

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DIAGNÓSTICO VOLTADO AO PLANEJAMENTO DO USO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS PARA IRRIGAÇÃO NOS CINTURÕES VERDES
DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA-PR**

CURITIBA

2005

CLODOVEU VALDENI TRENTIN

**DIAGNÓSTICO VOLTADO AO PLANEJAMENTO DO USO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS PARA IRRIGAÇÃO NOS CINTURÕES VERDES
DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA-PR**

**Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Agronomia,
curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de
concentração em Ciência do Solo, Universidade
Federal do Paraná.**

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

CURITIBA

2005

*Aos meus pais, Angelin Trentin e
Maria Cericato Trentin, por todo
o esforço e luta para formar os
filhos e aos meus irmãos
Clodoaldo e Clécio pelo apoio
em mais uma conquista em minha
vida.*

DEDICO

*Louvado sejas, meu senhor, por
nossa irmã mãe terra, que nos
alimenta e governa, e produz
diversos frutos com flores
coloridas e ervas.*

Francisco de Assis

*"O homem que se decide a parar até que as coisas melhorem, verificará mais tarde que
aquele que não parou e colaborou com o tempo estará tão adiante que jamais poderá ser
alcançado"*

Rui Barbosa

AGRADECIMENTOS

- A Deus, fonte inesgotável de inspiração e sabedoria;
- A UFPR/Setor de Ciências Agrárias/Departamento de Solos e Engenharia Agrícola e ao Curso de pós-graduação em Ciência do Solo pelo meu acolhimento como aluno de mestrado;
- Ao meu professor e orientador Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, agradeço especialmente o apoio, orientação, motivação e acompanhamento do trabalho;
- Ao meu co-orientador Dr. Cleverson Vitório Andreoli, agradeço especialmente pelo apoio e motivação.
- A SANEPAR pela colaboração na disponibilização de dados e na liberação de recursos para que este trabalho fosse desenvolvido;
- A EMATER-Paraná, pela disponibilização do mapa de solos digitalizado;
- Ao SIMEPAR pela disponibilização dos dados climatológicos solicitados;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho;
- À todas aquelas pessoas que não foram citadas, mas que direta ou indiretamente me ajudaram na realização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 A ÁGUA E SUA IMPORTÂNCIA	5
3.2 ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	7
3.3 REÚSO DA ÁGUA	9
3.3.1 Qualidade da água residuária para utilização na irrigação	12
3.4 IRRIGAÇÃO EM FUNÇÃO DA POSSIBILIDADE DE USO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS	16
3.4.1 Considerações gerais sobre a irrigação no Estado do Paraná	19
3.4.2 Resultados alcançados com a utilização de águas residuárias na agricultura	19
3.4.3 Aceitação dos produtos agrícolas irrigados com águas residuárias	21
3.5 PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS IMPORTANTES PARA O PLANEJAMENTO DA IRRIGAÇÃO	22
3.5.1 Principais propriedades físico-hídricas do solo	22
3.5.1.1 Porosidade e textura do solo	23
3.5.1.2 Capacidade de campo e ponto de murcha permanente	24
3.5.1.3 Infiltração de água no solo	24
3.5.2 Principais variáveis climáticas para realização do balanço hídrico irrigacionista	25
3.5.2.1 Evapotranspiração	25
3.5.2.2 Precipitação	26
3.5.2.3 Considerações sobre precipitação e evapotranspiração provável	26
3.5.2.4 Balanço hídrico climatológico irrigacionista	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 PRINCIPAIS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	29
4.2 INFORMAÇÕES SOBRE AS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETEs)	29
4.3 GEOREFERENCIAMENTO DAS ETEs E IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE SOLO	30
4.4 CONSTITUIÇÃO E APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ETEs E CONSUMIDORES DE FRUTAS E VERDURAS	31
4.5 LEVANTAMENTO E AGRUPAMENTO DOS PRINCIPAIS DADOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO E ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO PROVÁVEL	31

4.5.1 Estimativa da evapotranspiração de referência (<i>ET_o</i>).....	32
4.5.1.1 Agrupamento decendial da evapotranspiração	32
4.5.2 Estimativa da precipitação e evapotranspiração provável.....	33
4.5.2.1 Distribuição de frequência e teste de aderência.....	33
4.5.2.2 Cálculo da estimativa da precipitação e evapotranspiração.....	34
4.6 ESTUDO DE CASO: CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO E REALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO IRRIGACIONISTA EM DUAS LOCALIDADES.....	35
4.6.1 Determinação da densidade aparente e granulometria do solo	36
4.6.2 Determinação da umidade do solo na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP)	37
4.6.3 Determinação da infiltração da água no solo	38
4.6.4 Realização do balanço hídrico irrigacionista	39
5 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	41
5.1 DADOS DE PROJETO DAS PRINCIPAIS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETEs) DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA (Etapa 1).....	41
5.1.1 Qualidade da água residuária resultante das ETEs analisadas e a possibilidade de seu uso para irrigação de culturas agrícolas.....	45
5.2 MAPEAMENTO DAS ESTAÇÕES E IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLO E DECLIVIDADE EM TORNO DAS ETEs ANALISADAS (Etapa 2)	52
5.2.1 Mapa de solos contendo a localização das ETEs em Curitiba e Região Metropolitana,	52
5.2.2 Mapa de declividade contendo a localização das ETEs em Curitiba e Região Metropolitana,	54
5.2.3 Considerações sobre as ETEs, tipo de solo, declividade e o uso da irrigação	56
5.3 RESULTADOS OBTIDOS DA APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS NAS ETEs, AGRICULTORES E CONSUMIDORES (Etapa 3)	60
5.3.1 Resultados dos questionários aplicados nas ETEs.....	60
5.3.2 Levantamento das principais culturas cultivadas em alguns municípios da Região Metropolitana de Curitiba.....	63
5.3.3 Resultados dos questionários aplicados aos consumidores nas feiras livres	71
5.4 LEVANTAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS (Etapa 4)	76
5.4.1 Tabulação, organização e análise dos dados de temperatura	76
5.4.1.1 Evapotranspiração de referência provável	78
5.4.2 Tabulação, organização e análise dos dados de precipitação	83
5.4.2.1 Precipitação provável	85
5.4.3 Contraste entre evapotranspiração e precipitação provável	90
5.5 ESTUDO DE CASO: LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM DUAS LOCALIDADES DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (Etapa 5)	93
5.5.1 Determinação dos parâmetros para estimar o armazenamento de água no solo.....	95
5.5.2 Determinação da velocidade de infiltração.....	98
5.6 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO IRRIGACIONISTA (Etapa 6)	100
6 CONCLUSÃO.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Associação entre os usos da água e requisitos de qualidade (PRUSKI, 1997).	13
Tabela 3.2.	Diretrizes microbiológicas recomendadas pela Organização Mundial da Saúde, em 1989, para uso de esgotos na agricultura (*).....	14
Tabela 3.3.	Fatores a serem observados na seleção de alguns métodos de irrigação	17
Tabela 3.4.	Características da cultura do sorgo e algodão irrigado com efluente tratado e com água potável em um estudo desenvolvido do Estado do Ceará	20
Tabela 4.1	Coordenadas geográficas, em UTM, dos pontos de coleta das amostras de solos, nas propriedades agrícolas situadas em Campo Largo e Colombo	35
Tabela 5.1.	Dados de projeto das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Curitiba e Região Metropolitana.....	41
Tabela 5.2.	Dados operacionais médios das principais ETEs da Região Metropolitana de Curitiba, no ano de 2003, obtido do Boletim Anual de Controle Operacional fornecido pela SANEPAR	46
Tabela 5.3.	Índice de Qualidade do Esgoto Tratado (I.Q.E.T), obtidos ao longo do ano de 2003 para as principais ETEs de Curitiba e Região Metropolitana, fornecidos pela SANEPAR	46
Tabela 5.4.	Análise da água a montante e a jusante do corpo receptor da ETE Colombo Sede.....	51
Tabela 5.5.	Resumo dos principais resultados obtidos na análise das ETEs: vazão de projeto, tipo de solo, declividade, drenagem do solo e condição em que se encontra os parâmetros recomendados para água residuária destinada para irrigação	57
Tabela 5.6.	Limites máximos de declividade recomendado para alguns sistemas de irrigação conforme PRONI (1987) e BERNARDO (1989).....	57
Tabela 5.7.	Eficiência no tratamento do esgoto nas ETEs analisadas, quando ocorre excesso de água devido à ocorrência de precipitações	60
Tabela 5.8.	Vazão de projeto e vazão média de efluentes tratados nas principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da Região Metropolitana de Curitiba	61
Tabela 5.9.	Percentual de esgoto doméstico e industrial recebido pelas ETEs.....	62
Tabela 5.10.	Principais parâmetros medidos em algumas ETEs analisadas em Curitiba e Região Metropolitana	62
Tabela 5.11.	Principais culturas cultivadas em alguns municípios da Região Metropolitana de Curitiba, com suas respectivas áreas plantadas e produção alcançada na safra 2003/2004	65
Tabela 5.12.	Agricultores com outorga e maior expressão agrícola, que utilizam o método de irrigação por aspersão em alguns municípios da Região Metropolitana de Curitiba.....	69
Tabela 5.13.	Resultado das perguntas fechadas que foram realizadas às 310 pessoas entrevistadas em 13 feiras livres da cidade de Curitiba.....	72
Tabela 5.14.	Respostas obtidas nas entrevistas realizadas nas feiras livres, fazendo um cruzamento das variáveis sexo, idade e grau de escolaridade, com as questões referentes ao uso de irrigação e consumo de produtos agrícolas irrigados com água residuária.....	73

Tabela 5.15.	Medidas de tendência e dispersão (menor e maior valor, média e desvio padrão) dos valores médios de temperatura do ar, agrupados em decêndios, para a região de Pinhais e Lapa	77
Tabela 5.16.	Parâmetros estatísticos decendiais da ET_o , obtidos nas análises de teste de aderência, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal (N), Triangular (T), Uniforme (U), Exponencial (E) e Gama (G), e cálculo da Evapotranspiração a 75% de probabilidade para Pinhais	78
Tabela 5.17.	Parâmetros estatísticos decendiais obtidos nas análises de teste de aderência, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal (N), Triangular (T), Uniforme (U), Exponencial (E) e Gama (G), e cálculo da Evapotranspiração a 75% de probabilidade para Lapa	79
Tabela 5.18.	Medidas de tendência e dispersão (menor e maior valor, média e desvio padrão) dos valores de precipitação, agrupados em decêndios, para a região de Pinhais e Lapa	83
Tabela 5.19.	Parâmetros estatísticos decendiais da precipitação, obtidos nas análises de teste de aderência, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal (N), Triangular (T), Uniforme (U), Exponencial (E) e Gama (G), e cálculo da precipitação a 75% de probabilidade para Pinhais..	86
Tabela 5.20.	Parâmetros estatísticos decendiais da precipitação, obtidos nas análises de teste de aderência, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal (N), Triangular (T), Uniforme (U), Exponencial (E) e Gama (G), e cálculo da precipitação a 75% de probabilidade para Lapa.....	87
Tabela 5.21.	Granulometria do solo, determinada nas profundidades entre 0 e 40 cm, para duas propriedades localizadas nos municípios de Campo Largo e Colombo .	95
Tabela 5.22.	Densidade aparente do solo determinada nas profundidades entre 0 e 10 cm, para as duas propriedades localizadas nos municípios de Campo Largo e Colombo.....	95
Tabela 5.23.	Estimativa dos parâmetros da equação de VAN GENUCHTEN (1980), obtidos com o auxílio do programa <i>SPLINTEX</i> , a partir da densidade e granulometria do solo.....	96
Tabela 5.24.	Capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), capacidade de água disponível no solo (CAD) e água disponível no solo (AD), determinada considerando uma fração p igual a 0,4 ($AD_{0,4}$), 0,5 ($AD_{0,5}$) e 0,6 ($AD_{0,6}$), para o município de Campo Largo e Colombo.....	97
Tabela 5.25.	Equações da velocidade de infiltração acumulada (I), instantânea (VI) e média (VIm), obtidas após os testes de infiltração para as propriedades localizadas em Colombo e Campo Largo, e velocidade de infiltração aproximada (Vla) obtida no final do teste	98
Tabela 5.26.	Parâmetros médios do solo para calcular o armazenamento nas propriedades em Colombo e Campo Largo	101
Tabela 5.27.	Valores médios da evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação (P), irrigação (I), evapotranspiração real (ER), deficiência (DEF), excedente (EXC) e frequência de irrigações no ano (Fi), obtidos de 10.000 simulações do balanço hídrico irrigacionista com o modelo <i>MORETTI</i> , para as localidades de Campo Largo e Colombo, considerando três grupos de cultura (olerícolas, frutas/forragens e grãos/algodão) e três frações p (0,4; 0,5 e 0,6).....	101
Tabela 5.28.	Estimava da área que poderia ser irrigada na região das ETES Colombo Sede e Cambuí, levando-se em consideração a vazão das mesmas e a amplitude entre ET_o e Precipitação provável a 75%.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 – Mapa de solos de Curitiba e Região Metropolitana, contendo a localização das principais ETES	53
Figura 5.2 – Mapa de declividade da Região Metropolitana de Curitiba com a localização das ETES	55
Figura 5.3 – Vazão de projeto e vazão média de efluentes tratados das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da Região Metropolitana de Curitiba	61
Figura 5.4 – Faixa etária dos 310 entrevistados nas 13 feiras livres da cidade de Curitiba..	71
Figura 5.5 – Nível de escolaridade dos 310 entrevistados nas 13 feiras livres em Curitiba .	71
Figura 5.6 – Produtos que os entrevistados consumiriam nas feiras livres, sabendo que houve a utilização de água residuária na irrigação de culturas agrícolas.....	74
Figura 5.7 – Motivos apresentados pelos entrevistados nas feiras livres para não consumirem produtos agrícolas que utilizaram água residuária na irrigação	75
Figura 5.8 – Reação que o entrevistado nas feiras livres teria, caso soubesse que está consumindo um produto agrícola (hortaliças, grãos e verduras) que usou água residuária e o vendedor não comunicou-lhe devidamente a informação.....	75
Figura 5.9 – Valores de temperatura média do ar, agrupados em decêndios, para a região de Pinhais e Lapa	76
Figura 5.10 – Valores de evapotranspiração de referência (ET_o) a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para as cidades de Lapa e Pinhais	80
Figura 5.11 – Valores de evapotranspiração de referência (ET_o), média e a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para cidades de (a) Pinhais e (b) Lapa .	82
Figura 5.12 – Medidas dos valores de precipitação, agrupados em decêndios, para a região de Pinhais e Lapa: (a) média; (b) maior valor e (c) menor valor	84
Figura 5.13 – Valores de precipitação a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para cidades de Lapa e Pinhais	88
Figura 5.14 – Valores de precipitação, média e a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para cidades de (a) Pinhais e (b) Lapa	89
Figura 5.15 – Valores de evapotranspiração (ET_o) e precipitação a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para cidades de (a) Pinhais e (b) Lapa	91
Figura 5.16 – Localização das ETEs Atuba Sul, Belém, CIC Xisto, Padilha Sul e Santa Quitéria, que correspondem as cinco maiores ETEs da Região Metropolitana de Curitiba devido ao porte e capacidade de tratamento	94
Figura 5.17 – Velocidade de infiltração acumulada (I) e média (V/m), obtidas após os testes de infiltração para as propriedades localizadas em Colombo e Campo Largo: (a) Colombo I; (b) Colombo II; (c) Campo Largo I; (d) Campo Largo II	99
Figura 5.18 – Exemplo de balanço hídrico climatológico decendial ao longo de um ano, realizado para as localidades de (a) Colombo e (b) Campo Largo, considerando o armazenamento de água no solo respectivo das duas localidades, K_c para grãos/algodão (0,9) e fração p igual a 0,6	103

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Especificação	Unidade
<i>AD</i>	Água Disponível	mm
<i>CAD</i>	Capacidade de Água Disponível	mm
<i>CC</i>	Capacidade de Campo	cm ³ /cm ³
COMEC	Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba	—
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente	—
<i>d_a</i>	Densidade Aparente do Solo	g/cm ³
<i>DBO</i>	Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L
<i>DEF</i>	Deficiência Hídrica	mm
<i>DQO</i>	Demanda Química de Oxigênio	mg/L
EMATER	Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural	—
<i>ER</i>	Evapotranspiração Real	mm
<i>ET_c</i>	Evapotranspiração de cultura	mm
ETE	Estação de Tratamento de Efluente	—
<i>ET_o</i>	Evapotranspiração de Referência	mm/decêndio
<i>EXC</i>	Excedente Hídrico	mm
<i>Fi</i>	Freqüência de Irrigação	—
<i>ha</i>	Hectare	m ²
<i>I</i>	Velocidade de Infiltração Acumulada	mm
<i>I</i>	Irrigação	mm
I.Q.E.T.	Índice de Qualidade de Esgoto Tratado	—
ISSO	Organização Internacional de Padronização	—
<i>K_c</i>	Coefficiente de Cultura	Adimensional
NMP	Número Mais Provável	100/mL
<i>p</i>	Fração de Água Disponível	Adimensional
<i>P</i>	Precipitação	mm
PDI	Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba	—
<i>PMP</i>	Ponto de Murcha Permanente	cm ³ /cm ³
<i>Q</i>	Vazão	m ³ /dia
RALF	Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado	—
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná	—
SEAB	Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná	—
SIMEPAR	Instituto Meteorológico do Paraná	—
SS	Sólidos Suspensos	mg/L
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	—
<i>VI</i>	Velocidade de Infiltração Instantânea	mm/h
<i>VI_a</i>	Velocidade de Infiltração Aproximada	mm/h
<i>VI_B</i>	Velocidade de Infiltração Básica	mm/h
<i>VI_m</i>	Velocidade de Infiltração Média	mm/h
<i>z</i>	Profundidade Efetiva do Sistema Radicular	mm
<i>θ_s</i>	Umidade de Saturação	cm ³ /cm ³
<i>θ_r</i>	Umidade Residual	cm ³ /cm ³
$ \phi_m $	Potencial Mátrico de Água no Solo	cm

DIAGNÓSTICO VOLTADO AO PLANEJAMENTO DO USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA IRRIGAÇÃO NOS CINTURÕES VERDES DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA-PR

AUTOR: CLODOVEU VALDENI TRENTIN

ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

RESUMO

A reutilização da água para várias finalidades, entre elas a irrigação agrícola, surge como alternativa para a sustentabilidade e escassez de água. Respeitando os limites sanitários e ambientais de aplicação para garantia do nível de qualidade, pode-se ter vários benefícios agregados ao reúso agrícola. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo fazer um diagnóstico que permita levantar e quantificar dados básicos que sirvam para avaliar e planejar a possibilidade de utilização de águas residuárias para uso na irrigação de culturas agrícolas nos cinturões verdes existentes nos arredores de algumas estações de tratamento de esgoto, situadas na Região Metropolitana de Curitiba. O trabalho foi desenvolvido seguindo as seguintes etapas: (a) levantamento de informações e mapeamentos dos solos ao redor das principais Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) da SANEPAR, com potencial para destinar os seus efluentes para fins irrigacionistas; (b) realização de questionários e revisões visando caracterizar as ETEs, os consumidores e as culturas cultivadas na região; (c) estimativa de alguns parâmetros climáticos para auxiliar no dimensionamento de projetos de irrigação; (d) desenvolvimento de um estudo de caso, caracterizando os parâmetros físico-hídricos do solo e realizando um balanço hídrico decenal climatológico a fim de verificar aspectos irrigacionistas em torno de duas ETEs. Baseando-se nos dados levantados e analisados verificou-se que: (a) nas dez ETEs estudadas apenas a Cambuí e Colombo Sede estão localizadas próximas a áreas agrícolas; (b) as ETEs analisadas possuem boa eficiência no tratamento dos efluentes, porém, ainda apresentam limites de qualidade fora dos recomendados na literatura para uso na irrigação agrícola, principalmente a DBO; (c) verificou-se que os solos Gleissolo, Organossolo e Neossolo existentes na região, por serem mal drenados, são mais adequados para irrigação por inundação, enquanto que os Argissolos, Cambissolos e Latossolos são adequados às práticas da irrigação por aspersão e localizada; (d) o cultivo de olerícolas mostra-se mais promissor para ser irrigado na região da ETE Colombo Sede e grãos para as ETEs Cambuí e Lapa; (e) verificou-se que as pessoas são favoráveis ao consumo de produtos agrícolas

irrigadas com águas residuárias; (f) Os valores decendiais de *ET_o* e precipitação para Lapa e Pinhais, tendem a distribuição normal e gama, respectivamente, porém, metade dos decêndios analisados ajustaram-se à outras quatro distribuições de probabilidade; (g) os meses de março a agosto apresentam a maior possibilidade de ocorrer deficiência hídrica na região de Pinhais e Lapa; (h) a lâmina de irrigação suplementar necessária ao longo de todo o ano para as olerícolas, frutas/forageiras e grãos/algodão na região de Campo Largo e Colombo fica em torno de 121,9 mm, 157,4 mm e 201,6 mm, respectivamente, sendo necessário em torno de 3 a 4 irrigações apenas ao longo do ano para a localidade de Colombo (*CAD* = 97,6 mm) e em torno de 8 a 12 irrigações para Campo Largo (*CAD* = 34,6 mm).

