00 horas.

ALVAREZ, H. R. **El valle de Mezquital. México: Estudio de caso VII.** Disponível em : <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repedisv/publica>. Acesso em 28 de agosto de 2011.

ANGEKALIS, A.N. MARECOS, DO MONTE, M.H.F. BONTUOX, L.; ASANO T. **The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin need for guidelines.** Water Resources, Bethesda, v, 33, p. 2201-2217, 1999.

Aplicação controlada de água residuária e lodo de esgoto no solo, para melhorar e incrementar a agricultura do semi-árido nordestino – Brasília: Funasa, 2007.

AZEVEDO NETTO, J. M, (et al). **Manual de hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Edgar Bucher, 1998.

BAHRI, Akissa. **Water reclamation and reuse criteria.** In: ASANO, Takashi. Water quality management library – Volume 10/Wastewater reclamation and reuse. Pennsylvania, USA: Technomic Publication, 1998.

BISWAS, A. K. **Role of wastewater reuse in water planning and management.** IN: Treatment and Reuse of Wastewater, Ed. Butterworths, 1988.

COSTA, Bernardi Cristina. **Reuso de água para irrigação.** Dissertação. Orientador Ph.D: Gertjan Beekman, ISEA-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, 2003. (Especialização *Lato Sensu*, modalidade MBA, em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada).

CROOK, J. **Crítérios de qualidade de água para reuso.** Revista DAE, v.53, n. 174, p.10-18, 1993.

CIRRA - CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REUSO DE ÁGUA. **Reuso de água.** Universidade de São Paulo. 2002. Disponível na Internet: <www.usp.br/cirra/reuso>. Citado: 10 Jan. 2003.

CONAMA. **Resoluções do conselho nacional do meio ambiente**, Leis, etc. Brasília: SEMA, 2011.

D'Avignon, A. (ed) (2002). **Manual de auditoria ambiental para estações de tratamento de esgotos domésticos.** Rio de Janeiro, Qualitymark.

Escassez de água e vulnerabilidade: México, em uma perspectiva global. Disponível em: <http://www.water.tkk.fi/wr/tutkimus/glob/publications/Mexico/mexw1.html>. Acesso em 16 de setembro de 2011, às 18:56.

FEENSTRA, S.; Hussain, R.; Van der Hoek, W. (2000) **Riscos para a Saúde da irrigação com águas residuais urbanas não tratadas no Punjab do Sul, Paquistão**. IWMI Paquistão Assinalar.

FIESP/CIESP. **Manual de conservação e reúso de água para a indústria**. São Paulo, 2004. Vol 1.

GARCIA, Hélio Carlos & GARAVELO, Tito Márcio. **Geografia do Brasil: dinâmica e contrastes**. São Paulo: Scipione, 1996.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. São Paulo, 2001. Separata de: Resumo de trabalhos técnicos III ENCONTRO DAS ÁGUAS, Chile, 2001.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2006**. Nordeste: IBGE.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2011. **Censo Demográfico 2010**. Nordeste: IBGE.

LEWIN, M. **Enhancing and maintaining water quality for metropolises**. COMMISSION'S REPORT. World Association of the Major Metropolises, 2002. Disponível em: < www.metropolis.org >. Acesso em: 05 set. 2011.

MARA, D. D. **Design manual for sewage lagoons in the tropics**. East African Literature Bureau, Nairobi. 1975.

MARA, D. D., PEARSON, H. Artificial freshwater environmental: Waste stabilization ponds. In **Biotechnology**, v. 8, p. 177-206, 1986.

MARTÍNEZ, I. 1989. *Depuración de Aguas Emergentes con Plantas*. Madrid, Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering - Treatment and reuse**. 4.ed. New York: McGraw Hill, 2003.

MELLO, Jorge Luiz Pimenta (et al) . **Irrigação**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

Necessidade de irrigação. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>, Acessado em 10 de setembro de 2011, às 11:00 horas.

Neto, C. O. Andrade (1997). **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira**. Rio de Janeiro, ABES.

NOLDE, E. **Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - Over ten years of experience in Berlin**. *Urban Water*, v.1, n.4, p.275-84, 1999.

ODENDAAL, P.E., et al. **Wastewater reuse in South Africa. Wastewater Reclamation and Reuse.** T. Asano (Ed.), Water Quality Management Library v. 10, Technomics Publishing, 1998

OKASAKI, Wagner. **Discussões da Rede Sobre Utilização de Águas Residuais.** Disponível em :[http:// www .agrisustentavel .com/discussoes/ dutagres.htm](http://www.agrisustentavel.com/discussoes/dutagres.htm). Postado em: 30 de Julho de 1998. Acessado em 15 de setembro de 2011, às 19:30 horas.

Projeto Jordânia, Israel e Palestina. Disponível em: [http:// gwri.technion.ac.il/main.php? location= about&action=about&index=research_prog](http://gwri.technion.ac.il/main.php?location=about&action=about&index=research_prog). Acesso em 27 de setembro de 2011, às 15:00 horas.

PEARSON, H. et al. The influence of pond geometry and configuration on facultative and maturation waste stabilization pond performance and efficiency. **Wat. Sci. Tech.**, v. 31, n. 12, p. 129-139, 1995.

Projeto reúso- Disponível em: [http://www2.ana.gov.br/Paginas/projetos Reuso.aspx](http://www2.ana.gov.br/Paginas/projetos/Reuso.aspx). Acesso em 12 de agosto de 2011, às 17:00 horas.

Reutilização de águas residuais urbanas para a produção agrícola na água curto-Bacia do Rio Guanajuato, no México. IWMI Research. Disponível em: <http://www.water.tkk.fi>. Acesso em 10 de setembro de 2011 às 11:00.

THE ISRAEL. **Export and International Cooperation Institute.** Israel agriculture. Tel Aviv, 2003.

Uso de águas residuais não tratadas na agricultura periurbana no Paquistão: Riscos e Oportunidades. IWMI Relatório de Pesquisa .Disponível em: <http://www.water.tkk.fi>. Acesso em: 16 de agosto de 2011, às 20:00 horas.

VAN DER HOEK, W. **Urban wastewater: a valuable resource for agriculture.** A case study from Horoonabad, Pakistan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2002. 29 p. (Research Report, 63).

VOMERO, M.F.; ANGELO, C.; MELLO, M. **A Era da falta d'água.** Super Interessante. São Paulo, ano 14. n. 7. p. 48-54. jul / 2000

WHO. **WHO Guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater. Wastewater and excreta use in aquaculture,** WHO, unep, Genebra, suíça, 2006. v.III

APÊNDICE A- MEMORIAL DE CÁLCULO - ETE

DIMENSIONAMENTO DA GRADE MECANIZADA

Eficiência da grade

a (espaçamento entre as barras) = 20 mm (adotado)

t (espessura das barras)= 20 mm (adotado)

$$E = \frac{a}{a + t} = \frac{20}{22 + 20} = 0,5 = 50\%$$

Área útil (m²)

Q máx = 0,043 m³/s

V máx = 0,60 m/s

$$Au_{2031} = \frac{Q_{máx}}{V_{máx}} = \frac{0,043 m^3/s}{0,6 m/s} = 0,072 m^2$$

Seção no local da grade (m²)

$$S_{2031} = \frac{Au_{2031}}{E} = \frac{0,072 m^2}{0,5} = 0,144 m^2$$

Largura da grade (m)

$$b = \frac{At}{hmáx}$$

$$b = \frac{0,144 m^2}{0,41 m} = 0,35 m$$

Cálculo do comprimento da grade

O diâmetro da tubulação afluente a grade é de 150 mm.

A profundidade do mesmo é de 0,10 m

Sabendo disso e, sabendo-se que o comprimento da grade é obtido pela fórmula:

$$X_{grade} = \frac{hv}{tg 60}$$

$$hv = hmáx + hf + D + 0,10$$

$$hv = 0,41 + 0,009 + 0,150 + 0,10$$

$$hv = 0,67 m$$

$$X_{grade} = \frac{0,67}{tg 60}$$

$$X_{grade} = 0,38 m$$

Verificação da velocidade

$$\text{Velocidade de aproximação } V_0 \text{ para a vazão máxima: } V_{0 \text{ máx}} = \frac{Q_{máx}}{S_{2031}}$$

$$V_{o_{m\acute{a}x\ 2031}} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{S_{m\acute{a}x}} = \frac{0,043\ m^3/s}{0,144\ m^2} = 0,298\ m/s$$

Quantidade de barras

Número de barra Nb e de espaçamento Ne da grade:

$$Nb = Ne + 1$$

$$(Ne \times a) + (Nb \times t) = L$$

Onde: a= 0,02 e t=0,02 m;

Então:

$$(Ne \times a) + (Nb \times t) = L$$

$$(0,02Ne) + (0,02Ne + 0,02) = 0,35$$

$$0,04Ne = 0,33$$

$$Ne = 8,25 \cong 9(\text{número de espaçamentos})$$

$$Nb = Ne + 1$$

$$Nb = 9 + 1$$

$$Nb = 10\ (\text{número de barras})$$

Perda de carga na grade

As perdas de cargas serão calculadas pelas fórmulas de Kirshmer e a simplificada, respectivamente, de forma que a primeira considera a grade e seus obstáculos e a segunda considera o duto livre.

❖ Fórmula de Kirshmer:

$$hf = \beta \times \left(\frac{t}{a}\right)^{\frac{4}{3}} \times \text{sen}(\theta) \left(\frac{V_{m\acute{a}x}^2}{2 \times g}\right)$$

Onde β é o valor de referência para cada seção das barras, de acordo com o tipo de barra retangular escolhida: $\beta = 2,42$ e

$$f = \beta \times \left(\frac{t}{a}\right)^{\frac{4}{3}} \times \text{sen}(\theta) \left(\frac{V_{m\acute{a}x}^2}{2 \times g}\right) = 2,42 \times \left(\frac{1,0}{2,5}\right)^{\frac{4}{3}} \times \text{sen}(75) \times \left(\frac{(0,42\ \frac{m}{s})^2}{2 \times 9,8\ \frac{m}{s^2}}\right)$$

$$hf = 1,42\ m$$

❖ Fórmula simplificada:

$$hf = 1,43 \times \left(\frac{V_{m\acute{a}x}^2 - V_{o_{m\acute{a}x}}^2}{2 \times g}\right) = 1,43 \times \left(\frac{(0,6)^2 - \left(0,42\ \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,8\ m/s^2}\right) = 0,009\ m$$

DESARENADOR E MEDIDOR PARSHALL

Comprimento da caixa de areia

$$L = 22,5 (hméd - z)$$

$$L = 22,5 (0,27 - 0,103)$$

$$L = 3,75\ m$$

Largura do canal

Adota-se a velocidade $u = 0,30\ m/s$ (ABNT, 1992) para determinar a largura do canal (b).

$$b = \frac{Q\ méd}{u_{méd}(hméd - z)}$$

$$b = \frac{0,024}{0,30(0,27 - 0,103)}$$

$$b = 0,48\ m$$

Taxa de escoamento superficial

$$q = \frac{Q_{\text{méd}}}{B \times L} = \frac{2073,6}{3,75 \times 0,48} = 1.152 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$$

Tabela 12: Dimensões do Medidor Parshall (cm) e Vazão com escoamento livre (L/s)

W (pol)	W (cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	Vazão com Escoamento Livre (L/s)
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	0,3 - 5,0
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7	2,5	3,8	0,8 - 53,8
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	5,1	7,6	1,4 - 110,4
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4	5,1	7,6	2,5 - 252,0
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	3,1 - 455,9
1 1/2'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	4,2 - 696,6
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	11,9 - 937,3
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	17,3 - 1426,3
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	36,8 - 1922,7
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	45,3 - 2423,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	73,6 - 2930,8
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	85,0 - 3437,7
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	349,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,1	7,6	99,1 - 3950,2
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	200,0 - 5660,0

Calha Parshall W = 3"

Logo, são calculadas as alturas máxima, média e mínima pela equação de Azevedo Neto.

$$h_{\text{máx}} = \left[\frac{Q_{\text{máx}}}{2,2 \times W} \right]^{\frac{2}{3}} = \left[\frac{0,043 \text{ m}^3/\text{s}}{2,2 \times 0,076 \text{ m}} \right]^{\frac{2}{3}} = 0,41 \text{ m}$$

$$h_{\text{méd}} = \left[\frac{Q_{\text{méd}}}{2,2 \times W} \right]^{\frac{2}{3}} = \left[\frac{0,024 \text{ m}^3/\text{s}}{2,2 \times 0,076 \text{ m}} \right]^{\frac{2}{3}} = 0,27 \text{ m}$$

$$h_{\text{mín}} = \left[\frac{Q_{\text{mín}}}{2,2 \times W} \right]^{\frac{2}{3}} = \left[\frac{0,022 \text{ m}^3/\text{s}}{2,2 \times 0,076 \text{ m}} \right]^{\frac{2}{3}} = 0,26 \text{ m}$$

Cálculo do rebaixo

$$Z = \frac{Q_{\text{máx}} \times h_{\text{mín}} - Q_{\text{mín}} \times h_{\text{máx}}}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}} = \frac{0,043 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 0,26 \text{ m} - 0,022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 0,41 \text{ m}}{0,043 - 0,022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 0,103 \text{ m}$$

Velocidades máximas e mínimas

$$\text{velocidade máxima} = \frac{Q_{\text{máx}}}{b (H_{\text{máx}} - z)}$$

$$\text{velocidade máxima} = \frac{0,043}{0,48 (0,41 - 0,103)}$$

$$\text{velocidade máxima} = 0,30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{velocidade mínima} = \frac{Q_{\text{mín}}}{b (h_{\text{mín}} - z)}$$

$$\text{velocidade mínima} = \frac{0,022}{0,48 (0,26 - 0,103)}$$

velocidade mínima = 0,30 m/s

Níveis da água na calha (h_1 , h_2 e h_3):

$$h = h_{méd} = 0,27 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,7 \times h = 0,7 \times 0,27 \text{ m} = 0,189 \text{ m}$$

$$h_3 = h = 0,27 \text{ m}$$

$$hf = h - h_2 = 0,27 \text{ m} - 0,189 \text{ m} = 0,081 \text{ m}$$

Calculando o rebaixamento (M), onde $K + M = h_3 - h_2$

$$M = h_3 - h_2 - K = 0,27 \text{ m} - 0,189 \text{ m} - 0,025 = 0,056 \text{ m}$$

$$NA_3 = h_3 = 0,27 \text{ m}$$

$$NA = NA_3 + hf = 0,27 \text{ m} + 0,081 \text{ m} = 0,351 \text{ m}$$

LAGOA ANAERÓBIA

Carga afluyente de DBO é de:

$$\text{➤ } \text{Carga} = \text{DBO}_{\text{afluyente}} * Q_{\text{méd}}$$

$$\text{Carga} = \frac{300 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 2052988 \frac{\text{l}}{\text{dia}}}{10^6} \text{ ➔ } \text{Carga} = \mathbf{615,89 \text{ Kg de DBO/d}}$$