Palavras-chave: Reúso de efluentes, balanço hídrico, precipitação provável, evapotranspiração provável.

DIAGNOSIS FOR PLANNING THE WASTEWATER USE TO IRRIGATION IN THE GREEN BELTS OF THE METROPOLITAN REGION OF CURITIBA-PR.

AUTHOR: CLODOVEU VALDENI TRENTIN

ADVISER: Prof. Dr. JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

ABSTRACT

The reuse of the water for several purposes, among them the agricultural irrigation, appears as alternative for the sustainability and lack of water. Respecting the sanitary and environmental limits of application for warranty of the quality level, the agricultural reuse can have several benefits. This way, the present work had as objective to do a diagnosis that allows to raise and to quantify basic data in order to evaluate and plan the possibility of wastewater use for irrigation of agricultural plants in the green belts located around of some stations of sewer treatment in the Metropolitan region of Curitiba. The work was developed following these stages: (a) rising information and mapping the soils close to the main Stations of Effluents Treatment (SETs) of SANEPAR, with potential to destine its effluents to irrigation; (b) realization of forms and revisions to characterize SETs, the consumers and the plants cultivated in the region; (c) estimate some climatic parameters to aid the irrigation projects; (d) to do a case study, characterizing the hydro-physical parameters of the soil and a climate decade water balance in order to verify aspects of irrigation around two SETs. Based on the data it was verified that: (a) in ten SETs studied only the Cambuí and Colombo Sede are located close to agricultural region; (b) the analyzed SETs have a good efficiency in the effluents treatment, even so, they still present out of the limits recommended by literature for use in agricultural irrigation, mainly BOD; (c) the "Gleissolo", "Organossolo" and "Neossolo" existent in the region, for being poorly drained, they are more adapted for irrigation by flood, while "Argissolos", "Cambissolos" and "Latosolo" are appropriate for located irrigation by aspersion; (d) the irrigation is more promising on grow of vegetables in the region of the SET Colombo and on grow of grains in the region of the SET Cambuí and Lapa; (e) the people are favorable to the use of agricultural products irrigated with wastewater; (f) The decade values of reference evapotranspiration (ET_0) and precipitation for Lapa and Pinhais tend to have a normal and gamma distribution, respectively, even so, half of the analyzed decade data was adjusted to the other four distribution of probability; (g) the months of March to August presented the largest possibility of having water deficiency in the region of Pinhais and Lapa; (h) the supplemental irrigation layer during the entire year for

the vegetables, fruits/forage and grains/cotton plants in the region of Campo Largo and Colombo is approximately 121,9 mm, 157,4 mm and 201,6 mm, respectively, being necessary approximately 3 to 4 irrigation during the year to Colombo place ($AWC = 97,6$ mm) and approximately 8 to 12 irrigation for Campo Largo ($AWC = 34,6$ mm).

Words key: Effluents reuse, water balance, probable rain, probable evapotranspiration

1 INTRODUÇÃO

A água representa um insumo fundamental à vida, configurando elemento insubstituível em diversas atividades humanas, além de manter o equilíbrio do meio ambiente. O acelerado crescimento populacional no mundo tem conduzido ao aumento da demanda de água, o que vem ocasionando, em várias regiões, problemas de escassez desse recurso (SETTI et al., 2002).

Sendo a água recurso indispensável à vida, é imprescindível a discussão das relações entre o homem e a água, uma vez que a sobrevivência das gerações futuras depende diretamente das decisões que estão sendo tomadas. Embora as fontes hídricas sejam abundantes, freqüentemente elas são mal distribuídas na superfície do planeta. Em alguns locais, a demanda é tão elevada, em relação à oferta, que a disponibilidade superficial de água está sendo reduzida e os recursos subterrâneos rapidamente esgotados.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) prevê que em algumas décadas a água doce será o recurso mais escasso e disputado pela maioria dos países e, em condições de uso fácil, não haverá mais que 0,01% do total de água do planeta. Uma previsão pessimista da Organização das Nações Unidas (ONU) anuncia que em 2005 já faltará água para dois terços da população mundial (KUBOTA, 2004).

É notável que o uso de água para fins domésticos, industriais, agrícolas, geração de energia, recreação, preservação ecológica, entre outros, vem aumentando em níveis preocupantes em escala mundial pelos conflitos que esse uso causa. A oferta de recursos hídricos em todas as regiões tem diminuído quantitativa e qualitativamente, com a demanda crescente pela pressão demográfica e econômica das sociedades modernas. Porém, essa carência favorece a discussão sobre a necessidade urgente da utilização de águas de qualidade inferior, como as águas residuárias domésticas (águas servidas) tratadas em um nível compatível com seu uso, em atividades menos exigentes em qualidade.

Como a agricultura utiliza grande quantidade de água e a atividade pode tolerar águas de qualidade inferior à necessária na indústria e no uso doméstico, é inevitável que

exista uma tendência crescente para se encontrar na atividade agrícola a solução dos problemas relacionados com efluentes.

O tratamento de esgotos domésticos, visando o seu aproveitamento na agricultura é uma boa alternativa. A utilização do esgoto no solo com a finalidade de fornecer nutrientes para a agricultura, por exemplo, é uma prática muito antiga, porém, pouco utilizada no Brasil. Nas cidades brasileiras de médio e grande porte, como Curitiba e Região Metropolitana, as áreas localizadas nos arredores das mesmas e que servem para o cultivo de determinadas culturas que abastecem o mercado consumidor ("cinturões verdes"), poderiam se beneficiar bastante ao aproveitar o esgoto doméstico tratado na irrigação de culturas agrícolas.

Inicialmente, os métodos de tratamento de esgotos foram concebidos como resposta à preocupação associada aos efeitos negativos causados pela descarga de efluentes no meio ambiente. No entanto, o aumento do número de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) e o surgimento de novas tecnologias, frente a crescente escassez dos recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas para as diversas necessidades, têm demonstrado a potencialidade que as características dos esgotos sanitários oferecem as atividades agrícolas e até mesmo industriais.

As 35 ETEs existentes na Região Metropolitana de Curitiba têm função importante na melhoria da qualidade ambiental e dos recursos hídricos com o tratamento do esgoto doméstico, evitando assim a proliferação de doenças e a deterioração dos recursos naturais. O reúso de água proveniente destas ETEs na agricultura irrigada poderá, no futuro, constituir-se em uma das principais diretrizes dos novos modelos de gerenciamento dos recursos hídricos e, em suas diversas formas, se mostrar como excelente alternativa para a economia e racionalização no uso da água.

A irrigação com águas residuárias equivale a descarga controlada do efluente sobre o solo com a finalidade de favorecer o crescimento dos cultivos. Porém, tal prática deve ser precedida de adequado sistema de coleta e condução de vazões capaz de atender a área em questão e que não constitua ameaça ao meio ambiente e à saúde pública. Para tanto, na utilização da irrigação com águas residuárias em determinada região devem ser avaliados aspectos referentes às condições climáticas, às características físicas, químicas e biológicas do solo e do efluente, bem como os métodos de irrigação mais adequados.

Sendo assim, o presente trabalho pretende a partir da análise de dados e informações disponíveis, verificar a possibilidade de utilização da técnica de reúso de água

para irrigação, buscando uma alternativa viável de aumento da oferta de água e com isso definir melhor alocação de recursos hídricos já limitados.

O desafio para a sociedade do futuro será justamente o gerenciamento dos conflitos e a capacidade de acomodar e proporcionar maior eficiência aos usos múltiplos da água. A competição para os diversos usos da água será sempre maior e cada vez mais presente neste século XXI (TUNDISI, 2003).

2 OBJETIVOS

Dadas as considerações dispostas no item anterior, o presente trabalho de pesquisa tem como objetivo:

2.1 OBJETIVO GERAL

Fazer um diagnóstico que permita levantar e quantificar dados básicos que sirvam para avaliar e planejar a possibilidade de utilização de águas residuárias na irrigação de culturas, nos cinturões verdes existentes nos arredores de algumas estações de tratamento de esgoto, situadas na Região Metropolitana de Curitiba-PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar os dados técnicos das principais estações de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de Curitiba-PR, junto a SANEAPR;
- Mapear e georeferenciar as principais ETEs da Região Metropolitana de Curitiba bem como identificar os respectivos tipos de solos e declividade ao redor das mesmas;
- Identificar algumas características como: funcionamento das principais ETEs na Região Metropolitana de Curitiba; principais culturas cultivadas nesta região; opinião dos consumidores sobre a utilização de água residuária para irrigar hortaliças e frutas;
- Coletar, organizar e tabular informações como precipitação e temperatura do ar próximo às estações de tratamento de esgoto e, ao mesmo tempo, estimar os valores prováveis da precipitação e evapotranspiração nas áreas em estudo, que possam servir para o planejamento, dimensionamento e manejo do sistema de irrigação na Região Metropolitana de Curitiba;
- Medir as principais propriedades físico-hídricas do solo, para permitir o cálculo do armazenamento da água no solo e o manejo da irrigação;
- Mediante as características físico-hídricas do solo e climáticas da Região Metropolitana de Curitiba, realizar um balanço hídrico decendial climatológico irrigacionista e identificar os benefícios e as dificuldades apresentadas na mesma para a utilização da irrigação de culturas agrícolas com águas residuárias.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A ÁGUA E SUA IMPORTÂNCIA

Essencial à vida, a água é uma substância necessária às diversas atividades humanas, além de constituir componente fundamental da paisagem e do meio ambiente (MEDEIROS et al., 2003). Entre os domínios correspondentes às atividades que utilizam a água, pode-se destacar: a agricultura, pelo papel relevante que a água assume como fator de produção na atividade agrícola; a produção de energia, no que se refere aos aproveitamentos hidroelétricos; a utilização na indústria, em consequência dos elevados consumos e da grande poluição da água que algumas atividades industriais provocam; a utilização para fins domésticos; a pesca, pelas implicações do regime de utilização da água na atividade pesqueira; o turismo, pela importância das utilizações recreativas da água; e os transportes, pelos condicionamentos resultantes para a navegação interior (SETTI et al., 2002). Entre as utilidades múltiplas de uso da água, MEDEIROS et al. (2003) acrescentam ainda a assimilação e condução de esgoto.

Os diversos usos da água doce modificam temporal ou espacialmente a disponibilidade da água, tanto em quantidade quanto em qualidade, gerando impactos ambientais. A captação de água e a diluição de efluentes afetam diretamente a disponibilidade hídrica, gerando grandes impactos negativos, enquanto que outros usos como navegação, recreação, piscicultura, entre outros, não alteram substancialmente a qualidade e a quantidade da água, mas são diretamente afetados pelos demais usos (SANTOS, 2002).

TRINIDAD et al. (2001) comenta que os recursos de água doce estão irregularmente distribuídos e a qualidade da água está deteriorando-se em muitas regiões do mundo. Para os autores, o mundo está sofrendo uma deficiência de água. Segundo FIGUEIREDO (1997) a escassez de água é causada pela combinação de vários fatores, ou seja, crescimento populacional exagerado, diminuição da cobertura vegetal e o comprometimento das reservas hídricas pela degradação ambiental. TRINIDAD et al. (2001) acrescentam que a

escassez da água pode ocorrer em função da precipitação e do aumento da demanda pelos setores agrícola, urbano e industrial, embora a maioria da água disponível globalmente seja utilizada na irrigação de culturas. O mesmo é descrito por MEDEIROS et al. (2003), na qual ressalta que a quantidade de água de boa qualidade existente na natureza é finita e sua disponibilidade vem diminuindo gradativamente, em razão do crescimento populacional, da expansão das fronteiras agrícolas e da degradação do meio ambiente.

À medida que a água não está prontamente disponível ou o seu custo de produção é aumentado, ela torna-se um fator crítico para o desenvolvimento e, até mesmo, para a sobrevivência da sociedade (FIGUEIREDO, 1997). O objetivo maior da preservação da água é garantir sua qualidade e disponibilidade em todos os níveis de consumo. No que se refere ao uso da água na agricultura, a irrigação só passa a ser fator de risco para as reservas de água quando não inclui, nas práticas de manejo, os cuidados necessários para a conservação do solo e da vegetação e, quando não adota medidas preventivas para evitar a contaminação da água por agrotóxicos e fertilizantes (OLIVEIRA et al., 2002).

Mediante as colocações dispostas nos parágrafos anteriores, verifica-se que embora a água seja um recurso natural renovável, a consciência de sua escassez como fonte de manutenção da vida, seja nas atividades produtivas, agropastoris e até mesmo para o abastecimento público das populações, tem levado os países a tratarem seus recursos hídricos como se não fossem renováveis, institucionalizando e sistematizando políticas para sua utilização e descarte (FINK & SANTOS, 2003).

O uso inadequado da água é uma forma primária de impacto ambiental, uma vez que se trata de um recurso natural que demanda grande quantidade de energia e infra-estrutura apropriada para sua captação, tratamento e distribuição. Além disso, no caso de uso doméstico, proporciona o aumento do volume de esgotos gerados, que são efluentes de elevado potencial poluidor para o ambiente (COSTA & MATOS, 1997).

É importante observar que a água pode ser apropriada para determinado uso, mas estar poluída para outro. Para a agricultura, por exemplo, é conveniente que o ambiente aquático seja rico em nutrientes, o que é indesejável para a água destinada ao abastecimento. A água com elevado teor salino é imprópria para uso agrícola, não havendo, no entanto, restrições para seu uso na geração de energia ou mesmo para navegação. Elevadas concentrações de ferro podem comprometer seu uso na geração de energia (deposição em turbinas), mas não afetam sua utilização em navegação ou recreação. Portanto, observa-se que determinados usos da água exigem um padrão de qualidade mais elevado, ao passo que outros não apresentam restrições neste sentido. Assim, é possível

estabelecer de forma aproximada uma gradação de usos, em função da qualidade da água, abrangendo desde as utilizações mais nobres (abastecimento, irrigação) até aqueles menos exigentes (navegação, controle de cheias) (SPERLING, 1997).

3.2 ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

ROCHA et al. (1999) descreve que aproximadamente 70% de toda a água doce consumida no mundo destina-se a agricultura, 23% é utilizada pela indústria e apenas 7% destina-se para o abastecimento humano. Esta informação demonstra o quanto é importante que os agricultores irrigantes utilizem o recurso água com a maior eficiência possível. No Brasil, as reservas de água utilizável estão cada vez mais escassas, especialmente nas regiões onde são mal distribuídas temporalmente, como na região semi-árida do Nordeste brasileiro.

Segundo TUNDISI (2003) o consumo de água nas atividades humanas varia muito entre diversas regiões e países. Com as permanentes necessidades de água para fazer frente ao crescimento populacional e às demandas industriais e agrícolas, têm-se gerado crescente pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O autor acrescenta que o desenvolvimento agrícola depende da disponibilidade de água e de seu uso adequado. Além da água para irrigação, o uso para abastecimento rural apresenta desafio relevante, pois nessa área estão concentrados muitos problemas de saúde pública relacionados ao abastecimento e ao saneamento. Com o uso de novas tecnologias para irrigação, pode-se reduzir o consumo de água entre 30% e 70%. A zona rural nordestina, por exemplo, depende da água para o desenvolvimento econômico.

Entre os especialistas em recursos hídricos, é cada vez mais forte o convencimento de que nos encontramos no início de uma grave crise de escassez de água para irrigação e para outros usos. Esta crise tem proporções internacionais, principalmente em regiões populosas do mundo, como o Oriente Médio. A falta de água pode representar para muitos países um fator limitante para o desenvolvimento sustentável e, em alguns casos, poderá ocasionar conflitos entre nações (MARTÍNEZ, 1994).

Segundo BERNARDO (1997), a crise de disponibilidade de água afetará bastante a irrigação no mundo. No Brasil, existem dois grupos de problemas envolvendo a disputa pelo uso da água: um governamental, compreendendo o uso da água para irrigação, hidroelétricas e consumo urbano (humano e industrial); e o outro relacionado ao uso múltiplo da água pelos usuários de um rio.

Segundo OLIVEIRA et al. (2002) a agricultura utiliza grande quantidade de água e a atividade pode tolerar águas de qualidade inferior à necessária em indústria e uso doméstico. Desta forma, é inevitável que exista uma tendência crescente para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com efluentes. Em termos quantitativos, o volume de águas residuárias disponíveis para a irrigação é insignificante, em comparação com o total de água usado na agricultura irrigada, mas as possíveis conseqüências de seu uso são de tal importância econômica, ambiental e social, que a necessidade de planejamento é justificada para controlar, em longo prazo, os efeitos de salinidade, sodicidade, nutrientes e oligoelementos, sobre os solos e as culturas.

A substituição de água de melhor qualidade por águas residuais tratadas na irrigação, possibilita a economia de água doce, aumentando assim a disponibilidade de recursos hídricos para finalidades que requerem padrões de qualidade mais exigentes, como o abastecimento domiciliar e industrial. A economia que se poderá designar por conservação da água será mais importante, quanto mais escassas e mais distantes forem as origens da água possuindo qualidade boa o suficientemente para o abastecimento domiciliar ou industrial (MONTE, 2001).

Para HESPANHOL (2002), a agricultura moderna depende de uma quantidade de água para a produção de alimentos que não poderá ser mantida sustentavelmente, sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Segundo o autor, nas duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou, significativamente, devido aos seguintes fatores: (a) Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação; (b) Custo elevado de fertilizantes; (c) Segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas são efetivamente tomadas; (d) Custos elevados dos sistemas de tratamento necessários para descarga de efluentes em corpos receptores; (e) Aceitação sócio-cultural da prática do reúso agrícola; e (f) Reconhecimento do valor intrínseco da prática pelos órgãos gestores de recursos hídricos.

A demanda de águas residuárias foi gerada como resultado dos recursos hídricos limitados, o incremento de água potável em zonas urbanas, a produção local de alimentos e o reconhecimento do valor dos nutrientes nos efluentes residuais. A reutilização de água recuperada para irrigação reforça a produtividade agrícola, pois contem nutrientes e melhora os rendimentos das culturas. Entretanto, requer apropriada tecnologia e confiabilidade dos tratamentos, aceitação e participação da população, e deve ser economicamente viável (TRINIDAD, 2001). SAMPAIO et al. (2001) também concorda que a utilização de águas residuárias na irrigação deverá exercer fator econômico fundamental para os agricultores

irrigantes, já que a irrigação representa boa parcela da água consumida. É importante salientar também, que no futuro a água captada nos lagos e rios será taxada devido à implantação da nova legislação sobre o uso da água em todos os Estados brasileiros.