A taxa de aplicação volumétrica (L_v), segundo Sperling é dada pela equação $(0,01T - 0,10)$, onde T é a temperatura média, logo:

$$L_v = 0,01T - 0,10 = (0,01 \times 25) - 0,10 \text{ ➔ } L_v = \mathbf{0,15 \text{ Kg de DBO/m}^3 \cdot \text{d}}$$

➤ Cálculo do volume requerido:

$$V = \frac{\text{Carga}}{L_v} = \frac{615,89 \text{ Kg de DBO/d}}{0,15 \text{ Kg de DBO/m}^3 \cdot \text{d}} \text{ ➔ } V = \mathbf{4105,976 \text{ m}^3}$$

➤ Para TDH:

$$\text{TDH}_{2031} = \frac{V}{Q_{2031}} = \frac{4105,976 \text{ m}^3}{22052,988 \text{ m}^3/\text{dia}} \text{ ➔ } \text{TDH}_{2030} = \mathbf{2,00 \text{ d}}$$

Determinando as possíveis dimensões na lagoa anaeróbia, adotando uma profundidade de $h = 5 \text{ m}$, vamos ter:

$$A = \frac{V}{h} = \frac{4105,976 \text{ m}^3}{5 \text{ m}} \text{ ➔ } A = \mathbf{821,19 \text{ m}^2}$$

As possíveis dimensões da lagoa anaeróbia é, largura de 19,00 m e comprimento de 45,00 m, $L/B=2,5$. A inclinação dos taludes internos é de 1:3

➤ Comprimento:

$$\text{Comprimento de fundo} = L - d.h = 45 - (2,5 \times 5) = 32,50 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento do nível da água} = L + d.h = 45 + (2,5 \times 5) = 57,50 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento na crista do talude} = \text{Comprimento no nível da água} + 2.d.(\text{borda livre})$$

$$\text{Comprimento na crista do talude} = 57,50 + 2 \times 2,5 \times 0,6 = 60,50 \text{ m}$$

➤ Larguras:

$$\text{Largura do fundo} = B - d.h = 19,00 - (2,5 \times 5) = 6,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Largura no nível da água} &= B + d.h = 19,00 + (2,5 \times 5) = 31,50 \text{ m} \\ \text{Largura na crista do talude} &= \text{Largura no nível da água} + 2.d.(\text{borda livre}) \\ \text{Largura na crista do talude} &= 31,50 + 2 \times 2,5 \times 0,6 = 34,50 \text{ m} \end{aligned}$$

Concentração de DBO na saída da lagoa anaeróbia, adotando uma eficiência de 60%:

$$\text{DBO}_s = \left(\frac{100-E}{100}\right) \times \text{DBO}_0 = \left(\frac{100-60}{100}\right) \times 300 \rightarrow \text{DBO}_s = 120 \text{ mg/L}$$

O efluente da lagoa anaeróbia e o afluente da lagoa facultativa secundária.

Acumulo do lodo na lagoa anaeróbia, adotando-se uma taxa de acumulação de $0,04 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$ (segundo Sperling), tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Acumulação em 2031} &= 0,04 \text{ m}^3/\text{hab.ano} \times 17.252 \text{ hab} \\ \text{Acumulação} &= 690,08 \text{ m}^3 \text{ durante um ano} \end{aligned}$$

A espessura da camada de lodo em 1 ano:

$$\text{Espessura} = \frac{\text{acumulação}}{\text{área} \times \text{tempo}} = \frac{690,08 \text{ m}^3}{938,51 \text{ m}^2 \times 1 \text{ ano}} \rightarrow \text{Espessura} = 0,73 \text{ m em 1 ano.}$$

Essa grande taxa de acumulação de lodo se deve ao baixo tempo de detenção na lagoa e ser bem profunda.

O tempo para se atingir $1/3$ da altura útil da lagoa:

$$\text{Tempo} = \frac{h/3}{\text{Espessura}} = \frac{5 \text{ m}/3}{0,73 \text{ m/ano}} \rightarrow \text{Tempo} \approx 2,28 \text{ anos.}$$

O volume de lodo a ser retirado a cada limpeza da lagoa anaeróbia vai ser de, o volume corresponde a $1/3$ do volume útil da lagoa.

$$V_{\text{lodo}} = \frac{V}{3} = \frac{4105,976}{3} \rightarrow V_{\text{lodo}} = 1368,66 \text{ m}^3$$

LAGOA FACULTATIVA SECUNDÁRIA

Carga afluente a lagoa facultativa:

Essa carga é o efluente da lagoa anaeróbia, com a eficiência de remoção na lagoa anaeróbia de 60% logo a carga afluente a lagoa facultativa é:

$$\begin{aligned} \text{Para 2031, temos uma carga de:} \\ L_{2031} = \frac{(100-E) \times L_0}{100} = \frac{(100-60) \times 615,89 \text{ Kg DBO/d}}{100} \rightarrow L_{2031} = 246,35 \text{ kg de DBO/d} \end{aligned}$$

Taxa de aplicação superficial ($T=25^\circ\text{C}$):

$$L_s = 350x(1,107 - 002T)^{T-25}$$

$$L_s = 350 \text{ Kg de DBO/ha.d}$$

Área requerida da lagoa facultativa

Nesse caso vamos utilizar a carga final de projeto, para se ter ideia de qual o tamanho da área necessária para p tratamento.

$$A = \frac{L_{2031}}{L_s} = \frac{246,35 \text{ Kg de DBO/d}}{350 \text{ Kg de DBO/ha.d}} \rightarrow A = 0,71 \text{ ha} = 7038,74 \text{ m}^2$$

Com uma área de $7038,74 \text{ m}^2$, as possíveis dimensões médias, com relação $L/B=2,5$; tem-se comprimento $133,00 \text{ m}$ e largura 53 m . Adotando uma profundidade $h = 2 \text{ m}$, logo o volume é de:

$$V = B \times L \times h = 53 \text{ m} \times 133 \text{ m} \times 2 \text{ m} \rightarrow V = 14098 \text{ m}^3$$

➤ Dimensões

As lagoas vão ter uma inclinação de talude interno vai ser 1:2,5. Logo:

➤ Comprimentos

$$\text{Comprimento de fundo} = L - d.h = 133 - (2,5 \times 2)$$

$$\text{Comprimento de fundo} = \mathbf{128,00 \text{ m}}$$

$$\text{Comprimento no nível da água} = L + d.h = 133 + (2,5 \times 2)$$

$$\text{Comprimento no nível da água} = \mathbf{138 \text{ m}}$$

Comprimento na crista do talude = comprimento no nível da água + 2.d.(borda livre)

$$\text{Comprimento na crista do talude} = 138 + 2 \times 2,5 \times 0,6$$

$$\text{Comprimento na crista do talude} = \mathbf{141,00 \text{ m}}$$

➤ Larguras

$$\text{Largura de fundo} = B - d.h = 53 - (2,5 \times 2)$$

$$\text{Largura de fundo} = \mathbf{48,00 \text{ m}}$$

$$\text{Largura no nível da água} = B + d.h = 53,00 + (2,5 \times 2)$$

$$\text{Largura no nível da água} = \mathbf{58,00 \text{ m}}$$

Largura na crista do talude = largura no nível da água + 2.d.(borda livre)

$$\text{Largura na crista do talude} = 58,00 + 2 \times 2,5 \times 0,6$$

$$\text{Largura na crista do talude} = \mathbf{61,0 \text{ m}}$$

➤ Tempo de detenção hidráulico:

$$\text{TDH} = \frac{V}{Q_{2031}} = \frac{14098 \text{ m}^3}{2052,988 \text{ m}^3/\text{d}} \rightarrow \text{TDH} = \mathbf{6,86 \text{ d}}$$

Estimativa da DBO solúvel efluente

O tipo de fluxo adotado e o disperso, logo a fórmula da DBO solúvel é $S =$

$$S_o \frac{4ae^{(\frac{1}{2})d}}{(1+a)^2 e^{(\frac{a}{2})d} - (1-a)^2 e^{(-\frac{a}{2})d}},$$

Número de dispersão:

$$d = 1/(L/B), \text{ onde } L/B = 2,5$$

$$d = 0,4;$$

Coefficiente de remoção de DBO;

$$k = k_{20} \theta^{(T-20)}$$

$$k(25^\circ\text{C}) = 0,35 \times (1,05)^{(25-20)}$$

$$k(25^\circ\text{C}) = 0,45 \text{ d}^{-1}$$

$$a = (1 + 4k.t.d)^{0,5}$$

$$a = (1 + 4 \times 0,45 \times 6,86 \times 0,5)^{0,5}$$

$$a = \mathbf{2,43}$$

Concentração de DBO solúvel efluente (mg/l):

$$S = S_o \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}} = 120 \times \frac{4 \times 2,43 e^{1/2 \times 0,5}}{(1+2,43)^2 e^{2,43/2 \times 0,4} - (1-2,43)^2 e^{-2,43/2 \times 0,4}} = \mathbf{16,58 \text{ mg DBO/l}}$$

Estimativa da DBO particulada efluente:

Segundo Sperling para a estimativa da DBO particulada, pode-se assumir uma determinada concentração de SS, na faixa de 60 a 100 mg/L, vamos admitir uma concentração de SS efluente igual a 80 mg/L e considerando-se que cada 1 mgSS/L implica numa DBO em torno de 0,35 mg/L.

$$\text{DBO particulada} = 0,35 \text{ mg DBO/mgSS} \times 80 \text{ mg DBO/L}$$

DBO particulada = 28 mg DBO/L

DBO total efluente:

DBO efluente = DBO solúvel + DBO particulada = 16,58 mg DBO/L + 28 mg DBO/L

DBO efluente = 44,58 mg DBO/L

Cálculo da eficiência total do sistema de lagoa anaeróbia e lagoa facultativa na remoção de DBO:

$$E = \frac{(S_o - \text{DBO efluente})}{S_o} \times 100 = \frac{(300 - 44,58)}{300} \times 100 \rightarrow E = 85,14\%$$

Área útil total (lagoa anaeróbia e facultativa)

$$A_{\text{util}} = 821,19 \text{ m}^2 + 7038,74 \text{ m}^2 \rightarrow A_{\text{util}} = 7859,93 \text{ m}^2 = 0,78 \text{ ha}$$

Área total requerida:

Usando um fator de 1,2 tem-se, a área total ocupada pelo sistema de lagoas e estruturas auxiliares:

$$A_T = 1,2 \times A_{\text{util}} = 1,2 \times 0,78 \text{ ha} \rightarrow A_T = 0,94 \text{ ha}$$

$$\text{Área per capita} = \frac{7859,93 \text{ m}^2}{17.252 \text{ hab}} \rightarrow \text{Área per capita} = 0,45 \text{ m}^2/\text{hab}$$

LAGOA DE MATURAÇÃO

Considerar o afluente de coliformes termotolerantes, CTT= 10^8 CCT/100 ml:

- Taxa de decaimento de CTT primário, segundo Pearson (1986):

$$kt = 2,6(1,19)^{t-20}$$

$$kt(25^\circ\text{C}) = 2,6 \times (1,19)^{25-20}$$

$$kt(25^\circ\text{C}) = 6,20 \text{ dias}$$

- Adotar duas lagoas de maturação em série.
- profundidade, H= 1,00 m (adotado)
- TDHan= 2 dias
- TDHfac= 6,86 dias
- TDH mat= 4 dias (adotado para cada lagoa)
- Número de Coliformes termotolerantes efluentes, considera-se o fluxo disperso:

$$N_{ef} = \frac{N_{af}}{(1 + kt \times TDH_{an}) \times (1 + kt \times TDH_{fac}) \times (1 + kt \times TDH_{mat})^2} \times 10^8$$

$$N_{ef} = \frac{N_{af}}{(1 + 6,20 \times 2) \times (1 + 6,20 \times 6,86) \times (1 + 6,20 \times 4)^2}$$

$$N_{ef} = 257,55 \text{ CTT}/100\text{ml}$$

- Cálculo do volume, para um TDH= 4 dias (adotado para cada lagoa):

$$V = Qt = \frac{2052,988 \text{ m}^3}{\text{dia}} * 4 \text{ dias} = 8211,952 \text{ m}^3$$

- Área para cada lagoa de maturação:

$$A = \frac{V}{h} = \frac{8211,952 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 8211,952 \text{ m}^2 = 0,82 \text{ ha}$$

Área total lagoas de maturação: $2 \times 8211,952 \text{ m}^2 = 16423,904 \text{ m}^2 = 1,64 \text{ ha}$

Dimensões: Com uma área de $8211,952 \text{ m}^2$, as possíveis dimensões são, com relação L/B=2,5; comprimento 143,26 m e largura 57,32m. Adotando uma profundidade h = 1 m.

As lagoas vão ter uma inclinação de talude interno vai ser 1:2,5. Logo:

➤ Comprimentos

$$\text{Comprimento de fundo} = L - d.h = 143,26 - (2,5 \times 1)$$

$$\text{Comprimento de fundo} = \mathbf{140,76 \text{ m}}$$

$$\text{Comprimento no nível da água} = L + d.h = 143,26 + (2,5 \times 1)$$

$$\text{Comprimento no nível da água} = \mathbf{145,76 \text{ m}}$$

Comprimento na crista do talude = comprimento no nível da água + 2.d.(borda livre)

$$\text{Comprimento na crista do talude} = 145,76 + 2 \times 2,5 \times 0,6$$

$$\text{Comprimento na crista do talude} = \mathbf{148,76 \text{ m}}$$

➤ Larguras

$$\text{Largura de fundo} = B - d.h = 57,32 - (2,5 \times 1)$$

$$\text{Largura de fundo} = \mathbf{54,82 \text{ m}}$$

$$\text{Largura no nível da água} = B + d.h = 57,32 + (2,5 \times 1)$$

$$\text{Largura no nível da água} = \mathbf{59,82 \text{ m}}$$

Largura na crista do talude = largura no nível da água + 2.d.(borda livre)

$$\text{Largura na crista do talude} = 59,82 + 2 \times 2,5 \times 0,6$$

$$\text{Largura na crista do talude} = \mathbf{62,82 \text{ m}}$$

➤ Área do sistema de lagoas

$$\text{Área} = A_{an} + A_{fac} + A_{mat} = 821,19 \text{ m}^2 + 7038,74 \text{ m}^2 + 16423,904 \text{ m}^2 = 24283,834 \text{ m}^2 = \mathbf{2,43 \text{ ha}}$$