3.3 REÚSO DA ÁGUA

O reúso consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana. O reúso da água pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas (BREGA FILHO & MANCUSO, 2003).

O reúso indireto não planejado de águas ocorre quando a água já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante. O reúso planejado de água ocorre quando se pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água (BREGA FILHO & MANCUSO, 2003).

Os métodos de tratamento de esgotos foram, inicialmente, concebidos como resposta à preocupação associada aos efeitos negativos causados pela descarga de efluentes no meio ambiente. Estes sistemas de tratamento de esgoto podem ser aplicados a vários tipos de uso e são classificados em (MANCUSO, 2003):

(a) Lagoas de estabilização: Sob essa denominação agrupam-se alguns processos de tratamento, tendo em comum o uso de um reservatório artificialmente construído, onde se desenrolam os fenômenos responsáveis pelo tratamento de esgotos. Estes fenômenos consistem na decomposição da matéria orgânica pela ação dos microrganismos, troca de gases com o ar atmosférico, mistura e decantação de partículas, além da ação da temperatura, vento, insolação e precipitação pluviométrica. São as denominadas lagoas aeradas, aeradas aeróbias, aeradas facultativas, anaeróbias, facultativas, maturação. Segundo PAGANINI (2003), as lagoas de estabilização são os sistemas de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes mais eficientes, em termos de remoção de microrganismos patogênicos e de nutrientes eutrofizantes. Dependendo da disponibilidade de água, a disposição no solo dos efluentes dessas unidades é uma opção adequada à realidade de grande parte do território brasileiro.

(b) Filtros biológicos: O filtro biológico é uma estrutura construída normalmente de concreto, que contém no seu interior um enchimento de pedras ou plástico, que serve de leito sobre o qual o esgoto é aspergido. O esgoto escorre através do leito, propiciando o

desenvolvimento de uma população biológica que se acumula sobre as pedras do filtro sob forma de uma película de lodo, no interior do qual vivem os microrganismos aeróbios, que consomem a matéria orgânica. Ao morrerem por falta de alimento, os organismos desprendem-se das pedras, sendo retidos no decantador que normalmente vem após essa unidade;

(c) Lodo ativado: O tratamento de esgoto por lodos ativados é um processo biológico no qual o material orgânico é utilizado como alimento pelos microrganismos. Isso é feito por meio da agitação e aeração da mistura constituída de esgoto e lodo biológico (microrganismos) em tanques de aeração ou reatores. Logo após segue-se a separação do esgoto tratado por decantadores, chamados secundários, de onde uma parte do lodo retorna ao tanque de aeração, descartando-se o excesso;

(d) Processo de nitrificação biológica: Os esgotos domésticos contêm compostos de nitrogênio cujo lançamento no corpo receptor pode causar inconveniências que vão desde o consumo do oxigênio dissolvido até o aumento da fertilidade das águas, propiciando proliferação de algas e eutrofização. Os Processos químicos e biológicos de tratamento dos efluentes podem alterar a forma pela qual o nitrogênio apresenta-se, o que pode eliminar um ou mais inconvenientes. A transformação dos compostos amoniacais em nitritos e nitratos, embora elimine os efeitos tóxicos da amônia, bem como sua avidéz pelo oxigênio, não reduz o potencial de eutrofização do efluente.

A qualidade da água utilizada e o objetivo específico do reúso geralmente estabelecem os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados, os custos de capital, operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reúso dependem, evidentemente, das características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais e disponibilidade (HESPANHOL, 2003). Para TRINIDAD et al. (2001), o grau de tratamento requerido para a recuperação de águas residuais varia de acordo com as especificações de aplicação de reutilização e também está associada à qualidade requerida da água. Os sistemas de tratamentos podem ser simples, intercalando processos de separação sólido/liquído e desinfecção, mas podem ser complexos também, intercalando uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos que empregam um sistema múltiplo para remover contaminantes.

Avalia-se que cerca de 10 bilhões de litros de esgoto por dia são jogados diretamente nos cursos d'água brasileiros (FONSECA, 2002). Informações obtidas pela ANEEL (2002) junto a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente e

Recursos Hídricos da Amazônia legal, demonstram que atualmente 49% do esgoto sanitário produzido no Brasil é coletado e, desse percentual, apenas 32% são tratados. Segundo FONSECA (2002), o aproveitamento planejado de águas residuárias (efluentes tratados ou não) na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição de corpos d'água, disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, reciclagem de nutrientes e aumento de produção agrícola. O efluente de esgoto tratado (EET) caracteriza-se por ser um material líquido que possui algumas características peculiares, diferindo-o da água convencional. As principais diferenças em relação à água esta na presença de matéria orgânica expressa pela demanda química de oxigênio (DQO - quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO - quantidade de oxigênio requerida para degradação microbiana de compostos orgânicos de águas residuárias), macro e micronutrientes, metais pesados essenciais e não essenciais as plantas (FONSECA, 2002).

Conforme foi visto anteriormente, o uso de esgotos no setor agrícola constitui um importante elemento das políticas e estratégias de gestão de recursos hídricos. Para HESPANHOL (2003), muitos países situados em regiões áridas e semi-áridas, tais como o norte da África e o Oriente Médio, consideram esgotos e águas de baixa qualidade como parte integrante de seus recursos hídricos nacionais, equacionando sua utilização junto aos sistemas locais de gestão, urbanos e rurais. Segundo o mesmo autor, os critérios de tratamento para reúso agrícola devem ser associados à: manutenção da DBO até um máximo de aproximadamente 100 mg/L, para não ocorrerem problemas com a absorção de água pelas raízes das plantas; manutenção de nutrientes; e eliminação de organismos patogênicos em níveis estabelecidos pela legislação local, se disponível, ou de acordo com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde.

Para SOUSA et al. (2001), as águas residuárias tratadas quando lançadas em um corpo d'água ou mesmo infiltradas no solo, sofrem naturalmente diluição e aeração podendo, assim, ser novamente captadas, tratadas e reutilizadas como água potável. A água doce do planeta é renovável, do ponto de vista qualitativo e quantitativo, desde que haja planejamento e gerenciamento cuidadoso e criterioso para tornar, assim, um ciclo sustentável.

PAGANINI (2003) comenta que a aplicação de esgotos e efluentes no solo é atualmente vista como uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica, em regiões áridas e semi-áridas, sendo os maiores benefícios dessa tecnologia os aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública.

TUNDISI (2003) comenta que existe um mercado potencial muito grande para água ser reutilizada. Em São Paulo, por exemplo, a SABESP introduziu em três estações de tratamento de esgoto (ETE) a possibilidade de reúso da água a um custo bem inferior ao da água potável. O reúso é uma possibilidade muito importante de economia da água e da eliminação do desperdício. O reúso, além de ser um componente econômico importante, elimina uma fonte de desperdício de água tratada e retarda, até certo ponto, o ciclo hidrológico regional. Os benefícios do reúso podem ser estimados com o aumento da produtividade da agricultura e aqüicultura, redução de danos ambientais, controle da erosão, aumento da disponibilidade de empregos e alternativas econômicas.

3.3.1 Qualidade da água residuária para utilização na irrigação

Os padrões de qualidade da água são valores limites admissíveis dos indicadores de qualidade selecionados, fixados em função dos usos do corpo hídrico: abastecimento urbano e industrial, recreação, preservação de mananciais, irrigação, entre outros, assim como, do tipo de tratamento que a água receberá antes de sua utilização. Os limites para a presença de determinadas substâncias de origem antrópica na água têm por objetivo a proteção da saúde pública e a proteção, ou mesmo recuperação, dos ecossistemas (SANTOS, 2002).

Os principais usos gerais e específicos da água, bem como a qualidade que a água deve possuir para servir a estes usos, foram sumarizados e estão apresentados na Tabela 3.1 (PRUSKI, 1997).

De acordo com SAMPAIO et al. (2001), a utilização de águas residuárias na irrigação já representa parcela considerável. Vários trabalhos apontam que a próxima crise da humanidade estará intimamente relacionada com a disponibilidade e conservação dos recursos hídricos. Sabe-se que a água, apesar de ser um recurso renovável, é limitada devido à sua má distribuição espacial e temporal.

Tabela 3.1 Associação entre os usos da água e requisitos de qualidade (PRUSKI, 1997).

Uso geral	Uso específico	Qualidade requerida
Abastecimento doméstico de água	Consumo humano, higiene pessoal e usos domésticos	<ul style="list-style-type: none"> – Isenta de substâncias químicas prejudiciais a saúde – Adequada para serviços domésticos – Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor; ausência de micro e macrorganismos).
Abastecimento industrial	<p>A água não entra em contato com o produto (ex.: refrigeração, caldeiras).</p> <p>A água entra em contato com o produto</p> <p>A água é incorporada ao produto (ex.: alimentos, bebidas, remédios).</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Baixa agressividade e dureza – Variável com o produto. – Isenta de substâncias químicas e organismos prejudiciais à saúde – Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor).
Irrigação	<p>Hortaliças, produtos crus ou com casca.</p> <p>Demais plantações</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Isenta de substâncias químicas e organismos prejudiciais à saúde – Salinidade não excessiva. – Isenta de substâncias prejudiciais ao solo e às plantações – Salinidade não excessiva
Dessedentação de animais	—	– Isenta de substâncias químicas e orgânicas prejudiciais à saúde dos animais
Preservação da flora e da fauna	—	– Variável com os requisitos ambientais da flora e da fauna que se deseja preservar.
Recreação e lazer	<p>Contato primário (contato direto com o meio líquido; ex.: natação, esqui, surfe).</p> <p>Contato secundário (não há contato direto com o meio líquido; ex.: navegação de lazer, pesca, lazer contemplativo).</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Isenta de substância química e organismos prejudiciais à saúde – Baixos teores de sólidos em suspensão, óleos e graxas. – Aparência agradável.
Geração de energia	Usinas hidrelétricas Usinas nucleares ou termoelétricas (ex.: torres de resfriamento).	<ul style="list-style-type: none"> – Baixa agressividade – Baixa dureza
Diluição de despejos	—	—
Transporte	—	– Baixa presença de material grosseiro que possa por em risco as embarcações.
Aqüicultura	—	– Presença de nutrientes e qualidade compatível com as exigências das espécies a serem cultivadas.
Paisagismo e manutenção da umidade do ar e da estabilidade do clima	Estética e conforto térmico.	—

No Brasil, atualmente, são desenvolvidos normas, padrões e códigos de prática de reúso agrícola que se baseiam em diretrizes desenvolvidos por organismos internacionais. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), estabeleceu diretrizes que são voltadas unicamente para os aspectos agrícolas e edafológicos em sistemas irrigados com efluentes. A Organização Mundial da Saúde publicou, em 1989, as "Diretrizes para o Uso de Esgotos em Agricultura e Aqüicultura", onde foram estabelecidos os critérios básicos para a proteção dos grupos de risco (Tabela 3.2). Esses critérios e diretrizes foram estabelecidos baseando-se em um longo processo técnico e científico preparatório e na evidência epidemiológica, disponível até então. A proposta de uma diretriz nacional para reúso agrícola, baseia-se nas características locais, dentro do critério de risco/benefício.

Tabela 3.2. Diretrizes microbiológicas recomendadas pela Organização Mundial da Saúde, em 1989, para uso de esgotos na agricultura (*)

Categorias	Condições de Reúso	Grupos de Risco	Limites para Nematodos⁽¹⁾ (ovos/litro)⁽²⁾	Coliformes fecais (Nº/100ml)⁽³⁾	Sistema de tratamento recomendado para atingir a qualidade microbiológica
A	Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos ⁽⁴⁾	Operários, consumidores	1	1000	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores ⁽⁵⁾	Operários	1	Não aplicável	Retenção em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, se não ocorrer exposição de trabalhadores e do público	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento requerido pela técnica de irrigação aplicada, mas não menos do que tratamento primário

(*) Em casos específicos, fatores epidemiológicos, sócio-culturais ou ambientais devem ser levados em consideração essas diretrizes modificadas de acordo. (1) *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostomus duodenalis*; (2) Média aritmética durante o período de irrigação; (3) Média geométrica durante o período de irrigação; (4) Um valor diretriz mais restritivo (200 coliformes fecais por 100 ml) é apropriado para gramados públicos, tais como os de hotéis, com os quais o público tenha contato direto; (5) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e frutos não devem ser colhidos do chão. Irrigação por sistemas de aspersores não deve ser utilizada.

Com o objetivo de evitar a poluição e contaminação de qualquer espécie modificando os usos dos corpos d'água, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) instituiu a Resolução nº 357, publicada em 17 de março de 2005, que estabelece treze classes de usos preponderantes da água no território Nacional (CONAMA nº 357, 2005). Os efluentes somente podem ser descartados em corpos d'água se os seus parâmetros característicos se situarem dentro do balizamento dado pela referida resolução, para cada classe de corpo de água.

O CONAMA nº 357 (2005) subdivide e define cinco classes para a destinação das águas doces brasileiras, conforme apresentado abaixo:

I – Classe Especial: (a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção; (b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; (c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;

II – Classe 1: (a) abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; (b) proteção das comunidades aquáticas; (c) recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); (d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; (e) proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas;

III – Classe 2: (a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; (b) proteção das comunidades aquáticas; (c) recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); (d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; (e) aquicultura e à atividade de pesca;

IV – Classe 3: (a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; (b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; (c) pesca amadora; (d) recreação de contato secundário; (e) dessedentação de animais;

V – Classe 4: (a) à navegação; (b) à harmonia paisagística.

Dentre os constituintes mais importantes em termos de avaliação do impacto na qualidade da água, destacam-se a demanda bioquímica de oxigênio e o oxigênio dissolvido na água. Isso se dá porque o oxigênio é fundamental para a manutenção de formas de vida aeróbias importantes para o equilíbrio ambiental, as quais são fontes de alimento para o homem. Todavia, o despejo de certos poluentes no meio aquático pode afetar profundamente a concentração de oxigênio dissolvido, levando inclusive ao desaparecimento dessa substância e das formas de vida que dela dependem (EIGER, 2003).

MONTE (2001) comenta que os parâmetros de qualidade importantes na avaliação da adequabilidade de um efluente de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR)

para rega não são os mesmos que deverão ser considerados no caso do destino final desse efluente ser o lançamento em meio hídrico. Neste último caso, os parâmetros mais importantes são a carência bioquímica de oxigênio (CBO_5), a carência química de oxigênio (CQO) e os sólidos suspensos (SS). Segundo o autor, a CBO_5 e CQO são parâmetros menos relevantes na questão de utilização de águas residuais tratadas para rega (MONTE, 2001).

Para SOUSA et al. (2001) a adequação da água para irrigação ainda é muito subjetiva, no entanto, deve-se sempre tentar identificar e avaliar alguns parâmetros que poderão produzir efeitos desagradáveis na relação água, planta e solo. Por exemplo, a água pode ser considerada adequada para certo tipo de solo ou cultura, mas inadequada para outros. Desta forma, sempre é importante analisar: as características físico-químicas, a qualidade sanitária da água, as características do solo, a tolerância das culturas a serem utilizadas, o clima local, o manejo da irrigação e drenagem. A irrigação é prática segura para garantir a produção agrícola em regiões que possuem déficit hídrico, no entanto, para suprir a demanda de água destas regiões, precisa-se não somente administrar racionalmente as bacias hidrográficas locais, mas, também, implantar uma política racional, no sentido de se tratar convenientemente os esgotos sanitários provenientes dos grandes centros urbanos.

3.4 IRRIGAÇÃO EM FUNÇÃO DA POSSIBILIDADE DE USO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Na agricultura, a irrigação é fundamental para eliminar o risco de deficiência hídrica nos cultivos, aumentar a produtividade, garantir a produção de alimentos e intensificar o uso da terra. Por outro lado, a elevada demanda de água em projetos de irrigação no Brasil exige racionalização no seu uso por meio de alternativas que proporcionem maior eficiência no uso da água (ROSSINI, 2002).

De acordo com HESPANHOL (2002) a aplicação de esgotos tratados pode ser efetuada por meio dos seguintes métodos básicos de irrigação:

- Inundação ou por canais laterais, molhando praticamente toda a superfície do solo;
- Sulcos, molhando apenas uma pequena parte da superfície do solo;
- Aspersores, fazendo com que o solo e as culturas sejam molhados de maneira semelhante ao que ocorre durante chuvas;
- Sub-superficial, na qual apenas uma pequena porção do solo é molhada, mas permitindo a saturação do sub-solo; e
- Localizada (gotejamento, microaspersão), na qual a água é aplicada a cada planta, individualmente, e a uma taxa ajustável.

A escolha correta do método de irrigação, isto é, se por superfície, aspersão ou localizada irá depender de características locais como o solo (capacidade de retenção de água, velocidade de infiltração, drenagem, topografia, presença de lençol freático, salinidade, entre outros), o clima (ventos predominantes, umidade relativa do ar), a água (disponibilidade e qualidade), bem como das culturas de interesse (grãos, fruticultura, cafeicultura, forrageiras, entre outras) (FEREIRA, 1997). PRONI (1987) comenta que o processo de seleção de um sistema de irrigação mais adequado para uma certa situação, consiste em observar alguns fatores que podem afetar a seleção do método, como é apresentado na Tabela 3.3. HESPANHOL (2002) acrescenta ainda, que para uma seleção adequada do método de irrigação a ser usado para aplicação de água residuária, além de fatores econômicos, topografia, tipo de cultura, entre outros, deve-se considerar os riscos para a saúde dos trabalhadores, contaminação da cultura, formação de aerossóis, odores e possíveis danos ao sistema de irrigação.

Tabela 3.3. Fatores a serem observados na seleção de alguns métodos de irrigação

Métodos	Fatores			
	Declividade	Taxa de infiltração	Sensibilidade da cultura ao molhamento	Efeito do vento
Superfície	Área deve ser plana ou nivelada artificialmente a um limite de 1%. Maiores declividades podem ser empregadas tomando-se cuidados no dimensionamento.	Não recomendado para solos com taxa de infiltração acima de 25 mm/h ou com taxa de infiltração muito baixa	Adaptável à maioria das lavouras. Pode ser prejudicial às culturas que não toleram água na raiz	Não é problema para o sistema de sulcos
Aspersão	Adaptável a diversas condições	Adaptável às mais diversas condições	Pode propiciar o desenvolvimento de doenças foliares	Pode afetar a uniformidade de distribuição e a eficiência
Localizada	Adaptável às mais diversas condições	Todo tipo. Pode ser usado em casos extremos, como solos muito arenosos ou muito pesados	Menor efeito de doenças que a aspersão. Permite umedecimento de apenas parte da área.	Nenhum efeito no caso de gotejamento
Subirrigação	Área deve ser plana ou nivelada.	O solo deve ter uma camada impermeável abaixo da zona das raízes, ou lençol freático alto que possa ser controlado.	Adaptável a quase todas as culturas	Não tem efeito

HESPANHOL (2002) comenta que cada método de irrigação implica em diferentes custos e diferentes eficiências no uso da água aplicada, acrescenta ainda, que não existe até o momento evidências epidemiológicas de que aerossóis gerados na irrigação por aspersão impliquem em riscos a saúde. Visando proporcionar uma margem razoável de segurança e minimizar problemas de odores, deve-se manter distância mínima de 100 m entre as culturas irrigadas e casas.

A irrigação, em todas as suas etapas, depende fundamentalmente do conhecimento dos fatores climáticos, meteorológicos e das propriedades físico-hídricas do solo, a começar pelo planejamento, dimensionamento dos sistemas de irrigação e do manejo da água nos sistemas de produção agrícola. As necessidades de água pelas culturas variam com os fatores climáticos e são, na maioria das vezes, estimados através da evapotranspiração (COUTO & SANS, 2002a). A consideração dos fatores mencionados e a definição das áreas que se pretende irrigar no futuro permitirão caracterizar as necessidades de água para a agricultura (SETTI et al., 2002).