Área necessária para construção considerando o fator de 1,2:

$$\text{Área construção: Área total} \times 1,2 = 2,43 \times 1,2 = \mathbf{2,91 \text{ ha} \approx 3,00 \text{ ha}}$$

$$\text{Área per capita} = (27752,98 \text{ m}^2 / 17.252 \text{ hab}) = 1,61 \text{ m}^2/\text{hab}$$

➤ Remoção de DBO no sistema:

$$\text{ANAERÓBIO+FACULTATIVA SECUNDÁRIA} = \mathbf{85,14\%}$$

$$\text{DBO}_{\text{afluente}} = 300 \text{ mg/l} \times 0,1486 = 44,58 \text{ mgDBO/l}$$

$$\text{Mat 1 (25\% remoção)} = 44,58 \text{ mg/l} \times 0,75 = 33,43 \text{ mgDBO/l}$$

$$\text{Mat 2 (25\% remoção)} = 33,43 \text{ mg/l} \times 0,75 = 25,07 \text{ mgDBO/l (Efluente final)}$$

$$\text{Efluente final de DBO}_5 \text{ filtrado} = \text{DBO}_{5\text{total}} \times 0,4^*$$

$$\text{Efluente final de DBO}_5 \text{ filtrado} = 25,07 \times 0,4^* = 10,03 \text{ mgDBO/l}$$

As algas no efluente = mínimo 60% de DBO_5^ total

➤ Eficiência lagoa de maturação

$$E = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 = \frac{10^8 - 257,55}{10^8} \times 100 = \mathbf{99,99\%}$$

➤ Remoção de ovos helmintos

Considerando afluente = 300 ovos/l

➤ Lagoa anaeróbia

$$E_{an} = 100x[1 - 0,41(e^{-0,49t+0,0085t^2})]$$

$$E_{an} = 100[1 - 0,41e^{-0,49 \times 2 + 0,0085 \times 4}]$$

$$E_{an} = \mathbf{84,08\%}$$

$$C_e = C_o * \left(1 - \frac{E_{an}}{100}\right) = 300 \frac{\text{ovos}}{l} * \left(1 - \frac{84,08}{100}\right) = \mathbf{47,76 \text{ ovos/l}}$$

➤ Lagoa facultativa

$$E_{fac} = 100x[1 - 0,41(e^{-0,49t+0,0085t^2})]$$

$$Efac = 100x[1 - 0,41(e^{-0,49*6,86+0,0085*47,06})]$$

$$Efac = 97,88\%$$

$$Ce = Co * \left(1 - \frac{Efac}{100}\right) = 47,76 \frac{ovos}{l} * \left(1 - \frac{97,88}{100}\right) = 1,01 \text{ ovos/l}$$

➤ Efluente final do sistema:

$$Emat = 100x[1 - 0,41(e^{-0,49t+0,0085t^2})]$$

$$Emat = 100x[1 - 0,41e^{-0,49*4+0,0085*16}]$$

$$Emat = 93,38\%$$

$$Ce = Co * \left(1 - \frac{Emat}{100}\right) = 1,01 \frac{ovos}{l} * \left(1 - \frac{93,38}{100}\right) = 0,06 \text{ ovos/l}$$

REUSO DO EFLUENTE:

População urbana em 2011= 14.000 habitantes

População urbana em 2031 = 17.252 habitantes

$$Q = 2052,988 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A população em 2011 é de 20.000 habitantes, sendo 70% urbana, então:

$$Q = 2052,988 \text{ m}^3/\text{dia} \times 14.000/17.252 = \mathbf{1.666 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

Estima-se o nível de irrigação = **5mm /dia**

$$\text{Área disponível para irrigar} = (1.666 \text{ m}^3/\text{dia})/0,005\text{m}/\text{dia} = 333.200 \text{ m}^2 = \mathbf{33,32 \text{ ha}}$$

Se o nível de irrigação = **10mm/dia**

$$\text{Área disponível para irrigar} = (1.666 \text{ m}^3/\text{dia})/0,01\text{m}/\text{dia} = 166.600 \text{ m}^2 = \mathbf{16,66 \text{ ha}}$$

Perdas do sistema via evaporação na superfície das lagoas = 5mm/dia

$$\text{Área do sistema de lagoas: Área total} \times 1,2 = 2,43 \times 1,2 = 2,91 \text{ ha} = \mathbf{29.160 \text{ m}^2}$$

$$\text{Água perdida} = 29.160 \text{ m}^2 \times 0.005\text{m} = \mathbf{145,8 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$= 145,8 \text{ m}^3/\text{dia} / 1.666 \text{ m}^3/\text{dia} \times 100 = \mathbf{8,75\%}$$
 de água perdida

Área de irrigação disponível, considerando as perdas:

$$\text{Área de irrigação (5mm/dia)} = 33,32 \text{ ha} \times 0,9112 = \mathbf{30,36 \text{ ha}}$$

$$\text{Área de irrigação (10mm/dia)} = 16,66 \text{ ha} \times 0,9112 = \mathbf{15,18 \text{ ha}}$$

APÊNDICE B- MEMORIAL DE CÁLCULO- SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Projeto de um sistema de irrigação por aspersão convencional para plantação de inhame

Para o dimensionamento do projeto, foram levantados os seguintes dados:

- irrigação real necessária: $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$;
- evapotranspiração máxima da cultura: $5,0 \text{ mm d}^{-1}$;
- velocidade de infiltração básica da água no solo: $14,0 \text{ mm h}^{-1}$;
- dimensão do terreno;
- topografia da área do projeto:
- menor dimensão do terreno: em nível;
- maior dimensão do terreno: desnível de 17 metros entre os dois extremos;
- distância do início da área do projeto à moto-bomba: 30 m;
- número de horas de trabalho disponíveis por dia: 10;
- eficiência de aplicação do sistema: 75%;
- rendimento do conjunto moto-bomba: 80%.
- considera-se o período de irrigação 1 dia a menos que o turno de rega;
- altura de sucção: 4 m;
- desnível geométrico entre a motor-bomba e o início da área do projeto: 10 m;
- altura do aspersor: 1,5 m;
- dados técnicos do aspersor a ser utilizado:

Tabela 13: Dados Técnicos do Aspersor

Bocais (mm)	Pressão de serviço (mca)	Vazão (m^3/h)	Diâmetro Irrigado (m)	Intensidade de Precipitação (mm/h)		
				6 x 12 m	12 x 12 m	12x18m
2,4x5,0	20	1,58	23	21,9	11	7,3
	25	1,79	23	24,9	12,4	8,3
	30	1,95	24	27,1	13,5	9
	35	2,12	24	29,4	14,7	9,8
	40	2,28	25	31,7	15,8	10,6
	45	2,4	26	33,3	16,7	11,1
	50	2,56	26	35,6	17,8	11,9
2,4x6,2	20	2,22	25	30,8	15,4	10,3
	25	2,5	25	34,7	17,4	11,6
	30	2,75	26	38,2	19,1	12,7
	35	2,98	26	41,4	20,7	13,8
	40	3,18	27	44,2	22,1	14,7
	45	3,37	27	46,8	23,4	15,6
	50	3,52	27	48,4	24,4	16,3

Fonte: Jorge Luiz Pimenta Mello (et all)- UFRRJ.

1. Seleção do aspersor:

Para uma velocidade de infiltração básica (**Vib**) de 14 mm h^{-1} , o aspersor mais adequado é o que possui as seguintes características:

- bocais = $2,4 \times 6,2 \text{ mm}$;
- pressão de serviço = 35 mca ;
- vazão = $2,98 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$;
- diâmetro irrigado = 26 m ;
- espaçamentos = $12 \times 18 \text{ m}$;
- intensidade de precipitação = $13,8 \text{ mm h}^{-1}$.

2. Determinação da lâmina bruta de irrigação- quantidade total de água a ser aplicada por irrigação (ITN):

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} = \frac{30 \text{ mm}}{0,75} = 40 \text{ mm}$$

3. Determinação do turno de rega

$$TR = \frac{IRN}{ET_{pc}} = \frac{30 \text{ mm}}{5 \text{ mm/dia}} = 6 \text{ dias}$$

4. Período de irrigação

$$PI = 6 - 1 = 5 \text{ dias}$$

5. Determinação do tempo de irrigação

$$Ti = \frac{ITN}{Ip} = \frac{40 \text{ mm}}{13,4 \text{ mm/h}} = 2,9 \text{ h} = 2 \text{ h } 54 \text{ min}$$

6. Determinação do número de irrigações por dia

Como só há disponibilidade de 10 horas de trabalho por dia, serão feitas 3 irrigações diárias, optando –se trabalhar com ramais de espera. Pode-se verificar que com essa decisão, teremos 1 hora que não será utilizada. Se quiséssemos ocupar as 10 horas disponíveis seria necessário diminuir a intensidade de precipitação do aspersor para, com isso, aumentar o tempo de irrigação. Para isso basta selecionar um outro aspersor que propicie a intensidade de precipitação desejada.

7. Determinação do número total de irrigações a cada turno de rega ou o número de subáreas que a área total será dividida.

$$Nt = 3 \text{ irrigações por dia} * 5 \text{ dias} = 15$$

8. Determinação do número de linhas laterais necessárias ao projeto

- 8.1 área irrigada por cada linha lateral

$$AiLL = \text{Comp. da LL} * EL = 150 \text{ m} * 18 \text{ m} = 2700 \text{ m}^2$$

- 8.2 Área irrigada em cada irrigação (área de projeto hidráulico)

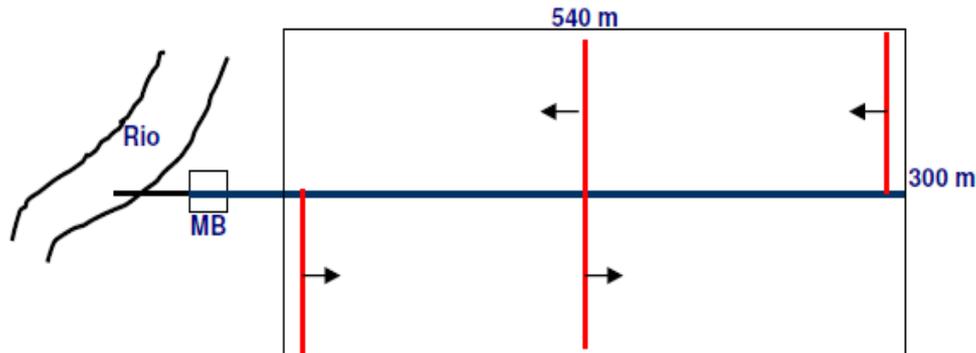
$$Aph = \frac{\text{Área total}}{\text{Número de subáreas}} = \frac{540 * 300 \text{ m}}{15} = 10800 \text{ m}^2$$

- 8.3 Número de linhas laterais

$$NLL = \frac{A_i}{A_{iLL}} = \frac{10800 \text{ m}^2}{2700 \text{ m}^2} = 4 \text{ linhas laterais}$$

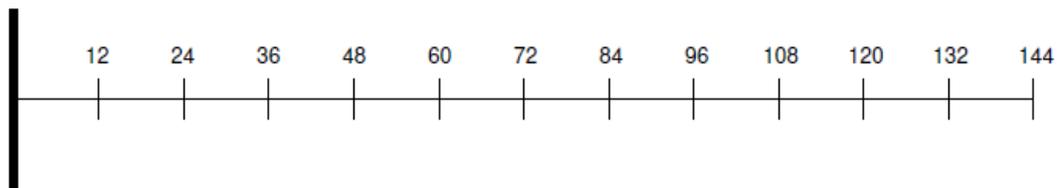
Dessa forma, o *layout* mais adequado para a área é o seguinte:

Figura 13: Croqui- Sistema de irrigação por aspersão convencional



9. Dimensionamento das linhas laterais

9.1 - Determinação do comprimento real da linha lateral: como o espaçamento entre os aspersores é de 12 m, com o primeiro situado à 12 m da linha principal, o comprimento da linha será de 144 m, com o seguinte croqui:



Para:

- L = 144 m;
- N = 12;
- F12 = 0,393;
- QLL = 12 x 2,98 m³ h⁻¹ = 35,76 m³ h⁻¹ = 0,009933 m³ s⁻¹ ;
- Limite de hf = 0,20 x 35 mca = 7,0 mca;

Aplicando a equação de Hazen-Williams, o diâmetro será de 0,066 m. Assim, o diâmetro calculado encontra-se entre 2" (0,0508 m) e 3" (0,0762 m), o que leva à necessidade de associação de diâmetros na LL.

Para:

- D = 0,066 m;
- D1 = 0,0762 m;
- D2 = 0,0508 m;
- L = 144 m

$$L2 = \left[\frac{\left(\frac{0,0762}{0,066} \right)^{4,87} - 1}{\left(\frac{0,0762}{0,0508} \right)^{4,87} - 1} \right]^{\frac{1}{1,852} + 1} * 144 = 76,29 \text{ m}$$

calculado é 72 m. Como nesse ponto da LL encontra-se localizado um aspersor, o comprimento adequado para L2 é 66 m. Dessa forma:

$$L1 = L - L2 = 144 - 66 = 78 \text{ m}$$

Definidos os dois trechos da linha lateral, as características de cada um deles ficarão:

Trecho 1:

- D1 = 3”;
- L1 = 78 m;
- N = 6;
- Q1 = 6 x 2,98 m³ h⁻¹ = 17,88 m³ h⁻¹ = 0,004967 m³ s⁻¹ ;
- F6 = 0,438

Trecho 2:

- D2 = 2”;
- L2 = 66 m;
- N = 6;
- Q2 = 6 x 2,98 m³ h⁻¹ = 17,88 m³ h⁻¹ = 0,004967 m³ s⁻¹ ;
- F6 = 0,438

De acordo com o método da vazão fictícia, as perdas de carga na linha lateral serão então:

$$hf_1 (D_1, L, Q_{LL}, F_{12}) = 3,47 \text{ mca}$$

$$hf_2 (D_2, L_2, Q_2, F_6) = 3,54 \text{ mca}$$

$$hf_3 (D_1, L_2, Q_2, F_6) = 0,49 \text{ mca}$$

Finalmente, a perda de carga na linha lateral será:

$$hf_{LL} = hf_1 + hf_2 - hf_3 = 3,47 + 3,54 - 0,40 = 6,52 \text{ mca}$$

Verifica-se que esse valor de hf é inferior ao limite de 20% da pressão de serviço dos aspersores que é de 7 mca, devido a necessidade de se reduzir o trecho L2, que é o trecho que proporciona maior perda de carga.