A irrigação com esgotos brutos ou tratados pode ser definida como descarga controlada sobre o solo, com a finalidade de suportar o crescimento das plantas. Assim, os esgotos são aplicados em solos cobertos por vegetação, com o objetivo de auxiliar a agricultura ou a silvicultura. As taxas de aplicação de esgotos e a frequência das regas devem ser realizadas de tal forma que possibilitem, ciclicamente, as condições de umidade e secagem necessárias à adequada aeração do solo. Além disso, a fim de preservar o papel das plantas, é igualmente necessário que o teor de umidade do solo e as concentrações dos elementos tóxicos não superem aquelas que a vegetação tem condições de suportar (PAGANINI, 2003).

Dentre os benefícios que a irrigação proporciona a exploração agrícola, podem ser mencionados (DAKER, 1988, BERNARDO, 1989):

- Maior eficiência no uso de fertilizantes além de maior facilidade de aplicação no caso dos adubos solúveis;
- Maior garantia de produção por reduzir a dependência das chuvas;
- Aumento das produtividades das culturas;
- Programação da época de plantio, ou seja, elaboração de uma escala de colheita;
- Possibilidade de alteração da época e colheita, em menores latitudes, resultando em melhores preços no mercado;
- Mais de uma safra por ano de uma mesma cultura.

3.4.1 Considerações gerais sobre a irrigação no Estado do Paraná

O Estado do Paraná conta atualmente com cerca de 52.000 ha de áreas de cultivo que utilizam a prática da irrigação. A maior parcela utiliza o sistema de irrigação por aspersão, principalmente na produção de olerícolas. Estima-se que existam cerca de 14.000 ha com irrigação de superfície, utilizada principalmente para a cultura do arroz. Em menor proporção encontra-se a irrigação localizada, representada pelo gotejamento em fruticultura em cerca de 1.100 ha. A irrigação por pivô central é normalmente utilizada em grandes áreas, principalmente no cultivo de grãos, em cerca de 500 ha. O feijão é a cultura que mais utiliza o sistema pivô central no Estado do Paraná (ROSA, 2004).

A pequena parcela da área agricultável no Estado do Paraná que utiliza a prática da irrigação, cerca de 1,5% conforme dados do Censo Agropecuário 1996 do IBGE, deve-se principalmente ao sistema de produção predominante baseado no cultivo de grãos (milho, soja, feijão, trigo), que são culturas que apresentam relativa resistência ao déficit hídrico e que se adaptam bem à distribuição de chuvas no Estado (ROSA, 2004).

No entanto, serve de exemplo e é importante observar as considerações realizadas por HESPANHOL (2003), onde relata que no vale de Mesquital, no México, houve uma recuperação econômica associada à disponibilidade de esgotos para irrigação, sendo que a renda agrícola aumentou significativamente quando os esgotos da Cidade do México foram postos à disposição da região. SANTANA (2003) acrescenta que a irrigação torna possível mais de uma safra anual, permitindo o aproveitamento intensivo do solo, inclusive dos cerrados e das regiões secas, minimizando as incertezas do clima e elevando substancialmente a produtividade agrícola.

3.4.2 Resultados alcançados com a utilização de águas residuárias na agricultura

AGUIAR & SILVA (1999) descrevem que a água residuária tratada pode ser utilizada de forma planejada para produção de volumosos na alimentação dos ruminantes. O reúso intencional de despejos tratados não é uma prática nova, entretanto, ultimamente tem havido interesse crescente em relação à necessidade de sua reutilização, como é o caso do capim elefante cv. Roxo. Os mesmos autores avaliando a resposta desta cultura ao esgoto doméstico, por meio dos aspectos produtivos e morfológicos, evidenciaram que não houve efeito negativo dos efluentes sanitários sobre as variáveis estudadas e a cultura ainda apresentou um incremento na produtividade.

MOTA (2000) analisando o desempenho das culturas de algodão e sorgo irrigado com efluente tratado pela estação de tratamento local e com água tratada em processos

convencionais de abastecimento, obteve uma série de informações interessantes em um estudo desenvolvido no Estado do Ceará. Os resultados apresentados na Tabela 3.4 mostram que as culturas irrigadas com efluentes tratados conseguiram alcançar superioridade na maioria das características analisadas. O autor concluiu que a utilização do esgoto tratado em irrigação, além de ser uma alternativa para a escassez de água, resulta em melhoria para as culturas em questão, pois acelera seu crescimento, reduz a utilização de fertilizantes e também as despesas com os métodos convencionais de irrigação.

Tabela 3.4. Características da cultura do sorgo e algodão irrigado com efluente tratado e com água potável em um estudo desenvolvido do Estado do Ceará

Características	Parcelas irrigadas	
	Esgoto	Água potável
Cultura do sorgo		
Altura média (m)	1,40	1,00
Florescimento (dias)	53	70
Produção de grãos (kg/ha)	3.535	605
Massa verde (t/ha)	9,56	2,48
Massa seca (t/ha)	4,64	1,08
Proteína bruta (%)	1,58	1,86
Cultura do algodão		
Produção (kg/ha)	506	340
% de fibra	35,1	30,3
Produção de fibras (kg/ha)	177,61	103,02
Peso médio do capulho (g)	4,2	3,8
Peso 100 sementes (g)	8,4	7,7
Comprimento médio das fibras (cm)	30,7	27,5

Diversos países utilizam esgoto bruto para a aplicação no solo, como é o caso da Índia e Austrália. Neste último país, o esgoto bruto é aplicado no solo de diversas maneiras com a finalidade de formação de pastagens para os animais (bois e ovelhas) se alimentarem diretamente. Este sistema tem sido aplicado com sucesso em solos arenosos e de baixa produtividade agrícola, verificando-se ótimos resultados na produtividade. Verificou-se ainda que a irrigação com esgoto proporcionou um crescimento entre 300% e 400% no capim para forragem, entre 20% e 50% em cereais e acréscimo no conteúdo de proteína em forragens entre 6% e 17% (BRAILE & CAVALCANTI, 1979).

Devido à escassez de água na região semi-árida do Nordeste brasileiro, a disposição controlada de água residuária no solo como técnica de pós-tratamento pode ser caracterizada como método apropriado de disposição final. Nesse sentido, buscaram alternativas de irrigação de culturas forrageiras aceitas pelos agricultores da região, como forma de proporcionar o polimento final de efluentes tratados de esgotos domésticos, podendo ser aproveitado também para irrigação de fruticultura e grandes culturas como algodão, milho, trigo, soja, entre outros. No caso dos nutrientes presentes nos efluentes líquidos o sistema solo-planta propicia, através da agricultura e da agropecuária, reflexos

nas condições sócio-econômicas regionais, sendo assim muito adequadas à realidade nordestina, principalmente devido à alta relação benefício/custo. Ao percolar subsuperficialmente no terreno o efluente sofre tratamento no interior do solo. Este fato possibilita as ações de adsorção e as atividades dos microrganismos, os quais usam a matéria orgânica contida nos despejos como alimento, convertendo-a em matéria mineralizada (nutrientes) que fica à disposição da vegetação (LUCAS FILHO et al., 2001).

Da análise de vários sistemas em funcionamento, chegaram a conclusão que a aplicação de efluentes em plantações tem promovido aumento na produtividade sem sacrificar a qualidade dos produtos. Da mesma maneira, têm-se observado que em silvicultura o crescimento das árvores tem aumentado e mesmo duplicado, com resultado da irrigação com águas residuárias (BRAILE & CAVALCANTI, 1979).

3.4.3 Aceitação dos produtos agrícolas irrigados com águas residuárias

Segundo CARARO (2004), a aceitação pública é o mais crucial dos elementos na determinação do sucesso ou do insucesso de um programa de reúso, particularmente no caso do reúso potável, dependendo também do nível de sucesso com o qual as agências governamentais conseguem transmitir ao público alvo: (a) uma idéia clara e completa do programa que se pretende implementar; (b) um conhecimento adequado da qualidade dos esgotos tratados e de como ele será utilizado; (c) confiabilidade na capacidade de gestão da agência encarregada dos serviços e na adequabilidade dos sistemas de tratamento propostos; (d) certeza de que o sistema envolve riscos mínimos de saúde e de degradação ambiental e; (e) segurança na sustentabilidade do abastecimento e na adequabilidade dos esgotos tratados para os tipos de cultura estabelecidos nos programas de reúso.

LIMA et al. (1995) e RIBEIRO et al. (1997) comentam que uma forma de avaliar a aceitação do público (consumidores e agricultores) quanto a um programa do tipo reúso consiste em recolher informações através de enquête ou entrevista. Para os autores, este trabalho é facilitado quando se tem consciência dos aspectos a serem observados, como clareza das informações necessárias e onde se quer chegar com elas. Quanto mais completa e precisa for a coleta de dados, maior será a profundidade da análise e maior será a coerência do diagnóstico, permitindo a formulação de conselhos técnicos e gerenciais que contribuam para a melhoria do desempenho da unidade de produção. As maiores dificuldades dizem respeito a “o que observar” e “como observar”.

3.5 PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS IMPORTANTES PARA O PLANEJAMENTO DA IRRIGAÇÃO

O manejo da irrigação de uma cultura deve ser feito baseando-se em critérios que possibilitem a aplicação de água no solo, de forma a promover bom desenvolvimento das culturas e obter produção ótima. A irrigação deve repor ao solo a quantidade de água retirada pela cultura e o momento de se irrigar pode ser identificado quando a disponibilidade de água no solo assume valor mínimo, abaixo do qual a planta começa a sentir os efeitos da restrição de água. A definição de quando e quanto irrigar pode ser feita por métodos que estabeleçam valores limites para variáveis do solo ou da planta (TORMENA et al., 1999).

3.5.1 Principais propriedades físico-hídricas do solo

SOUSA et al. (1999) descreve que o solo é um corpo natural complexo e dinâmico, resultante da atuação conjunta de muitos fatores de formação, como clima, organismos vivos, material de origem, relevo e tempo. Dependendo da intensidade de atuação ou da predominância de alguns desses fatores, são formados solos de diferentes características químicas e físicas. Durante a pedogênese pode haver adição, remoção, transformação e translocação de elementos químicos do material original. Esses processos determinam, em maior ou menor intensidade, as características químicas e físicas dos solos, conferindo-lhes grande variabilidade, dependendo de onde estão situados. O autor acrescenta, ainda, que a ação do homem é fator de variabilidade, principalmente nas características químicas. Do ponto de vista agrônomo, o solo pode ser caracterizado através de sua classe pedológica, física e de fertilidade.

Em estudos de planejamento da irrigação, o solo também pode ser classificado de acordo com a sua aptidão para irrigação e, para o manejo da irrigação, é necessário o conhecimento de algumas das propriedades físico-hídricas do solo, quais sejam: densidade global (aparente), capacidade de campo, ponto de murcha permanente, velocidade de infiltração básica e a curva característica de retenção de água no solo. Dependendo da situação, outros parâmetros também necessitam ser conhecidos, tais como: análise textural, densidade das partículas da fração sólida, condutividade hidráulica saturada, porosidade total do solo, entre outros (COUTO & SANS, 2002b). É com o auxílio destes parâmetros que a capacidade de água disponível no solo é calculada e o manejo da irrigação pode ser realizado.

3.5.1.1 Porosidade e textura do solo

Segundo CARVALHO et al. (1999), o solo é um reservatório de água para as plantas e todas as práticas de manejo da água, em agricultura, visam a manutenção do nível de água em condições ideais para o desenvolvimento das culturas. Apesar de ser um reservatório aberto para a atmosfera e para os horizontes mais profundos do perfil, retém umidade pela interação com a matriz do solo.

A capacidade de retenção de água pelo solo esta diretamente relacionada à sua matriz e a distribuição espacial dos poros. Esta interação também sofre influencia de fatores como: taxa de evaporação e transpiração local, tipo de cultura estabelecida, densidade de plantio, profundidade de raízes, natureza do perfil do solo em profundidade e impedimentos a drenagem. A influência da textura do solo é muito grande na retenção da água (ALVES & SUZUKI, 2004).

Solos pertencentes à mesma classe textural podem ter curvas de retenção da água no solo diferentes, não somente devido às diferenças de granulometria nas mesmas classes de textura, mas também, como resultados de diferenças de teor em matéria orgânica, tipo de argila e diferenças de microestrutura a elas relacionadas. Os solos de textura fina retêm maior percentagem de água ao longo de toda a faixa de energia. Tal condição é prevista pelo fato de possuírem maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e superfície adsortiva muito maior que os solos de textura mais grossa (CARVALHO et al. 1999).

Segundo ALVES SOBRINHO et al. (2003) a textura do solo pode afetar o salpico de partículas provocado pelo impacto das gotas de chuva, contribuindo para uma redução da porosidade da camada superficial do mesmo. Além do impacto da gota, a dispersão físico-química das argilas do solo pode proporcionar a formação do selamento superficial e, conseqüentemente, a redução da taxa de infiltração.

De forma geral, as alterações que ocorrem na estrutura do solo evidenciam modificações nos valores de densidade do solo, afetam sua resistência à penetração, porosidade total, distribuição do diâmetro dos poros e na porosidade de aeração, armazenagem e disponibilidade de água as plantas, dinâmica da água na superfície e no seu perfil, na consistência e na máxima compactabilidade do solo. A resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do solo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores de potencial que variam entre 1,5 MPa a 3,0 MPa (SOUZA & ALVES, 2003).

Para PEREIRA & BENEZ, (1998), o conhecimento da compactação do solo e de sua relação com os tipos de operações agrícolas são elementos importantes no manejo adequado das condições físicas do mesmo, para otimização dos sistemas de produção agrícola. IMHOFF et al. (2000) acrescentam que solo muito úmido está mais sujeito a maior degradação física e comentam que independentemente da distribuição espacial e do perfil, a compactação sempre cria um ambiente desfavorável para o crescimento das plantas.

3.5.1.2 Capacidade de campo e ponto de murcha permanente

Os valores da capacidade de campo e ponto de murcha permanente de um solo são importantes para determinar a capacidade de água disponível para as culturas.

O termo capacidade de campo refere-se a quantidade de água retida pelo solo quando a condutividade hidráulica não saturada se torna tão pequena que o fluxo de água pode ser considerado como sendo igual a zero. Para fins de irrigação, a capacidade de campo é considerada igual ao conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do potencial de água, e pode ser obtida a partir da curva característica de água no solo a uma tensão de entre 10 kPa e 30 kPa (MELLO et al., 2002).

O ponto de murcha permanente é definido como sendo o conteúdo de água no solo retido a um componente matricial do potencial de água tão elevado, em valor absoluto, que a maioria das plantas não consegue extrair água do solo e entra em murcha permanente. Para fins de irrigação, o ponto de murcha permanente é o conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do potencial de água no solo, e pode ser obtido a partir da curva característica de água no solo a uma tensão de 1.500 kPa (MELLO et al., 2002).

3.5.1.3 Infiltração de água no solo

Segundo SALES et al. (1999), capacidade de infiltração é a propriedade do solo que representa, a cada condição de tempo, a intensidade máxima de água que o solo pode absorver da chuva ou da irrigação aplicada à determinada taxa. Esse processo não é constante ao longo do tempo. Por ocasião de uma chuva ou de uma irrigação, a velocidade de infiltração é máxima no início do evento e decresce rapidamente, de acordo com as condições do solo. Sob chuva ou irrigação contínua, a velocidade de infiltração se aproxima gradualmente de um valor mínimo e constante. O valor constante que a velocidade de infiltração atinge com o passar do tempo é denominado velocidade de infiltração básica.

SALES et al. (1999) descrevem que existem alguns fatores do solo que interferem na magnitude da velocidade de infiltração básica. Esses fatores estão associados às propriedades físicas do solo, da própria água e do manejo adotado. Textura, estrutura, tamanho e disposição do espaço poroso, manejo do solo, mineralogia e umidade inicial, para solos com argilas expansivas, além da metodologia utilizada, são alguns dos fatores apontados como responsáveis pelas variações nos valores da velocidade de infiltração básica dos solos. REZENDE & SCALOPPI (1985) comentam que a infiltração é um fenômeno complexo, depende de inúmeras variáveis relacionadas às características físicas e morfológicas do solo, apresentando uma dependência espacial do teor de água no perfil e à condição da superfície. Esta por sua vez, é afetada pela geometria da seção de escoamento e pelo fluxo superficial, que determina a condição física e a grandeza da área de infiltração.

O conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo é fundamental para a solução de problemas relativos às áreas de irrigação, drenagem, conservação da água e do solo e controle do deflúvio superficial, sendo de grande importância para o manejo do solo, água e do entendimento do processo de infiltração e de suas relações com as propriedades do solo (PRUSKI et al., 1997).

3.5.2 Principais variáveis climáticas para realização do balanço hídrico irrigacionista

OMETTO (1981) comenta que dentre as formas de entrada e saída de água em um volume de solo, os componentes climáticas mais importantes são aqueles que afetam a quantidade de água que será ou poderá ser aproveitada pela planta. O autor acrescenta que a precipitação e a evapotranspiração geralmente são as variáveis climáticas com maior importância

3.5.2.1 Evapotranspiração

A evapotranspiração é o processo simultâneo da transpiração vegetal e da evaporação da superfície do solo e plantas. A transpiração vegetal ocorre através dos estômatos e da cutícula das plantas, utilizando a água absorvida pelo sistema radicular ao longo do perfil de solo. A evaporação corresponde à perda da água depositada na superfície vegetal e contida no solo (TUBELIS & NASCIMENTO, 1986).

Dentre os diversos métodos de determinação da evapotranspiração, um dos mais precisos é o lisímetro de pesagem, todavia, essa tecnologia restringe-se a instituições de pesquisa, devido à sua pouca aplicabilidade econômica em áreas agrícolas. Desta forma, a estimativa a partir de modelos matemáticos tem recebido bastante atenção pelo meio agrícola, em virtude da praticidade e da facilidade oferecidas por alguns modelos. No

entanto, existe necessidade de ajustar esses modelos para as diversas regiões produtoras, já que em suas formas originais podem levar à estimativas incompatíveis com as condições climáticas locais (ROCHA et al., 2003).

SOUZA (2001), após uma revisão sobre o tema evapotranspiração, comenta que é interessante observar o número de vezes em que os métodos de Thornthwaite, Tanque Classe A, Penman e Penman-Monteith são utilizados em alguns experimentos. Segundo o autor, os métodos de Thornthwaite e classe A são utilizados com frequência devido à simplicidade e rapidez nos cálculos, no entanto, a precisão e exatidão das suas estimativas dependem muito do local e da época do ano em que foram realizados os trabalhos. Os métodos de Penman e Penman-Monteith são utilizados por serem mais consistentes e terem condições de estimar melhor a evapotranspiração de referência (*ET_o*) na escala diária. No entanto, o grande número de informações climáticas necessárias mostra-se como o grande problema para o emprego generalizado dos mesmos, já que em algumas regiões brasileiras não é possível encontrar nem dados de temperatura.

O manejo das irrigações deve atender às necessidades das culturas, de modo a permitir a manifestação de seu potencial produtivo. Assim, para um planejamento racional, dimensionamento e manejo da irrigação, é fundamental o conhecimento da evapotranspiração da cultura durante os estádios de seu desenvolvimento.

3.5.2.2 Precipitação

A precipitação é um importante componente do ciclo hidrológico e origina-se a partir da condensação do vapor d'água que cai sobre o solo de forma dispersa. A maior parte da precipitação fica temporariamente retida no solo, retornando à atmosfera por meio da evaporação e da transpiração vegetal, o restante escoar sobre a superfície do solo até os rios ou penetra nas camadas mais profundas do solo, até o lençol de água subterrânea. Sua ocorrência é influenciada por outros fatores climáticos ou meteorológicos, como por exemplo: posição da região em relação à circulação geral da atmosfera, ocorrência de umidade, distribuição da temperatura e vento na atmosfera (VILLELA & MATTOS, 1975).

3.5.2.3 Considerações sobre precipitação e evapotranspiração provável

O conhecimento da probabilidade da chuva e evapotranspiração ao longo do ano são importantes na elaboração de projetos agrícolas e manejo da irrigação, conforme pode ser verificado em trabalhos realizados por CASTRO NETO & SILVEIRA (1983), SAAD (1990), BASTOS et al. (1994), ANDRADE JUNIOR & BASTOS (1997), CUNHA et al. (1997), OLIVEIRA et al. (1997) e RIBEIRO & LUNARDI (1997). Para tanto, é necessária a obtenção

de uma série temporal de dados de precipitação e evapotranspiração, a fim de efetuar uma análise estatística dos mesmos, o que permite averiguar as freqüências que determinado evento venha a ocorrer (CASTRO NETO & SILVEIRA, 1983; SEDIYAMA et al., 1996). Segundo ASSIS et al. (1996), a análise estatística de dados climatológicos deve ser realizada em séries compreendendo um período mínimo de 25 anos.

Para BASTOS et al. (1994), o conhecimento de diferentes níveis de probabilidade de um evento meteorológico como a evapotranspiração de referência de um determinado local, por exemplo, possibilita ao projetista quantificar a vazão necessária para irrigar uma determinada área, escolhendo para tal valores representativos e confiáveis de ET_o , de acordo com o retorno econômico e social preconizado para o projeto em questão.

A distribuição Gama é a distribuição que melhor se ajusta às freqüências observadas dos totais de precipitação para períodos mensais ou menores (quinzenas, decêndios, pântadas) (ASSIS et al., 1996). A comprovação do uso da distribuição gama no ajuste de freqüências traduz-se nos diversos trabalhos encontrados na literatura. No entanto, PACHECHENIK et al. (2004) e PACHECHENIK (2004) comentam que embora a distribuição Gama seja de uso consagrado na determinação da precipitação provável para períodos inferiores a um mês, outras distribuições de probabilidade devem ser consideradas para estimar a precipitação provável de uma região contendo pequena série de informações disponível, pois a Gama não apresenta o melhor ajuste em todos os decêndios analisados. Segundo os autores, a distribuição Gama apresentou o melhor ajuste em 20 decêndios, confirmando as considerações feitas por autores como ASSIS et al (1996), SEDIYAMA et al (1996), ANDRADE JUNIOR & BASTOS (1997), CUNHA et al. (1997), RIBEIRO & LUNARDI (1997). Entretanto, alguns decêndios apresentaram melhor ajuste para outras três distribuições de probabilidade analisadas.

Os comentários realizados no parágrafo anterior servem também para a evapotranspiração, uma vez que autores como SAAD (1990), BASTOS et al. (1994), obtiveram bons resultados de ajustamento da ET_o a partir de diferentes distribuições de probabilidade.

Quanto a estimativa dos valores prováveis a partir da distribuição que melhor se ajustou a série de dados estudada, SAAD (1990) comenta que em condições de irrigação tipicamente suplementar dificilmente a economia dos projetos de irrigação justifica a escolha de níveis de probabilidade superior a 90%. Na prática, os valores usuais adotados variam entre 50% e 75%, dependendo das implicações econômicas associadas ao projeto em consideração.

3.5.2.4 Balanço hídrico climatológico irrigacionista

Uma forma muito utilizada para se determinar quanto irrigar, consiste em estimar a necessidade de água a partir do balanço hídrico dos solos. O balanço de água no solo é um método de estimativa da disponibilidade hídrica no solo para as plantas pela contabilização das entradas e saídas de água no sistema solo-água-planta. Ele está fundamentado no princípio da conservação de massa, em que a transferência da massa de água, em determinado volume de controle, com capacidade finita de armazenamento e em determinado intervalo de tempo, pode ser determinada pelas variáveis nos fluxos de água no solo. A principal variável de entrada é a precipitação e o mais importante componente de saída, para fins de manejo de irrigação, é a evapotranspiração (SANTANA et al., 2003).

Um dos processos de balanço hídrico climatológico mais citados e utilizados na literatura é o descrito por THORNTHWAITE & MATHER (1955). O método consiste em um quadro com colunas, onde são dispostos valores de precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_o), que podem variar da escala diária até mensal. A partir destas duas colunas e com o valor da capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao tipo de planta cultivada e solo, o balanço hídrico climatológico fornece estimativas da evapotranspiração real (ER), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e armazenamento de água no solo (ARM) (OMETTO, 1981, PEREIRA et al., 1997). O balanço hídrico climatológico de THORNTHWAITE & MATHER (1955) dá indicação do valor das deficiências e excedentes hídricos de uma dada região, em milímetros, e tem se mostrado eficiente para programar e definir as irrigações necessárias a diferentes culturas.

SOUZA (2001) visando o planejamento de projetos de irrigação para a cultura do cafeeiro, desenvolveu um modelo denominado "Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro – MORETTI," que possui um módulo denominado "Balanço hídrico climatológico decendial". A realização deste módulo baseou-se no processo de cálculo recomendado por THORNTHWAITE & MATHER (1955), porém empregou algumas adaptações como: o balanço hídrico considera um período de dez dias (decêndios), pode ser simulado ou não, as irrigações são consideradas e as equações de armazenamento da água no solo são ajustadas à fração de água disponível no solo (ρ). Segundo o autor o modelo e o módulo Balanço Hídrico desenvolvido, mostraram-se eficientes para realizar os cálculos voltados ao planejamento da agricultura irrigada. A estrutura modular proposta, possibilitou o acompanhamento de grande parte do processo de cálculo das análises de simulação, e as opções disponíveis, bem como os mecanismos de ajuste existentes, permitiram a escolha das melhores alternativas e a composição de cenários para serem analisados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PRINCIPAIS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido seguindo as seguintes etapas:

- **Primeira etapa:** Levantamento de informações que possibilitassem identificar e classificar as principais estações de tratamento de esgoto de Curitiba e Região Metropolitana junto a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR);
- **Segunda etapa:** realização de um mapeamento, envolvendo o georeferenciamento das ETEs e identificação do tipo de solo e declividade das áreas agricultáveis ao redor das mesmas;
- **Terceira etapa:** constituição e aplicação de questionários visando identificar algumas características das estações de tratamento de esgoto (ETEs) e dos consumidores de hortaliças e frutas da Região Metropolitana de Curitiba, e de um levantamento bibliográfico visando identificar as principais culturas cultivadas nesta região;
- **Quarta etapa:** levantamento e organização de dados climáticos de Curitiba e Região Metropolitana, e estimativa de alguns parâmetros climáticos para auxiliar no dimensionamento de projetos de irrigação;
- **Quinta etapa:** levantamento e caracterização dos parâmetros físico-hídricos do solo e aspectos irrigacionistas em algumas localidades na região de duas ETEs;
- **Sexta etapa:** realização de um balanço hídrico climatológico irrigacionista e discussão das possibilidades de implantação de projetos irrigacionistas em torno das ETEs.

4.2 INFORMAÇÕES SOBRE AS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETEs)

O levantamento de informações das Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) de Curitiba e Região Metropolitana, junto a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), foi realizado para possibilitar a caracterização das principais Estações de

Tratamento que apresentam potencial para a utilização do efluente para a irrigação de culturas agrícolas. Os principais dados levantados foram:

- Nome das estações e ano de inauguração;
- Locais onde se encontram instaladas (cidade, bairro, etc.);
- Dados de projeto das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE);
- Sistema de tratamento de esgoto utilizado;
- Dados referentes à vazão de esgoto tratado por dia; e parâmetros de qualidade e quantidade dos efluentes tratados (Tabela 5.1).

4.3 GEOREFERENCIAMENTO DAS ETES E IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE SOLO

A identificação dos tipos de solos existentes no entorno das principais ETES de Curitiba e Região Metropolitana foi realizada com o auxílio de um mapa de solos digitalizado, na escala 1:600.000, disponibilizado pela EMATER-PR.

Com o auxílio do programa *ArcView* foram inseridas no mapa de Curitiba e Região Metropolitana as coordenadas geográficas UTM (*Universal Transverse Mercator*) das Estações de Tratamento de Efluentes selecionadas, visando identificar qual a classe do solo onde as mesmas estão localizadas. As referidas coordenadas foram obtidas junto a SANEPAR e, ou, na própria Estação de Tratamento de Efluentes por meio de um Sistema de Posicionamento Geográfico (GPS).

Após alocação das ETES da Região Metropolitana de Curitiba, com o auxílio do mesmo mapa disponibilizado pela EMATER, foi gerado um mapa de declividade do solo seguindo as recomendações de RAMALHO FILHO & BEEK (1995), procurando-se identificar as limitações do relevo para os métodos de irrigação (superfície, aspersão, localizada).

A alocação das ETES situadas dentro do perímetro urbano da cidade de Curitiba foi realizada com o programa *ArcView*, utilizando-se um mapa da cidade fornecido pelo SIMEPAR, contendo a divisão das principais bacias hidrográficas. O mapa disponibilizado pela EMATER-PR não foi utilizado para esta atividade por não estar dividido em municípios.

4.4 CONSTITUIÇÃO E APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ETEs E CONSUMIDORES DE FRUTAS E VERDURAS

A elaboração dos questionários baseou-se em uma publicação do IPARDES (2000). As perguntas dos questionários foram elaboradas abordando temas relevantes ao planejamento do uso de águas residuárias. Os questionários foram constituídos de questões fechadas e abertas, direcionadas ao levantamento de informações das estações de tratamento de esgotos (ETEs) e consumidores de hortaliças e frutas da região de Curitiba. Os questionários foram aplicados por meio de visitas as dependências das ETEs e em feiras livres da cidade de Curitiba.

O questionário aplicado nas Estações de Tratamento de Efluentes (Anexos 1) visou a obtenção de informações sobre a sua operação. Curitiba e Região Metropolitana possuem aproximadamente 35 ETEs, no entanto, devido a importância, porte e potencialidade para fins agrícolas, a SANEPAR sugeriu que seria mais conveniente a visitação e o levantamento de dados referentes às seguintes estações: Atuba Sul, Padilha Sul, Belém, Santa Quitéria, CIC Xisto, Cachoeira, Menino Deus, Cambuí, Colombo Sede e Lapa.

O questionário visando caracterizar os consumidores de hortaliças e frutas da região de Curitiba (Anexos 2) foram aplicados em 13 feiras livres da cidade de Curitiba, localizadas nos bairros denominados: Cabral, Alto da Glória, Bom Retiro, Vila Hauer, Bigorriho, Ahú, Água Verde, Bacacheri, Rebouças, São Francisco, Batel, Jardim das Américas, Prado Velho. Os questionários foram aplicados a um total de 310 consumidores de frutas e hortaliças, para obter informações quanto à aceitação e consumo de produtos provindos de culturas irrigadas com águas residuárias. Os dados obtidos permitiram a montagem de tabelas de contingência e a aplicação nas mesmas do teste Binomial a 5% de probabilidade.

A identificação das culturas com boa aceitação pelos agricultores e ao mesmo tempo mostrem-se promissoras economicamente e com possibilidade de plantio em conciliação com um sistema de irrigação, foi realizada através de consultas a publicações da SEAB e do Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba (PDI), realizado pela COMEC.

4.5 LEVANTAMENTO E AGRUPAMENTO DOS PRINCIPAIS DADOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO E ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO PROVÁVEL

O levantamento de dados climáticos diários consistiu na obtenção de séries de medidas como precipitação e temperatura média do ar de Curitiba e Região Metropolitana. Os dados foram obtidos junto ao Instituto Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Estas

informações são importantes para auxiliar no planejamento, dimensionamento e manejo da agricultura irrigada realizada por qualquer tipo de sistema de irrigação. As séries de dados para as localidades de Pinhais (janeiro de 1970 até março de 2004 – série contendo 33 anos e 3 meses) e Lapa (janeiro de 1989 até junho de 2004 – série contendo 14 anos e 6 meses) foram escolhidas devido ao tamanho (número de anos coletados) e por estarem próximas das principais ETES. A estação climatológica de Curitiba foi descartada por possuir uma série pouco representativa, ou seja, apenas 7 anos de dados coletados.

As séries de dados meteorológicos diários (precipitação, temperatura média do ar) das localidades de Pinhais e Lapa foram tabuladas e agrupadas em períodos decendiais, com o auxílio de uma planilha eletrônica. Nos casos em que houve a falta de elementos nas seqüências utilizadas, descartou-se o período e o seu respectivo decêndio.

4.5.1 Estimativa da evapotranspiração de referência (*ET_o*)

A estimativa da evapotranspiração de referência foi realizada empregando-se o método de THORNTHWAITE (1948). Para a realização das estimativas seguiu-se as recomendações de PEREIRA et al. (1997), que apresenta as seguintes equações para a realização dos cálculos,

$$ET_o = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_i}{I} \right)^a, \text{ sendo } T_i > 0^\circ C \quad (01)$$

$$a = 6,7510 \cdot I^3 - 7,7110 \cdot I^2 + 1,791210 \cdot I + 0,49239 \quad (02)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2 \cdot T_m)^{1,514}, \text{ sendo } T_m > 0^\circ C \quad (03)$$

sendo, *ET_o* a evapotranspiração de referência (mm · mês⁻¹); *T_i* a temperatura média do ar (°C) – foi utilizada a temperatura decendial ao invés da mensal, conforme SOUZA (1992); *I* o índice de calor da região calculado com valores normais de temperatura (adimensional); *T_m* a temperatura média normal da região (°C); *a* é a função cúbica do índice de calor (*I*) da região (adimensional);

4.5.1.1 Agrupamento decendial da evapotranspiração

Como a Equação 1 calcula a evapotranspiração potencial para uma condição padrão de 12 horas de brilho solar e mês com 30 dias, a estimativa da evapotranspiração de referência decendial para um mês de *ND* dias e fotoperíodo mensal *N*, foi ajustada através da seguinte equação,

$$ETo_d = \frac{ETo \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{ND}{30}}{ND} \cdot NDD \quad (04)$$

sendo, ETo_d a evapotranspiração de referência do decêndio ($\text{mm}\cdot\text{mês}^{-1}$); ETo a evapotranspiração de referência mensal para um mês de 30 dias e 12 horas de brilho solar ($\text{mm}\cdot\text{mês}^{-1}$); N o número de horas de brilho solar para o local (h); ND é o número de dias do mês considerado (dias); NDD é o número de dias do decêndio considerado. O número de horas de brilho solar (fotoperíodo) para Pinhais e Lapa foi determinado considerando uma latitude de 26° , utilizando-se dados apresentados por PEREIRA et al. (1997).

Foram estimados valores de evapotranspiração de referência decendial, conforme as Equações 1 a 4, para toda a série de 33 anos e 3 meses de Pinhais e 14 anos e 6 meses da Lapa.

4.5.2 Estimativa da precipitação e evapotranspiração provável

4.5.2.1 Distribuição de freqüência e teste de aderência

As análises de distribuição de freqüência e teste de aderência (Kolmogorov-Smirnov) dos dados de precipitação e evapotranspiração agrupados em decêndios, foram realizadas em um módulo denominado "Análise Estatística" do modelo *MORETTI* (SOUZA, 2001). Este módulo foi adaptado e melhorado especialmente para realizar as análises estatísticas, empregando cinco distribuições de probabilidade (normal, triangular, uniforme, exponencial e gama). O modelo *MORETTI* foi desenvolvido na linguagem de programação *Visual Basic* (Macros) aplicado à planilha eletrônica *Excel 97* (Microsoft). O módulo "Análise Estatística", utilizado para calcular as medidas de tendência e dispersão, distribuições de freqüência/probabilidade e teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, foi desenvolvido levando-se em consideração os procedimentos recomendados por AQUINO (1981), ASSIS et al. (1996) e FRIZZONE (1999).

O número de intervalo de classes para calcular a distribuição de freqüência que melhor se ajusta aos valores decendias de precipitação e evapotranspiração, no *MORETTI*, foi determinado de acordo com ASSIS et al. (1996), utilizando a expressão,

$$NC = 5 \cdot [\log_{10}(N)] \quad (05)$$

sendo, NC o número de classes da distribuição de freqüência (adimensional); N o número de observações, ou seja, número de decêndios analisados (adimensional).

As análises realizadas no módulo "Análise Estatística" do *MORETTI*, basicamente, verificam se os dados de uma amostra ajustam-se ou não as distribuições normal, gama,

triangular, esponencial e uniforme. O modelo utiliza o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade para estabelecer se existe ajuste entre os dados com distribuição de probabilidade desconhecida e as cinco distribuições de probabilidade mencionadas.

O Teste de Kolmogorov-Smirnov consiste em se defrontar duas distribuições de freqüência acumuladas, uma $F'(X)$, teórica, e outra $F(X)$, derivada dos dados amostrados, tal que,

$$D_{\max} = \text{Max} |F'(X) - F(X)| \quad (06)$$

sendo, D_{\max} o valor crítico D_{\max} da estatística de Kolmogorov-Smirnov; $F'(X)$ a função de distribuição de probabilidade teórica; e $F(X)$ a função de distribuição de probabilidade empírica.

Se a condição $D_{\max \text{ tabelado}} > D_{\max \text{ calculado}}$ for verdadeira, então aceita-se a hipótese de que os valores da amostra ajustam-se bem à distribuição de probabilidade a 5% de significância. Caso contrário a hipótese é rejeitada.

Para a obtenção do $D_{\max \text{ tabelado}}$ o módulo “Análise Estatística” baseia-se em uma análise de regressão com os valores tabelados apresentados por Assis et al. (1996) a 5% de probabilidade, onde:

– se o número de elementos da amostra for menor que 16, tem-se a equação,

$$D_{\max} = 0,971 - 0,2388 \cdot \ln(N) \quad (07)$$

– se o número de elementos da amostra for ≥ 16 , tem-se,

$$D_{\max} = \frac{1,37}{\sqrt{N}} \quad (08)$$

sendo, D_{\max} o valor crítico D_{\max} da estatística de Kolmogorov-Smirnov; e N o número de elementos da amostra.

As análises de teste de aderência foram realizadas a 5% de significância, verificando o ajustamento dos dados observados com as distribuições de probabilidade Normal, Triangular, Uniforme, Exponencial e Gama. Tanto para a precipitação como ETo , as análises de teste de aderência foram realizadas para cada um dos 37 decêndios verificados ao longo do ano, considerando toda a série de N anos de dados existentes na mesma.

4.5.2.2 Cálculo da estimativa da precipitação e evapotranspiração

Após determinar os parâmetros da melhor distribuição de freqüência para estimar a precipitação e ETo provável, respectiva de cada decêndio, a partir das análises de distribuição de freqüência e teste de aderência no módulo “Análise Estatística” derivado do MORETTI, avaliou-se a ocorrência das precipitações e ETo a 75% de probabilidade em uma

planilha eletrônica, aproveitando os recursos estatísticos já existentes na mesma (distribuições de probabilidade).

Na estimativa da precipitação provável, como algumas das distribuições analisadas não admitem valores nulos, adotou-se o conceito de distribuição mista, conforme as recomendações de ASSIS et al. (1996). Assim, a função cumulativa de probabilidade foi determinada em duas partes,

$$F(X) = P_o + (1 - P_o) \cdot D(X) \quad (09)$$

sendo, $F(X)$ a função cumulativa de probabilidade da distribuição mista; P_o a probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros); $D(X)$ a distribuição cumulativa teórica, onde os parâmetros são estimados na ausência de zeros.

Os decêndios contendo valores de precipitação menores que 1 mm foram considerados na probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros).

A estimativa da ET_o provável resultou da função cumulativa de probabilidade,

$$F(X) = D(X) \quad (10)$$

sendo, $F(X)$ a função cumulativa de probabilidade da distribuição; $D(X)$ a distribuição cumulativa teórica.

4.6 ESTUDO DE CASO: CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO E REALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO IRRIGACIONISTA EM DUAS LOCALIDADES

A Tabela 4.1 apresenta as coordenadas geográficas dos locais de coleta das amostras de solo, nas propriedades agrícolas situadas em Campo Largo e Colombo. As amostras de solos serviram para caracterização dos parâmetros físico-hídricos do solo e realizar o balanço hídrico irrigacionista para a região.