10. Determinação dos diâmetros da tubulação em cada trecho

O dimensionamento será baseado no critério de velocidade, ou seja, permite-se uma velocidade de escoamento na tubulação entre 1,0 e 2,5 m s⁻¹. Por questões de ordem prática, vamos começar o dimensionamento pelo último trecho da linha principal (trecho 4), ou seja, o que abastece somente uma linha lateral.

- **Trecho 4:** verificar-se-á, inicialmente, se o diâmetro da LP pode ser o mesmo da LL (3”).

$$Q = 1 \times 35,76 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,009933 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$L = 126 \text{ m}$$

Teste para D = 3” (0,0762 m) utilizando-se tubo de PVC (C = 140)

Aplicando a equação de Hazen-Williams: J = 0,061346 m

Para: C = 140; J = 0,06138 m e D = 0,0762 m V = 2,17 m s⁻¹ hf = 7,73 mca

Esta velocidade atende ao critério estabelecido e, sendo assim, o diâmetro do último trecho da LP é o mesmo da LL.

- **Trecho 3:** será testado o diâmetro comercial imediatamente superior (4”).

$$Q = 2 \times 35,76 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,019867 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$L = 144 \text{ m}$$

Teste para D = 4” (0,1016 m) utilizando-se tubo de PVC (C = 140)

Aplicando a equação de Hazen-Williams: J = 0,05459 m

Para: C = 140; J = 0,05459 m e D = 0,1016 m V = 2,45 m s⁻¹ hf = 6,87 mca

Esta velocidade atende ao critério estabelecido.

- Trecho 2:

$$Q = 3 \times 35,76 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,0298 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$L = 126 \text{ m}$$

Teste para $D = 5''$ (0,127 m) utilizando-se tubo de aço zincado ($C = 120$)

Aplicando a equação de Hazen-Williams: $J = 0,05191 \text{ m}$

Para: $C = 120$; $J = 0,05191 \text{ m}$ e $D = 0,127 \text{ m}$

$$V = 2,35 \text{ m s}^{-1}$$

$$hf = 6,54 \text{ mca.}$$

Esta velocidade atende ao critério estabelecido.

Trecho 1:

$$Q = 4 \times 35,76 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,039733 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$L = 168 \text{ m}$$

Teste para $D = 6''$ (0,1524 m) utilizando-se tubo de aço zincado ($C = 120$)

Aplicando a equação de Hazen-Williams: $J = 0,03639 \text{ m}$

Para: $C = 120$; $J = 0,03639 \text{ m}$ e $D = 0,1524 \text{ m}$

$$V = 2,18 \text{ m s}^{-1}$$

$$hf = 6,11 \text{ mca}$$

Esta velocidade atende ao critério estabelecido.

A perda de carga total na linha principal será igual a 27,25 mca. Apesar de se ter atendido o critério de velocidade, pode-se optar pela redução desta perda visando, com isso, uma diminuição da altura manométrica total, o que pode resultar em uma moto-bomba com menor potência. Com esse intuito, a linha principal será redimensionada, aumentando-se os diâmetros dos trechos 3 e 4. Assim sendo, teremos:

Trecho 3:

$$Q = 2 \times 35,76 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,019867 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$L = 144 \text{ m}$$

Teste para $D = 5''$ (0,127 m) utilizando-se tubo de aço zincado ($C = 120$)

Aplicando a equação de Hazen-Williams: $J = 0,0245 \text{ m}$

Para: $C = 120$; $J = 0,0245 \text{ m}$ e $D = 0,127 \text{ m}$

$$V = 1,57 \text{ m s}^{-1}$$

$$hf = 3,53 \text{ mca}$$

Esta velocidade atende ao critério estabelecido.

Trecho 4:

$$Q = 1 \times 35,76 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,009933 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$L = 126 \text{ m}$$

Teste para $D = 4''$ (0,1016 m) utilizando-se tubo de PVC ($C = 140$)

Aplicando a equação de Hazen-Williams: $J = 0,02012 \text{ m}$

Para: $C = 120$; $J = 0,01512 \text{ m}$ e $D = 0,1016 \text{ m}$

$$V = 1,22 \text{ m s}^{-1}$$

$$hf = 1,90 \text{ mca}$$

Esta velocidade atende ao critério estabelecido.

Para essa nova situação, a perda de carga total na linha principal será igual a 18,08 mca. Verifica-se que essa nova situação faz com que a perda de carga total do sistema se reduza necessitando-se, com isso, de uma menor potência do conjunto moto bomba, quando se compara com a situação anterior. Em contrapartida, ao se aumentar os

diâmetros nos trechos 3 e 4 o custo das tubulações aumentou. Para se decidir entre as duas possibilidades, há necessidade de se proceder à uma análise de custo-benefício. Para dar continuidade ao dimensionamento, vamos considerar a segunda situação que proporcionou uma perda de carga na LP de 18,08 mca.

11. Dimensionamento da linha de sucção

Como a tubulação de recalque terá um diâmetro de 6", a sucção deverá trabalhar com o diâmetro comercial imediatamente superior. Será utilizado uma tubulação de aço zincado de 8", com um comprimento de 6 m. Nessa condições, a perda de carga total será de 0,0538 m com um escoamento à uma velocidade de 1,22 m s⁻¹.

12. Determinação da pressão no início da linha lateral

$$P_{inLL} = P_s + \frac{3}{4} hf_{LL} + A_a \pm \frac{1}{2} \Delta Z$$

$$P_{inLL} = P_s + \frac{3}{4} * 6,52 + 1,5 \pm \frac{1}{2} * 0 = 41,39 \text{ mca}$$

13. Determinação da altura manométrica total

$$H_{man} = (H_s + H_r + h_{fs} + h_{fLP} + P_{inLL}) * 1,05$$

$$H_{man} = [4 + (10 + 17) + 0,0538 + 18,08 + 41,39] * 1,05 = 95,05 \text{ mca}$$

14. Determinação da potência do conjunto moto-bomba

$$Pot = \frac{Q * H_{man}}{75 * R_{mb}} = \frac{39,73 * 95,05}{75 * 0,80} = 63 \text{ CV}$$

OBS: se tivéssemos optado por usar a situação em que a perda de carga na LP fosse de 27,25 mca, a altura manométrica total seria 104,68 mca e a potência da moto bomba seria de 69,3 CV.

Projeto de um sistema de irrigação por sulcos de infiltração para cultivo de pera

Dimensionamento de um sistema de irrigação por gotejamento, dados:

- área: 540 x 180 m;
- cultura: pera, com espaçamento de 3 x 3 m;
- evaporação medida pelo tanque Classe A: 8 mm d⁻¹ (maior demanda);
- velocidade do vento: 190 km d⁻¹;
- umidade relativa do ar média: 60%;
- tanque circundado por grama: R = 10 m;
- kc = 1,0;
- turno de rega pré-fixado = 3 dias;
- vazão do gotejador = 3,5 L h⁻¹;
- pressão de serviço do gotejador = 10 mca;
- espaçamento entre gotejadores = 1,5 m;
- serão utilizados 2 gotejadores por árvore;
- considerar número de horas de irrigação diária igual a 24;

- $P = 50\%$;
 - solo: textura média;
 - considerar $Ea = 90\%$ e $Rmb = 0,80$.
- Evapotranspiração

$$ETg = (Ev * kt * kc) * \frac{P}{100}$$

$$ETg = (8 * 0,7 * 1,0) * \frac{50}{100} = 2,8mm/d$$

Lâminas real e total necessárias

$$IRN = ETg * TR = 2,8 * 3 = 8,4mm$$

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} = \frac{8,4}{0,90} = 9,3mm$$