Tabela 4.1 Coordenadas geográficas, em UTM, dos pontos de coleta das amostras de solos, nas propriedades agrícolas situadas em Campo Largo e Colombo

Local	Coordenadas em UTM	
	X	Y
Campo Largo – Propriedade I	0647452	7179791
Campo Largo – Propriedade II	0647753	7179648
Colombo – Propriedade I	0675138	7201478
Colombo – Propriedade II	0676497	7201555

4.6.1 Determinação da densidade aparente e granulometria do solo

As amostras de solo foram coletadas em propriedades agrícolas que se encontram próximas as Estações de Tratamento de Esgoto nos municípios de Campo Largo e Colombo. Para a análise granulométrica foram coletadas quatro amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 cm a 40 cm, respectivamente. Para a determinação da densidade aparente do solo, as coletas foram realizadas da mesma forma, porém, nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 cm a 10 cm.

A determinação da densidade aparente e granulometria do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola/SCA/UFPR, sendo desenvolvido da seguinte maneira:

(a) Passos para realização da análise granulométrica do solo:

- uma amostra do solo possuindo estrutura deformada foi colocada em uma estufa à temperatura de 60°C, por um período de 48 horas;
- depois de seco toda a amostra foi peneirada;
- logo após, pesou-se uma amostra 25 g do solo seco em estufa, que foi disposta em um Erlenmeyer, adicionada a 100 ml de água deionizada e 25 ml de NaOH 1 N;
- após permanecer em torno de 16 horas em um agitador, a solução do Erlenmeyer foi peneirada para separar a argila da areia,
- a fração argila obtida foi colocada em uma proveta de 1.000 ml contendo água deionizada, permaneceu em um agitador novamente por um minuto e depois foi disposta em repouso por um período de uma hora e trinta minutos;
- logo após, uma amostra de 250 ml foi retirada da proveta, do sobrenadante, para efetuar a leitura da argila com o auxílio de um densímetro de mercúrio;
- a fração areia do solo obtida foi secada em placas de *Petri*, dispostas em estufa a temperatura de 105°C, por um período de 24 horas. Após a secagem, o material foi pesado para determinar a areia total;
- para separar a fração areia grossa da fina, toda a areia passou por uma peneira possuindo malha 0,2 mm, que depois foi pesado;
- a fração silte da amostra foi obtida fazendo-se a diferença entre a fração areia e argila.

(b) Passos para a determinação da densidade aparente do solo (d_a):

- a determinação da densidade aparente do solo (d_a) iniciou com a coleta das amostras não deformadas do solo, com o auxílio de anéis volumétricos possuindo um volume interno de $100,983 \text{ cm}^3$;
- Logo após a coleta do material, no laboratório, as amostras retiradas no campo foram encaminhadas para serem secas em estufa, na temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C}$, por um período de 48 horas;
- obtido a secagem, o material foi pesado para obter o peso seco.

Com as informações obtidas nos passos anteriores, a densidade aparente foi determinada conforme a Equação 11,

$$d_a = \frac{m}{v} \quad (11)$$

sendo, d_a é a densidade aparente do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); m a massa de solo seco em estufa (g); v o volume natural do solo (cm^3).

4.6.2 Determinação da umidade do solo na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP)

A determinação dos teores de umidade do solo na condição de Capacidade de Campo (CC) e Ponto de Murcha Permanente (PMP) foram realizadas através do modelo VAN GENUCHTEN (1980)¹ (Equação 12) citado por REICHARDT (1996),

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot |\phi_m|)^n]^m} \quad (12)$$

sendo, θ a umidade do solo (cm^3/cm^3); $|\phi_m|$ o potencial mátrico da água no solo (cm); θ_r a umidade residual do solo (cm^3/cm^3); θ_s a umidade de saturação do solo (cm^3/cm^3); e α , m , n são parâmetros de ajuste.

Os parâmetros de ajuste α , m e n da curva de retenção de água no solo, a umidade de saturação (θ_s) e umidade residual (θ_r), foram determinados com o programa *SPLINTEX*, desenvolvido por PREVEDELLO (2002). Foram inseridos no programa dados de densidade aparente do solo, percentuais acumulados da textura do solo e a densidade de partícula do solo foi considerada igual a $2,65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Os potenciais mátricos de água no solo $|\phi_m|$ para a

¹ VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 44: 892-898, 1980.

determinação das umidades de CC e PMP foram de 100 cm e 15.000 cm de coluna de água, respectivamente.

A partir dos valores de CC e PMP foram determinados a Capacidade de Água Disponível no Solo (CAD) e Água Disponível no Solo (AD), utilizando-se as Equações 13 e 14, respectivamente.

$$CAD = 0,01 \cdot (CC - PMP) \cdot d_a \cdot z \quad (13)$$

$$AD = CAD \cdot p \quad (14)$$

sendo, CAD a capacidade de água disponível (mm); CC é a capacidade de campo (%), PMP o ponto de murcha permanente (%); d_a a densidade aparente do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); z a profundidade efetiva do sistema radicular (mm); AD a água disponível no solo (mm); e p o fator de disponibilidade, que varia entre 0,3 e 0,8, dependendo da cultura.

4.6.3 Determinação da infiltração da água no solo

A determinação da infiltração da água no solo é importante e tem grande influência na irrigação e na conservação do solo. Os testes de infiltração de água no solo foram realizados utilizando-se o método do “Infiltrômetro de Anel”. Este método consiste basicamente em dois anéis: o menor possuindo 25 cm de diâmetro e altura, e o maior com 50 cm de diâmetro e 15 cm de altura. Para realização dos testes seguiram-se as recomendações de BERNARDO (1989). Os locais estudados são os mesmos onde foram coletadas as amostras de solo (Tabela 4.1), nas propriedades agrícolas situadas em Campo Largo e Colombo.

Os dados dos testes de infiltração foram tabulados em uma planilha eletrônica e, seguindo as recomendações de BERNARDO (1989), procedeu-se um ajustamento dos mesmos a uma equação do tipo Potencial para obtenção da equação de infiltração acumulada (I),

$$I = a \cdot T^n \quad (15)$$

sendo, I a infiltração acumulada (mm); a uma constante dependente do solo (adimensional); T o tempo de infiltração (minutos); n uma constante dependente do solo (adimensional). Os valores de “ a ” e “ n ” resultam de uma análise de regressão linear, após os valores de infiltração e tempo obtidos no teste de infiltração do “Método do Infiltrômetro” sofrerem uma transformação logarítmica.

As equações de velocidade de infiltração instantânea (VI) e velocidade de infiltração média (VI_m) foram obtidas, substituindo os valores de “ a ” e “ n ” nas expressões,

$$VI = 60 \cdot a \cdot n \cdot T^{n-1} \quad (16)$$

$$VI_m = 60 \cdot a \cdot T^{n-1} \quad (17)$$

sendo, VI a velocidade de infiltração instantânea (mm/h); e VI_m a velocidade de infiltração média (mm/h).

4.6.4 Realização do balanço hídrico irrigacionista

O módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” do modelo *MORETTI* foi o programa utilizado para simular o balanço hídrico para as propriedades de Campo Largo e Colombo (Tabela 4.1), situadas na Região Metropolitana de Curitiba. O levantamento dos dados de entrada no modelo bem como a escolha das opções necessárias foram realizadas seguindo as recomendações de SOUZA (2001). Os itens dispostos abaixo especificam os principais dados e opções que foram utilizados para fazer as análises:

- (a) Local: os balanços hídricos foram realizados para propriedades localizadas em Campo Largo e Colombo;
- (b) Número de simulações: as análises do balanço hídrico foram realizadas empregando-se 10.000 simulações;
- (c) Valores de evapotranspiração:
 - Os valores decendiais de ET_o que servem de entrada no modelo foram estimados com o método de THORNTHWAITE (1948), obtidos com os dados de temperatura média do ar da cidade de Pinhais;
 - Optou-se por simular a ET_o de todos os decêndios com a distribuição de probabilidade normal. Assumir que a ET_o segue esta distribuição foi necessário porque o módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” não possibilita a escolha de diferentes distribuições de probabilidade para os decêndios ao longo do ano;
 - Para transformar a ET_o em Evapotranspiração da Cultura (ET_c) ao longo dos decêndios do ano, foram considerados como entrada no modelo três grupos de culturas, empregando-se valores de coeficiente de cultivo (K_c) iguais a 0,7 para as olerícolas, 0,8 para frutas e forrageiras e 0,9 para grãos e algodão;
- (d) Os valores de entrada da precipitação provável a 75%, respectiva para cada decêndio, foram obtidos com os dados climáticos de Pinhais, levando-se em consideração a distribuição de probabilidade (Gama, Normal, Exponencial, Triangular ou Uniforme) que melhor se ajustou a série decendial de precipitações;

(e) Armazenamento de água no solo:

- Os dados de entrada para fazer o cálculo da capacidade de água disponível do solo (*CAD*), ou seja, capacidade de campo (*CC*), ponto de murcha permanente (*PMP*) e densidade aparente do solo (d_a), são os valores médios obtidos nas análises feitas nas propriedades de Colombo I e II e Campo Largo I e II. Adotou-se uma profundidade efetiva do sistema radicular igual a 40 cm;
- Os valores de água disponível do solo (*AD*) foram obtidos no modelo com a entrada de valores de fração de água disponível (*p*) para três grupos de culturas, sendo iguais a 0,4 para olerícolas, 0,5 para frutas e forrageiras e 0,6 para grãos e algodão;
- Devido aos resultados obtidos por SOUZA (2001), optou-se por utilizar a função Linear/Exponencial de RIJTEMA & ABOUKHALED (1975) para estimar o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, calcular os valores de “negativa acumulada” no balanço hídrico;

- (f) O manejo decendial das irrigações foi realizado considerando, nas análises, a condição de realizar irrigação o ano todo e de não proceder irrigação. O manejo da irrigação no modelo *MORETTI* é feito com a utilização de 37 caixas de seleção, cada uma delas correspondendo a um decêndio. A seleção de uma caixa indica a permissão da irrigação no respectivo decêndio e a não seleção indica ausência da irrigação. É importante observar para as opções “irrigar” das caixas de seleção, que o modelo considera a condição de irrigação suplementar. Desta forma, as irrigações somente são realizadas quando o armazenamento, combinado com a fração da capacidade de água disponível no solo, acusar a necessidade.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 DADOS DE PROJETO DAS PRINCIPAIS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETEs) DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA (Etapa 1)

A Tabela 5.1 apresenta os dados de projeto das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Curitiba e Região Metropolitana, indicadas pela SANEPAR para visitação e levantamento de dados devido a importância, porte e potencialidade para fins agrícolas. As principais ETEs indicadas para visitação foram: Atuba Sul, Padilha Sul, Belém, Santa Quitéria, CIC Xisto, Cachoeira, Menino Deus, Cambuí, Colombo Sede e Lapa. A referida tabela traz as seguintes informa es de projeto para as dez ETEs indicadas: nome das esta es e ano de inaugura o; locais onde se encontram instaladas (cidade, bairro, etc.); dados de projeto das Esta es de Tratamento de Efluentes (ETE); sistema de tratamento de esgoto utilizado; dados referentes   vazão de esgoto tratado por dia; parâmetros de qualidade e quantidade dos efluentes tratados, entre outros.

Tabela 5.1. Dados de projeto das principais Esta es de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Curitiba e Região Metropolitana

ETEs	Dados de projeto
Atuba Sul	
Popula�o Atendida	568.194 habitantes
Vazão Média	1.450,00 L/s
Tempo de Deten�o	8 horas/reator
Volume do Reator	2.000 m ³ /reator
Remo�o da Matéria Orgânica	80%
Bacia	Atuba
Corpo Receptor	Rio Atuba
Inaugura�o	Junho de 1998
Bairro	Jardim Acrópole – Curitiba
Localiza�o	Rua Presidente Cordeiro, 1000
Atendimento	Parte de Pinhais, São José dos Pinhais, Curitiba e Piraquara
Tratamento	Tipo anaeróbio, composta de 16 reatores do tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado)
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 682391 e Y: 7181595 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	X: 682456 e Y: 7181469 (coordenadas UTM)

Tabela 5.1. Dados de projeto das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Curitiba e Região Metropolitana

ETEs	Dados de projeto
Belém	
População Atendida	500.000 habitantes
Vazão Média	870,00 L/s
Tempo de Detenção	28 horas/reator
Volume do Reator	84.000 m ³
Remoção da Matéria Orgânica	97%
Bacia	Belém
Corpo Receptor	Rio Iguaçu
Inauguração	Março 1979
Bairro	Boqueirão – Curitiba
Localização	Parque Iguaçu s/n
Atendimento	Parte de São José dos Pinhais e parte de Curitiba
Tratamento	Tipo Aeróbio, composta de dois tanques de Aeração do tipo Lodo Ativado
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 679641 e Y: 7176968 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	X: 679616 e Y: 7176529 (coordenadas UTM)
CIC Xisto	
População Atendida	332.994 habitantes
Vazão Média	600,00 L/s
Tempo de Detenção Média	6 horas/reator; 3,5 dias/lagoa
Volume do Reator	2.000 m ³ /reator
Remoção da Matéria Orgânica	85%
Bacia	Barigüi
Corpo Receptor	Rio Barigüi
Inauguração	Dezembro de 2003
Bairro	Tatuquara – Curitiba
Localização	Avenida Santa Rita Prolongamento, s/n
Atendimento	Parte sul de Curitiba
Tratamento	Tipo Anaeróbio, composta de 7 reatores do tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado), 01 lagoa anaeróbia e ultravioleta
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 666719 e Y: 7170229 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	—
Cachoeira	
População Atendida	37.245 habitantes
Vazão Média	86,00 L/s
Tempo de Detenção	8 horas/reator
Volume do Reator	2.500 m ³
Remoção da Matéria Orgânica	80%
Bacia	—
Corpo Receptor	Rio Iguaçu
Inauguração	Dezembro de 2002
Bairro	Cachoeira – Araucária
Localização	Rua Rio Grande do Sul, s/n
Atendimento	Parte de Araucária
Tratamento	Tipo Anaeróbio, composta de 2 reatores do tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado)
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 660993 e Y: 7167717 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	X: 660820 e Y: 7167532 (coordenadas UTM)

Tabela 5.1. Dados de projeto das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Curitiba e Região Metropolitana

ETEs	Dados de projeto
Cambuí	
População Atendida	21.325 habitantes
Vazão Média	100,00 L/s
Tempo de Detenção	8 horas/reator
Volume do Reator	—
Remoção da Matéria Orgânica	85%
Bacia	—
Corpo Receptor	Rio Cambuí
Inauguração	Dezembro de 1998
Cidade	Campo Largo
Localização	Rua João Stukas s/n
Atendimento	Parte de Campo Largo
Tratamento	Tipo Anaeróbio, composta de 2 reatores do tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado), sistema de flotação como pós-tratamento e desinfecção por dióxido de cloro
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 646748 e Y: 7180135 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	—
Padilha Sul	
População Atendida	318.194 habitantes
Vazão Média	400,00 L/s
Tempo de Detenção Média	6 horas/reator, 3,5 dias/lagoa
Volume do Reator	2.000 m ³ /reator
Remoção da Matéria Orgânica	85%
Bacia	Padilha
Corpo Receptor	Ribeirão dos Padilhas
Inauguração	Dezembro de 2002
Bairro	Sítio Cercado – Curitiba
Localização	Rua Pedrina A. Costa, s/n
Atendimento	Parte sul de Curitiba
Tratamento	Tipo Anaeróbio, composta de 6 reatores do tipo RALF (Reatores Anaeróbio de Lodo Fluidizado), e 2 lagoas de Polimento
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 676464 e Y: 7171805 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	X: 676930 e Y: 7171153 (coordenadas UTM)
Menino Deus	
População Atendida	23.616 habitantes
Vazão Média	60,00 L/s
Tempo de Detenção	8 horas/reator
Volume do Reator	—
Remoção da Matéria Orgânica	80%
Bacia	—
Corpo Receptor	—
Inauguração	—
Cidade	Quatro Barras
Localização	Rua Doze de Outubro s/n final da rua
Atendimento	Parte de Quatro Barras
Tratamento	Tipo Anaeróbio, composta de 1 reator do tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado), e 1 lagoa de polimento
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 691838 e Y: 7192568 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	—

Tabela 5.1. Dados de projeto das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Curitiba e Região Metropolitana

ETEs	Dados de projeto
Santa Quitéria	
População Atendida	214.118 habitantes
Vazão Média	420,00 L/s
Tempo de Detenção	8 horas/reator
Volume do Reator	2.000 m ³ /reator
Remoção da Matéria Orgânica	80%
Bacia	Barigüi
Corpo Receptor	Rio Barigüi
Inauguração	Agosto de 1998
Bairro	Santa Quitéria – Curitiba
Localização	Rua Travessa do Rosário, s/n
Atendimento	Parte Oeste de Curitiba
Tratamento	Tipo Anaeróbio, composta de 6 reatores do tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado)
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 668850 e Y: 7182766 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	X: 668988 e Y: 7182785 (coordenadas UTM)
Colombo Sede	
População Atendida	12.011 habitantes
Vazão Média	30,00 L/s
Tempo de Detenção	8 horas/reator
Volume do Reator	864 m ³ /reator
Remoção da Matéria Orgânica	80%
Bacia	–
Corpo Receptor	Córrego afluente do rio Atuba
Inauguração	—
Cidade	Colombo
Bairro	Boi Cininga
Localização	Av. Almirante Tamandaré, s/n
Atendimento	Parte de Colombo
Tratamento	Tipo Anaeróbio, composta de 1 reator do tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado) e 1 Filtro Biológico.
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 676802 e Y: 7201504
Saída de Esgoto	–
Lapa	
População Atendida	17.165 habitantes
Vazão Média	30,00 L/s
Tempo de Detenção	8 horas/reator
Volume do Reator	800 m ³
Remoção da Matéria Orgânica	85%
Bacia	–
Corpo Receptor	Rio Passo dos Neves e Rio Passo dos Ronda
Inauguração	Junho de 1995
Cidade	Lapa
Bairro	–
Localização	BR - Rodovia do Xisto - Próximo ao trevo
Atendimento	–
Tratamento	Tipo Anaeróbio, composta de 1 reator do tipo RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado)
Georreferenciamento:	
Entrada de Esgoto	X: 628164 e Y: 7151281 (coordenadas UTM)
Saída de Esgoto	–

O processo de tratamento de efluentes utilizados nas ETEs pesquisadas é o anaeróbio (exceto a ETE Belém que é aeróbico), realizado através de Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado (RALF). Basicamente, estes reatores são biodigestores, de fluxo ascendente, com separação física e recirculação de lodo dentro da própria unidade. O perfil de sólidos permite que ocorra elevada concentração na parte inferior do digestor (leito de lodo) e realize a digestão anaeróbia do líquido. Na parte superior do digestor existe um separador trifásico onde ocorre a separação das fases líquida, sólida e gasosa. As principais vantagens desses reatores são: (a) a baixa demanda energética, uma vez que dispensam os aeradores; (b) baixo tempo de detenção hidráulica (variando entre 4 e 12 horas); e (c) a baixa produção de lodo, quando comparado aos processos aeróbios. O processo de tratamento aeróbio utilizado pela SANEPAR na ETE Belém é do tipo “*Carroussel*”, que utiliza aeradores verticais que promovem uma turbulência, permitindo que os sólidos fiquem em suspensão e em contato direto com a matéria orgânica a ser degradada.