Tempo de irrigação por posição

Como a irrigação será por árvore, temos:

$$Ti = \frac{ITN * A1}{n * Qg} = \frac{9,3 * 3 * 3}{2 * 3,5} = 12 h$$

Número de unidades operacionais

$$N = \frac{TR * nh}{Ti} = \frac{3 * 24}{12} = 6$$

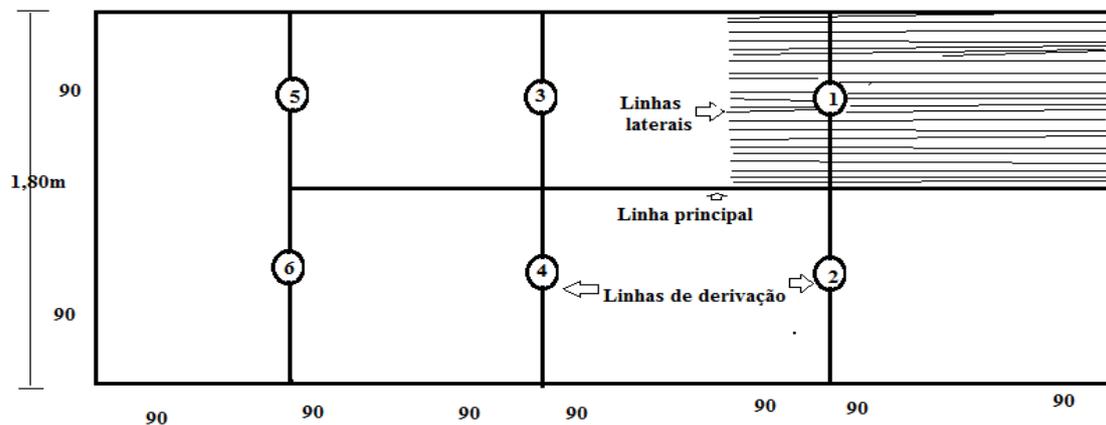
Vazão necessária ao sistema

$$Q = 2,78 * \frac{A * ITN}{N * Ti} = 2,78 * \frac{9,72 * 9,3}{6 * 12} = 3,5 L/s$$

Neste caso, cada unidade operacional de 1,62 ha será irrigada a cada 12 horas, fazendo-se 2 irrigações por dia, ou seja, irrigar-se-á 2 unidades operacionais por dia (3,24 ha).

14.1 Croqui da área:

Figura 14: Sistema de irrigação por gotejamento.



7) Dimensionamento das linhas laterais

De acordo com o croqui, o comprimento das LL é de 90 m. Como o espaçamento entre gotejadores é de 1,5 m, cada LL terá 60 gotejadores.

- limite de hf = 20% x 10 mca = 2,0 mca
- $Q_{LL} = 60 \times 3,5 \text{ L h}^{-1} = 210 \text{ L h}^{-1} = 5,83 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- L = 90 m
- $F_{60} = 0,36$
- C = 144
- Cg = 100

$$D^{4,87} = 10,646 * \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}}{hf} * L * F * \left(\frac{C}{Cg}\right)^{1,852}$$

$$D^{4,87} = 10,646 * \frac{\left(5,83 * \frac{10^{-5}}{144}\right)^{1,852}}{2} * 90 * 0,36 * \left(\frac{144}{100}\right)^{1,852} = 0,0123 \text{ m}$$

Como esse diâmetro não é comercial, será utilizado o diâmetro comercial imediatamente superior ao valor encontrado, ou seja, D = 0,0127 m. Utilizando a equação de Hazen-Williams para esse diâmetro, vamos encontrar hf = 1,69 mca. Como poderíamos utilizar até 2 mca e só vamos utilizar 1,69 mca, o restante (0,31 mca) será incorporado ao limite de hf na LD.

8) Pressão no início da LL

$$P_{inLL} = P_s + 0,75 * hf_{LL} \pm 0,4 * \Delta Z$$

$$P_{inLL} = 10 + 0,75 * 1,69 \pm 0,4 * 0 = 11,27 \text{ mca}$$

9) Dimensionamento das linhas de derivação

De acordo com o croqui, cada LD terá 90 m de comprimento, com 60 LL cada uma (30 LL de cada lado).

- limite de hf = 10% x 10 mca = 1,0 mca
- limite de hf disponível = 1,0 + 0,31 = 1,31 mca
- $Q_{LD} = 60 \times 210 \text{ L h}^{-1} = 12600 \text{ L h}^{-1} = 0,0035 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- L = 90 m
- $F_{60} = 0,36$
- C = 144
- Cg = 100

$$D^{4,87} = 10,646 * \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}}{hf} * L * F * \left(\frac{C}{Cg}\right)^{1,852}$$

$$D^{4,87} = 10,646 * \frac{\left(\frac{0,0035}{144}\right)^{1,852}}{1,31} * 90 * 0,36 * \left(\frac{144}{100}\right)^{1,852} = 0,0635 \text{ m}$$

Esse diâmetro é exatamente o de 2,5". Dessa forma, as LD estão dimensionadas.

10) Pressão no início da LD

$$PinLD = PinLL + hfLD + \Delta Z$$

$$PinLD = 11,27 + 1,31 + 0 = 12,58 \text{ mca}$$

11) Dimensionamento da linha principal

Como cada unidade operacional só tem uma LD, conclui-se então que a vazão da LP é a mesma da LD. Para o dimensionamento da LP será utilizado o critério de velocidade.

Teste para D = 2,5"

$$J = 0,0205 \text{ m m}^{-1}$$

$$hf = 9,23 \text{ mca}$$

$$V = 1,10 \text{ m s}^{-1}$$

Teste para D = 3"

$$J = 0,00844 \text{ m m}^{-1}$$

$$hf = 3,8 \text{ mca}$$

$$V = 0,77 \text{ m s}^{-1}$$

De acordo com os valores apresentados, o diâmetro da LP será em 2,5".

12) Altura manométrica total

- Será considerado para a tubulação de recalque (moto-bomba até o cabeçal de controle) um comprimento de 150 m e diâmetro em 3". Dessa forma, a hf nessa linha (eq. de HW) será de 1,27 mca;
- Considerando uma altura de sucção de 5 m, tubulação de sucção com diâmetro de 4" e comprimento de 10 m, a hf nessa linha será de 0,024 mca;
- Como a margem da fonte d'água está em nível com o terreno, Hr = 0;
- Perda de carga no cabeçal de controle = 10 mca.

Assim:

$$Hm = Hs + Hr + hfs + hfCC + hfLP + PinLD + hfLOC$$

$$Hm = [5 + 0 + 0,024 + 10 + (1,27 + 9,23) + 12,58] * 1,05$$

$$Hm = 40 \text{ mca}$$

OBS: A LP do sistema foi subdividida em duas partes, sendo uma da moto-bomba ao cabeçal de controle, denominada linha de recalque, e uma outra, do CC até o final da área, denominada linha principal propriamente dita. Dessa forma, aparece na equação de Hm dois valores referentes à hfLP, respectivos a cada parte.

12) Potência da moto-bomba

$$Pot = \frac{Q * Hmam}{75 * Rmb} = \frac{3,5 * 40}{75 * 0,80}$$

$$Pot = 2,3 \text{ CV}$$