Algumas ETEs que utilizam o processo de tratamento anaeróbio, além dos *RALFs*, possuem lagoas de estabilização para melhorar o tratamento do esgoto. Este tipo de lagoa dispõe de um processo simples e natural para tratar esgoto doméstico e seu principal objetivo é remover matéria orgânica. A ETE CIC Xisto possui uma lagoa anaeróbia, a ETE Padilha Sul possui duas lagoas de polimento e a ETE Menino Deus possui uma lagoa facultativa para melhorar o tratamento do esgoto antes de serem lançados no corpo receptor. A ETE Colombo Sede está trabalhando por enquanto com uma unidade que faz o tratamento preliminar (grade e desarenador) e primário (RALF), possuindo um filtro biológico anaeróbico após o RALF para dar melhor eficiência ao tratamento.

PAGANINI (2003) comenta que as lagoas de estabilização são os sistemas de tratamento de efluentes mais eficientes para uso agrícola (irrigação), em termos de remoção de microrganismos patogênicos, nutrientes eutrofizantes, DBO e SS. HESPANHOL (2002) acrescenta que a remoção de ovos de helmintos não é atendida com os sistemas convencionais de tratamento, como lodo ativado e filtro biológico. Segundo este mesmo autor, as lagoas de estabilização além de garantir segurança no tratamento, atende as diretrizes da Organização Mundial da Saúde. Desta forma, mediante as considerações feitas pelos dois autores, verifica-se para as dez principais ETEs analisadas na Região Metropolitana de Curitiba, que somente as estações CIC Xisto, Menino Deus e Padilha Sul estariam fazendo “teoricamente” o melhor tratamento para fins agrícolas e irrigacionistas.

5.1.1 Qualidade da água residuária resultante das ETEs analisadas e a possibilidade de seu uso para irrigação de culturas agrícolas

As Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam alguns parâmetros referente à qualidade das águas residuárias resultante após a realização do tratamento nas ETEs.

Tabela 5.2. Dados operacionais médios das principais ETES da Região Metropolitana de Curitiba, no ano de 2003, obtido do Boletim Anual de Controle Operacional fornecido pela SANEPAR

ETE	DQO			DBO			Sólidos Suspensos			Sólidos Sedimentáveis			Alcalinidade		pH	
	Afluente	Efluente	Remoção	Afluente	Efluente	Remoção	Afluente	Efluente	Remoção	Afluente	Efluente	Remoção	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
	mg/L	mg/L	%	mg/L	Mg/L	%	mg/L	mg/L	%	mL/L.h	mL/L.h	%	mg/L CaCO ₃	mg/L CaCO ₃		
Atuba Sul	351,00	163,56	51,77	191,26	70,25	61,16	149,69	77,64	44,54	1,49	0,13	92,10	159,17	176,52	7,18	6,91
Belém	594,06	89,98	83,02	313,75	32,31	87,56	313,77	53,12	76,29	15,86	7,32	78,75	—	—	—	—
Cachoeira	603,87	166,23	70,97	356,43	63,17	80,78	220,65	56,26	72,39	2,79	0,32	81,57	237,83	222,33	7,03	6,57
CIC Xisto	565,29	113,20	78,18	310,57	49,94	82,47	278,40	22,52	90,51	2,11	0,03	98,23	182,37	232,25	7,22	7,31
Padilha Sul	637,55	218,05	65,80	355,73	110,34	68,61	237,08	44,85	80,62	2,69	0,02	98,91	199,72	258,14	7,11	7,05
Santa Quitéria	344,44	128,11	61,61	188,59	54,74	70,78	136,18	62,09	49,98	1,45	0,14	89,40	151,83	197,07	7,15	6,95
Colombo Sede	677,75	120,25	82,26	331,63	113,24	65,85	195,10	17,54	91,07	3,07	0,12	96,09	242,44	271,85	7,09	7,10
Menino Deus	619,88	103,00	83,38	268,43	27,28	89,84	153,08	36,50	76,16	2,69	0,16	94,11	148,88	1,61	6,82	7,24
Cambuí	820,00	107,13	86,94	—	66,67	—	224,96	60,54	73,09	3,62	0,33	90,88	179,34	203,37	5,24	4,97
Lapa	—	278,00	—	—	121,50	—	—	—	—	—	2,00	—	—	—	—	6,70

Fonte: SANEPAR

Tabela 5.3. Índice de Qualidade do Esgoto Tratado (I.Q.E.T), obtidos ao longo do ano de 2003 para as principais ETES de Curitiba e Região Metropolitana, fornecidos pela SANEPAR

ETEs	Janeiro	fevereiro	março	Abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	I.Q.E.T. médio anual
Atuba Sul	96,25	95,00	100,00	99,17	86,25	72,50	85,00	68,33	90,00	100,00	80,00	90,00	88,54
Belém	92,90	82,59	98,39	83,60	92,67	92,05	90,83	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,42
Cachoeira	100	98,75	100,00	96,67	83,33	100,00	92,50	87,50	65,00	80,00	85,00	85,00	89,00
CIC Xisto	—	97,50	100,00	96,67	96,43	95,00	97,14	83,33	90,00	95,71	90,00	97,50	94,48
Padilha Sul	—	—	83,33	71,00	76,43	75,00	64,09	52,50	60,83	70,00	80,00	70,00	70,32
Santa Quitéria	100	98,57	100,00	95,83	92,50	82,50	100,00	85,00	91,25	90,00	100,00	100,00	94,64
Colombo Sede	92,50	100,00	97,50	100,00	95,00	100,00	100,00	100,00	85,00	100,00	100,00	90,00	96,67
Menino Deus	90,00	95,00	92,50	62,50	92,50	92,50	77,50	77,50	62,50	92,50	70,00	97,50	83,54
Cambuí	90,00	100,00	90,00	87,50	75,00	95,00	82,50	67,50	70,00	95,00	86,67	100,00	86,60
Lapa	100,00	97,50	80,00	25,00	100,00	45,00	70,00	30,00	30,00	30,00	100,00	100,00	67,29

Fonte: SANEPAR

Os critérios de qualidade e limites máximos de impurezas para o uso agrícola, constante na Resolução nº 357 de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional para as várias aplicações (entre elas a irrigação), permite destacar que:

- as águas servidas que atingirem os níveis determinados pelo órgão regulamentador para atender a Classe 2, poderão ser aproveitadas para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e, com isso, chegar a recomendações para o uso planejado dos efluentes;
- As águas utilizadas para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas não podem exceder o limite de qualidade determinado pela legislação, como é o caso dos coliformes fecais e coliformes totais, na qual não poderão exceder a 1.000 coliformes por 100 mL e 5.000 coliformes por 100 mL, respectivamente, em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. CROOK (1985) e HESPANHOL (2002) comentam que as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendam para irrigação agrícola o máximo de um ovo de helminto viável (ovo vivo) por litro;

Em análises feitas pela SANEPAR, com o efluente da ETE Cambuí, nos meses de junho a setembro de 2004, observou-se que a taxa de coliformes fecais médios analisadas foi de 33.595 Número mais provável (NMP)/100mL e 449.000 Número mais provável (NMP)/100mL para coliformes totais. Contrastando-se estes resultados e os itens dispostos no parágrafo anterior é possível evidenciar que os valores de coliformes fecais e totais estão muito acima do limite máximo permitido na Resolução do CONAMA nº 357 (2005), e a qualidade da água verificada na ETE Cambuí não está adequada para fins de irrigação agrícola. É importante observar que no período de realização deste trabalho não foram encontradas informações disponíveis para quantificar o NPM para as outras ETEs além da ETE Cambuí.

Levando-se em consideração as informações dispostas na Tabela 5.2 e as recomendações feitas a seguir por HESPANHOL (2003) e BLUM (2003):

- (a) HESPANHOL (2003) comenta que as águas residuárias para fins agrícolas devem possuir um pH entre os limites 6,0 e 8,5 e acrescenta que valores de DBO até 100 mg/L não afetam a absorção de água pelas raízes das plantas. O autor recomenda, para melhor aceitação pelo usuário, que os valores de DBO devem ser de até 30 mg/L para irrigação de culturas consumidas cozidas e 10 mg/L para plantas

consumidas cruas. Os teores de sólidos em suspensão devem ser inferiores a 30 mg/L para plantas consumidas cozidas;

- (b) O valor limite de 30 mg/L dos sólidos em suspensão nas águas residuárias com finalidade irrigacionista também é recomendado por BLUM (2003), uma vez que os excessos de sólidos podem causar entupimento em alguns sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento e danos a sistemas de bombeamento. O autor recomenda também que os sólidos totais dissolvidos na água de irrigação para fins agrícolas não devem ultrapassar 500 mg/L, mas pode chegar em condições especiais até 2000 mg/L. Acima de 500 mg/L as irrigações devem ser realizadas acompanhadas de práticas cuidadosas de manejo, pois podem afetar plantas mais sensíveis.

Verifica-se, em média, as seguintes condições para as águas residuárias dos efluentes das ETEs no ano de 2003:

- Com exceção das ETEs Padilha Sul (110,34 mg/L), Colombo Sede (113,24 mg/L) e Lapa (121,50 mg/L), as demais ETEs apresentam valores de DBO que não evidenciam riscos quanto a absorção de água pelas raízes das plantas;
- Todas as ETEs analisadas não apresentam DBO em condição para serem utilizadas para irrigação de culturas consumidas cruas ou cozidas, com exceção da ETE Menino Deus (27,28 mg/L);
- Com exceção das ETEs CIC Xisto (22,52 mg/L) e Colombo Sede (17,54 mg/L), as demais ETEs também não apresentam teores de sólidos em suspensão em um nível adequado (abaixo de 30 mg/L);
- O pH foi o único parâmetro que se mostrou dentro dos limites recomendáveis para irrigação em todas as ETEs, com exceção da ETE Cambuí (4,97).
- Apesar de ter havido grande remoção de sólidos sedimentáveis em todas as ETEs analisadas, este parâmetro ainda apresenta-se fora dos limites recomendados pelo CONAMA nº 357 (2005), para as ETEs Belém (7,32 mL/L) e Lapa (2,00 mL/L) o qual deveria estar no limite de 1 mL/L.

As ETEs CIC Xisto, Menino Deus e Padilha Sul, apesar de realizarem tratamento dos efluentes em lagoas de estabilização, não apresentaram melhores resultados de DBO, DQO, sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis, que as demais ETEs analisadas na Região Metropolitana de Curitiba. Este fato contraria as considerações feitas por

HESPANHOL (2002) e PAGANINI (2003) referente às qualidades de água obtidas com esse tratamento em relação aos demais.

É importante observar que o CONAMA nº 357 (2005) permite que determinados parâmetros sejam definidos a critério do órgão ambiental competente, como é o caso do **lançamento de efluentes tratados** pelas ETEs. No Paraná, esses parâmetros são fixados pelo Instituto Ambiental do Paraná e estabelecidos na licença de operação. Exemplos de alguns parâmetros que são fixados: 60 mg/L para DBO, 150 mg/L para DQO, 50 mg/L para Sólidos Suspensos como limite máximo. Em função disso, os efluentes tratados nas ETEs podem apresentar concentração maior em relação ao permitido pelo CONAMA para irrigação de culturas agrícolas.

Como forma alternativa de monitorar e avaliar a qualidade dos efluentes das estações de tratamento de esgotos, a SANEPAR desenvolveu um índice, denominado “Índice de Qualidade de Esgoto Tratado (I.Q.E.T)”, que foi implementado em janeiro de 2000. Este índice procura indicar o desempenho operacional das ETEs através da seguinte classificação dos esgotos, em qualidade: (a) ótima (I.Q.E.T entre 91 e 100); (b) aceitável (I.Q.E.T entre 71 e 90); (c) inadequada (I.Q.E.T entre 41 a 70); e (d) precária (I.Q.E.T entre 0 e 40). No entanto, é importante observar que a SANEPAR não possui qualquer tipo de relação ente os valores de I.Q.E.T e a qualidade necessária para irrigação de culturas agrícolas.

A Tabela 5.3 apresenta os valores de I.Q.E.T obtidos ao longo do ano de 2003 nas ETEs analisadas. Mediante as informações apresentadas, pode-se verificar que:

- O Índice de Qualidade de Esgoto Tratado (I.Q.E.T) registrado na ETE Belém variou entre 82 e 100, tendo atingido o valor máximo nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. Desta forma, o efluente é considerado de ótima qualidade na maior parte do ano, atingindo qualidade aceitável em alguns meses do ano. Nos anos de 2001 e 2002 a qualidade atingida pelo tratamento também foi ótima.
- O I.Q.E.T. da ETE Atuba Sul variou entre 68 e 100, tendo atingido valor máximo nos meses de março e outubro. Desta forma o efluente final foi considerado de ótima qualidade em cinco meses do ano e qualidade aceitável no restante dos meses, com exceção do mês de agosto, onde a qualidade foi inadequada. Nos anos de 2001 e 2002 a qualidade atingida pelo tratamento também foi ótima.

- O I.Q.E.T. da ETE CIC Xisto variou entre 83 e 100, tendo atingido valor máximo no mês de março. O efluente final foi considerado de ótima qualidade na maior parte do ano, atingindo qualidade aceitável nos meses de agosto, setembro e novembro.
- O I.Q.E.T. da ETE Padilha Sul variou entre 52 e 83, sendo que nos meses de março, abril, maio, junho e novembro o efluente tratado atingiu uma qualidade aceitável. Nos demais meses do ano a qualidade foi inadequada.
- O I.Q.E.T. da ETE Santa Quitéria sempre ficou acima de 80, tendo atingido valor máximo nos meses de janeiro, março, julho, novembro e dezembro. Desta forma o efluente final foi considerado possuindo qualidade entre aceitável e ótima em grande parte do ano analisado, atingindo qualidade aceitável em alguns meses do ano.
- O I.Q.E.T. da ETE Cachoeira variou entre 65 e 100, tendo atingido valor máximo nos meses de janeiro, março e junho. Desta forma o efluente final foi considerado de ótima qualidade num período do ano e possuindo qualidade aceitável em outro, com exceção de mês de setembro, que obteve qualidade inadequada do efluente tratado. Nos anos de 2001 e 2002 o tratamento atingiu, também, qualidade ótima em grande parte do ano.
- O I.Q.E.T. da ETE Colombo Sede variou entre 85 e 100, tendo atingido valor máximo nos meses de fevereiro, abril, junho, julho, agosto, outubro e novembro. Desta forma o efluente final foi considerado de ótima qualidade ao longo de todo o ano, com exceção do mês de setembro e dezembro, onde a qualidade foi aceitável.
- O I.Q.E.T. da ETE Menino Deus variou entre 62 e 97. O efluente final foi considerado de ótima qualidade em seis meses do ano e qualidade aceitável nos meses de janeiro, julho, agosto e inadequada nos meses de abril, setembro e novembro.
- O I.Q.E.T. da ETE Cambuí variou entre 67 e 100, tendo atingido valor máximo nos meses de fevereiro e dezembro. Desta forma o efluente final foi considerado de ótima qualidade em quatro meses do ano e qualidade aceitável no restante dos meses, com exceção do mês de agosto e setembro, onde a qualidade foi inadequada.
- O I.Q.E.T. da ETE Lapa variou entre 25 e 100. O efluente final foi considerado de ótima qualidade nos meses de janeiro, fevereiro, maio, novembro e dezembro e, no restante do ano, a qualidade do tratamento foi inadequada, chegando à qualidade precária em alguns meses. No ano de 2002 a qualidade atingida no tratamento foi ótima nos meses de janeiro, junho, agosto, novembro e dezembro, atingindo qualidade aceitável no restante do ano, com exceção dos meses de março e julho que foram inadequadas.

Em função das informações apresentadas nos parágrafos anteriores, verifica-se que as ETEs analisadas possuem boa eficiência no tratamento dos efluentes, variando de qualidade aceitável a ótima ao longo de grande parte do ano. No entanto, apesar de haver grande remoção de resíduos e agentes patogênicos presentes nos efluentes, esta remoção ainda não contempla os limites recomendados por HESPANHOL (2003) e BLUM (2003) para uso na irrigação agrícola.

A Tabela 5.4 apresenta para a ETE Colombo Sede, os resultados alcançados com o tratamento dos efluentes, através de uma análise da água a montante e a jusante no corpo receptor da ETE, realizada pela SANEPAR. As amostras foram coletadas em duas datas diferentes, sendo a primeira denominada Amostra 1 e a segunda de Amostra 2.

Tabela 5.4 Análise da água a montante e a jusante do corpo receptor da ETE Colombo Sede

Parâmetros	Amostras analisadas			
	Amostra 1 (13/01/2003)		Amostra 2 (24/06/2003)	
	Montante	Jusante	Montante	Jusante
DBO	n.d.	24 mg/L	n.d.	4 mg/L
DQO	20 mg/L	28 mg/L	10 mg/L	19 mg/L
pH	7,4	6,9	7,2	7,1
Sólidos Suspensos	8 mg/L	18 mg/L	10 mg/L	14 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	n.d.	0,1 mL/L	0,1 mL/L	0,1 mL/L

Fonte: SANEPAR; n.d. – informações não disponíveis

Comparando-se a qualidade da água a montante e a jusante do corpo receptor do efluente da ETE Colombo Sede (Tabela 5.4) com os parâmetros indicados na Classe 2 do Resolução do CONAMA nº 357 (2005), observa-se que o parâmetro DBO encontra-se acima do limite máximo permitido para a Amostra 1 (jusante). A DBO₅ encontrada foi de 24 mg/L, porém o máximo permitido na legislação na Classe 2 é 5 mg/L para irrigação agrícola. Conforme a referida resolução, os sólidos sedimentáveis do efluente da ETE apresenta-se dentro do recomendado, possuindo valor inferior a 1,0 mL/L.

É importante observar que a legislação não estabelece padrões de lançamento para parâmetros como DBO, DQO, SS e coliformes fecais no corpo receptor, porém, determina que os lançamentos não podem alterar o enquadramento dos mesmos. Os parâmetros analisados a jusante do corpo receptor da ETE Colombo Sede estão dentro dos níveis de qualidade estabelecidos por HESPANHOL (2003) e BLUM (2003) para irrigação de plantas agrícolas consumidas cozidas.

5.2 MAPEAMENTO DAS ESTAÇÕES E IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLO E DECLIVIDADE EM TORNO DAS ETEs ANALISADAS (Etapa 2)

A Figura 5.1 e 5.2 apresentam, respectivamente, o mapa de solos e declividade de Curitiba e Região Metropolitana, contendo a localização das principais ETEs analisadas no presente trabalho.

5.2.1 Mapa de solos contendo a localização das ETEs em Curitiba e Região Metropolitana,

Com a localização das ETEs no mapa de solos de Curitiba e Região Metropolitana (Figura 5.1), pode-se observar e identificar a existência dos seguintes tipos de solos nos locais onde as mesmas encontram-se instaladas (EMBRAPA, 1999):

- As ETEs Atuba Sul, CIC Xisto e Cachoeira, estão localizadas em uma região onde a classe de solo denomina-se Gleissolo. Esta classificação corresponde a solos permanentemente ou periodicamente saturados por água, mal ou muito mal drenados em condições naturais, constituídos por material mineral e possuindo horizonte *glei* dentro dos primeiros 50 cm da superfície. Podem também apresentar horizonte *glei* entre 50 cm e 125 cm, desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou precedido por horizonte B incipiente, B textural ou horizonte C com presença de mosqueados abundantes com cores de redução;
- As ETEs Belém e Padilha Sul, estão localizadas em classes de solos denominadas de Organossolo. Estas classes correspondem a solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico proveniente de acumulações de restos vegetais em grau variável de decomposição, acumulados em ambientes mal a muito mal drenados, ou em ambientes úmidos de altitude elevada, que estão saturados com água por poucos dias no período chuvoso. Sua coloração pode ser preta, cinzenta muito escura ou marrom devido aos elevados teores de carbono orgânico;
- A ETE Lapa está localizada na classe de solo denominada Latossolo. Esta classe corresponde a solos com avançado estágio de intemperização, possuindo baixa capacidade de troca de cátions. São solos profundos, fortemente a bem drenados, embora haja solos com drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados, possuindo uma seqüência de horizontes A, B, C, com pouca diferenciação de horizontes. São constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresentar mais de 150 cm de espessura;

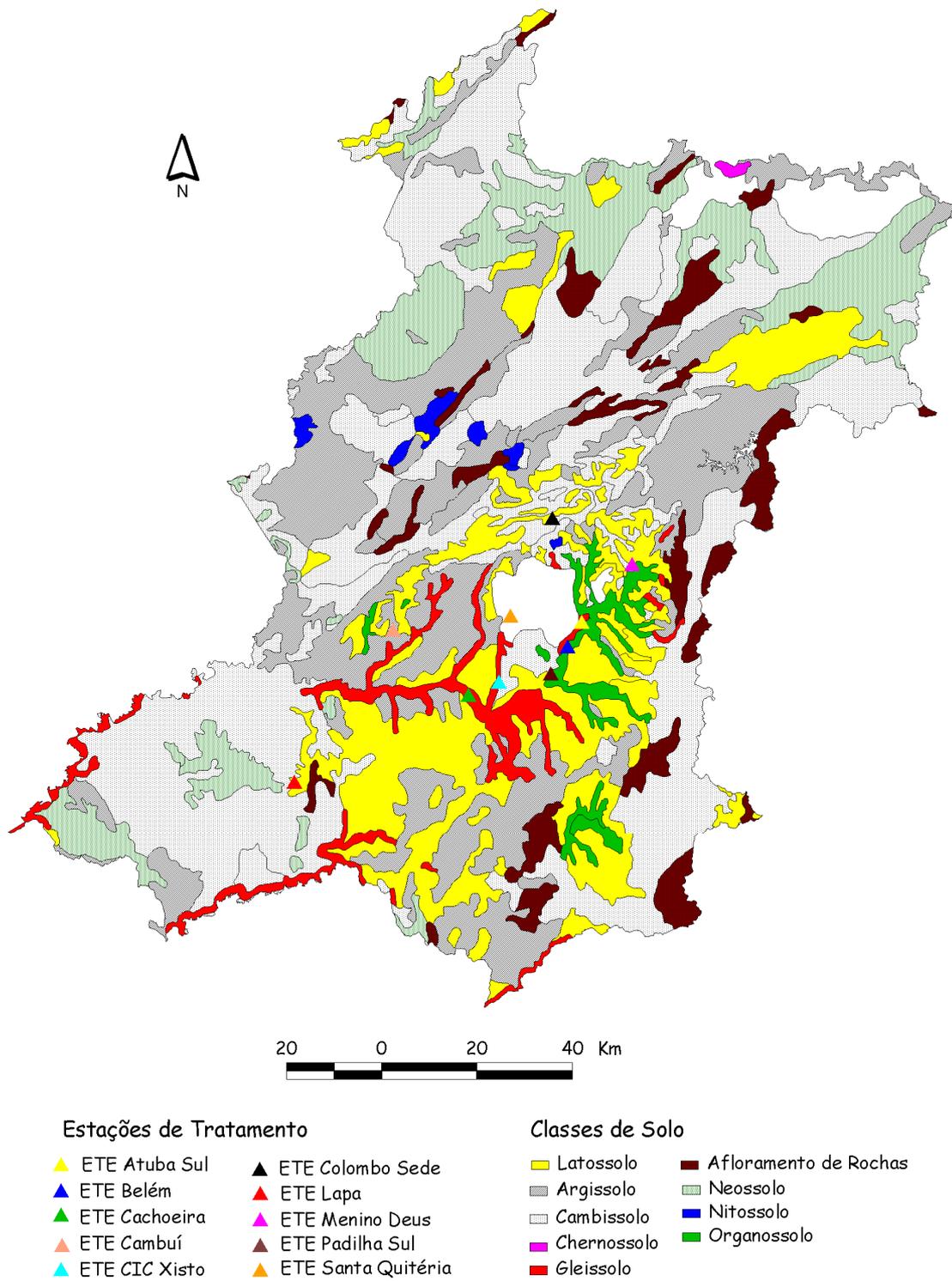


Figura 5.1 – Mapa de solos de Curitiba e Região Metropolitana, contendo a localização das principais ETEs

- A ETE Cambuí está localizada em solos denominados Argissolo, correspondendo a solos de profundidade variável, desde fortemente a imperfeitamente drenados. Podem possuir cores avermelhadas ou amareladas e, mais raramente, brunadas ou acizentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt. São fortemente a moderadamente ácidos com argila de atividade baixa no horizonte B textural;
- A ETE Colombo Sede está localizada em solos denominado de Cambissolo, correspondendo a solos fortemente a imperfeitamente drenados, constituídos por material mineral. Apresentam horizonte A ou hístico com espessura menor que 40 cm, seguido de horizonte B incipiente;
- A ETE Menino Deus está localizada nas classes de solos denominados de Cambissolo, mas ao seu redor tem-se outras classes de solos como o Latossolo e Organossolo;
- Não foi possível identificar o tipo de solo existente na ETE Santa Quitéria devido a inexistência da determinação do tipo de solo para a cidade de Curitiba, no “Mapa de Solo” disponibilizado pela EMATER-PR.

5.2.2 Mapa de declividade contendo a localização das ETES em Curitiba e Região Metropolitana,

Com a localização das ETES no mapa de declividade de Curitiba e Região Metropolitana (Figura 5.2), pode-se observar e identificar a existência das seguintes condições topográficas nos locais onde as mesmas encontram-se instaladas, de acordo com RAMALHO FILHO & BEEK (1995):

A maioria das ETES analisadas na Região Metropolitana de Curitiba localizam-se em áreas de topografia plana a suave ondulado:

- As ETES Belém, Atuba Sul, Menino Deus, Padilha Sul, CIC Xisto, Cachoeira e Santa Quitéria encontram-se localizadas em áreas possuindo declividade até 8%, abrangendo uma área de aproximadamente 299.421 ha. A ETE Padilha Sul encontra-se também próximo de uma área contendo declividade entre 8% e 20%.

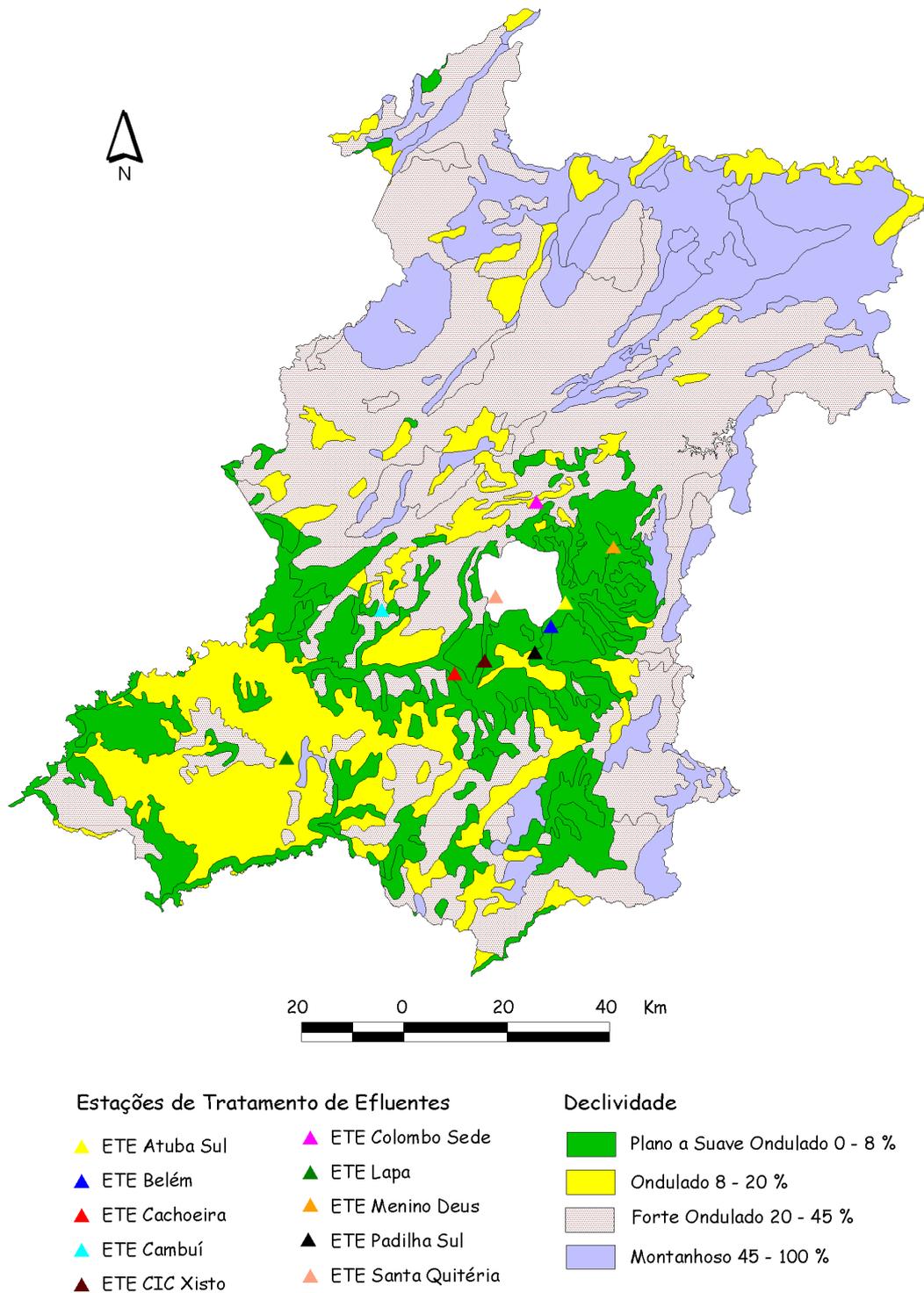


Figura 5.2 – Mapa de declividade da Região Metropolitana de Curitiba com a localização das ETEs

- As ETEs Cambuí e Colombo Sede encontram-se numa região de relevo forte ondulado com declividade entre 20% e 45%, abrangendo uma área de aproximadamente 643.140 ha. As duas ETEs também encontram-se próximas de áreas possuindo declividade entre suave ondulado a ondulado (entre 0% e 20%)
- A ETE Lapa encontra-se em uma região de relevo ondulado com declividade entre 8% e 20%, o que corresponde a uma área de aproximadamente 267.963 ha. No entanto, a leste da ETE encontra-se uma região montanhosa possuindo declividade entre 45% e 100%.

5.2.3 Considerações sobre as ETEs, tipo de solo, declividade e o uso da irrigação

A Tabela 5.5 apresenta para cada uma das ETEs analisadas na Região Metropolitana de Curitiba, um resumo dos principais resultados obtidos nos itens anteriores, ou seja, vazão de projeto, tipo de solo, declividade, drenagem do solo, condição em que se encontram os parâmetros de qualidade recomendados para água residuária destinada para irrigação, entre outros. Estas informações são importantes e dão uma idéia do(s) método(s) de irrigação que seriam mais apropriados para as regiões onde se encontram as ETEs.

É importante observar que os efluentes resultantes do tratamento do esgoto nas ETEs apresentam concentrações inadequadas de DBO (Tabela 5.5), por estar acima do limite máximo recomendado para irrigação agrícola. Este fato inviabilizaria a utilização da água residuária para qualquer tipo de irrigação, visto que a resolução do CONAMA nº 357 (2005) especifica limites únicos para os parâmetros recomendados para água residuária com os diferentes sistemas de irrigação existentes. O pH dos efluentes tratados apresenta-se adequado para a irrigação das culturas agrícolas, com exceção da ETE Cambuí.

Desta forma, desconsiderando as concentrações de DBO, que podem de alguma forma ser melhoradas a partir de alterações no tratamento de efluentes das ETEs, as informações dispostas na Tabela 5.5 permitem realizar as seguintes considerações:

As ETEs que se encontram próximas das áreas agricultáveis (Colombo Sede, Cambuí e Lapa) por serem de pequeno porte possuem baixa vazão de esgoto tratado para ser empregado na irrigação de culturas agrícolas. As ETEs de maior porte e que possuem maior vazão de esgoto tratado (Belém, Atuba Sul, Padilha Sul, CIC Xisto, Santa Quitéria, Cachoeira, Menino Deus) estão localizadas em áreas urbanas e o efluente necessitaria ser bombeado a longas distâncias para chegar as áreas agricultáveis;

Tabela 5.5. Resumo dos principais resultados obtidos na análise das ETEs: vazão de projeto, tipo de solo, declividade, drenagem do solo e condição em que se encontra os parâmetros recomendados para água residuária destinada para irrigação

ETEs	Vazão m ³ /dia	Tipo de Solo	Drenagem	Declividade %	Cultura*	Parâmetros recomendados para irrigação				Método de irrigação mais indicado
						DBO	DQO SS	Sólidos Sedimentáveis	pH	
Belém	75.168	Organossolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	— —	inadequado	adequado	superfície (inundação)
Atuba Sul	125.280	Gleissolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	— —	adequado	adequado	superfície (inundação)
Padilha Sul	34.560	Organossolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	— —	adequado	adequado	superfície (inundação)
CIC Xisto	51.840	Gleissolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	— —	adequado	adequado	superfície (inundação)
Santa Quitéria	36.288	—	—	0 – 8	—	inadequada	— —	adequado	adequado	superfície (inundação)
Cachoeira	7.431	Gleissolo	mal drenado	0 – 8	—	inadequada	— —	adequado	adequado	superfície (inundação)
Colombo Sede	2.592	Cambissolo	bem drenado	20 – 45	Olerícolas	inadequada	— —	adequado	adequado	aspersão e localizada
Menino Deus	5.184	Cambissolo	bem drenado	0 – 8	—	inadequada	— —	adequado	adequado	aspersão e localizada
Cambuí	8.640	Argissolo	bem drenado	20 – 45	Grãos	inadequada	— —	adequado	inadequado	aspersão e localizada
Lapa	2.592	Latossolo	bem drenado	8 – 20	Grãos	inadequada	— —	inadequado	adequado	aspersão

* Retirado do levantamento das principais culturas cultivadas em alguns municípios da região metropolitana de Curitiba, Item 5.3.2 deste trabalho

Tabela 5.6. Limites máximos de declividade recomendado para alguns sistemas de irrigação conforme PRONI (1987) e BERNARDO (1989)

Sistema de Irrigação	Declividade
Sulcos	Até 2% ao longo do sulco, e na direção perpendicular ao fluxo o declive pode atingir até 5% adotando-se medidas para evitar erosão
Corrugação	Até 15%
Faixas	Até 2%
Inundação	Terrenos planos possuindo declividade próxima de zero
Aspersão	Até 60%
Pivô central	Declividades de até 30% na direção radial podem ser suportadas para vãos entre torres de até 30 metros
Auto propelido convencional	Até 20%
Auto propelido tipo enrolador	Até 15%
Localizada (gotejamento e microaspersão)	Até 60%

- O tipo de solo na área a ser irrigada tem influência na infiltração e no desempenho da irrigação. Solos com baixa capacidade de retenção de água, como solo de textura arenosa exige irrigações leves e freqüentes, os quais são de difícil manejo na irrigação por superfície e de fácil manejo na irrigação por aspersão e localizada (BERNARDO, 1989). As características dos solos analisados na Região Metropolitana de Curitiba, conforme mapa de solos disponibilizado pela EMATER-PR, possuem textura média a argilosa, podendo-se encontrar textura arenosa em alguns casos;
- Alguns tipos de solos existentes na Região Metropolitana, principalmente nas regiões onde estão instaladas as ETEs sob os solos denominados de Gleissolo (Atuba Sul, CIC Xisto e Cachoeira), Organossolo (Belém e Padilha Sul) não são adequados para o uso da irrigação agrícola por aspersão, gotejamento, sulcos, entre outros, pois estes solos são mal drenados em condições naturais, além de haver acúmulo de água em determinadas ocasiões do ano, conforme observado em EMBRAPA (1999). Os solos da classe Neossolo existentes na Região Metropolitana, apesar de não possuírem nenhuma ETE localizada sobre eles, também possuem as mesmas limitações por serem mal drenados;
- Os solos do tipo Argissolo (Cambuí) e Cambissolo (Colombo Sede e Menino Deus) são adequados as práticas da irrigação por aspersão e localizada, porém, em alguns casos, eles podem apresentar-se imperfeitamente drenados mostrando características indesejáveis a utilização da prática. Dos solos verificados na Região Metropolitana de Curitiba, o Latossolo que se encontra próximo da ETE Lapa é o solo que apresenta as melhores condições para realização da prática da irrigação localizada ou por aspersão convencional e mecanizada. A atividade agrícola que se mostra mais promissora para ser irrigada na região da ETE Colombo Sede é a olericultura. Para as ETEs Cambuí e Lapa a irrigação poderá ser mais promissora para o cultivo de grãos. As demais ETEs não possuem grandes áreas agricultáveis ao seu redor;
- Solos mal drenados, possuindo velocidade de infiltração baixa, menor do que 5 mm/h (BERNARDO, 1989), são mais recomendados para uso da irrigação por superfície na forma de inundação, desenvolvendo a cultura do arroz irrigado. Este tipo de solo foi encontrado próximo das ETEs Belém, Atuba Sul, Padilha Sul, CIC Xisto e Cachoeira. O inconveniente está no fato de que a Região Metropolitana de Curitiba não possui tradição na produção de arroz. Além disso, o sistema de irrigação por inundação exige topografia muito plana (Tabela 5.6) e possui o inconveniente de colaborar, quando mal manejada, com a proliferação de insetos e de uma série de doenças;

- De forma geral, os solos mais indicados para fazer uso da irrigação por sulco, aspersão, gotejamento na Região Metropolitana seria o Latossolo, Cambissolo, Argissolo e Nitossolo. A irrigação por sulco na região está limitada principalmente devido à declividade do terreno e a falta de drenagem (Tabela 5.6). BERNARDO (1989) comenta que a irrigação por sulco necessita de superfícies uniformes e declividade não muito acentuada, para não haver limitação no seu uso. A irrigação por superfície exige áreas uniformes, sem elevações e depressões para evitar a falta ou acúmulo de água e evitar, também, a erosão excessiva nos sulcos. Segundo o autor a declividade da superfície não deve exceder a 2%. Na região analisada verificou-se que apenas nos locais onde se encontram a classe de solo denominada de Gleissolo tem-se declividade de até 3% (Figura 5.2). Este fato indica que a maior parte da área analisada não é adequada para irrigação por superfície, seja pela topografia ou pelas características do solo;
- A região da ETE Lapa possui condições de solo, drenagem, topografia e cultura para utilizar o sistema de irrigação por aspersão e localizada, no entanto, a concentração dos sólidos sedimentáveis mostra-se como um sério agravante, principalmente ao uso da irrigação localizada, devido ao problema de entupimento e danos ao sistema de bombeamento;

Em resumo, mediante as considerações sobre tipo de solo, declividade, drenagem do solo e condições em que se encontram os parâmetros recomendados para água residuária destinada para irrigação (Tabela 5.5) verifica-se que a região das ETES Belém, Atuba Sul, Padilha Sul, CIC Xisto, Santa Quitéria e Cachoeira é mais adequada para a realização de projetos de irrigação por superfície, principalmente inundação. As ETES Colombo Sede, Menino Deus, Cambuí são mais adequadas a utilização de sistemas de irrigação por aspersão e localizada. A ETE Lapa possui áreas favoráveis a realização dos sistemas de irrigação por aspersão convencional ou mecanizada. A irrigação localizada apresenta-se limitada nesta última ETE devido a concentração dos sólidos sedimentáveis.

Conforme será discutido no Item 5.3.2, um possível enquadramento dos efluentes tratados dentro das Classes 2 e 3 do CONAMA, possibilitaria a utilização destes na irrigação de cereais, plantas frutíferas e olerícolas que são cultivadas principalmente no primeiro e segundo anel de produção ao redor da cidade de Curitiba.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS DA APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS NAS ETEs, AGRICULTORES E CONSUMIDORES (Etapa 3)

5.3.1 Resultados dos questionários aplicados nas ETEs

Mediante o questionário aplicado aos técnicos responsáveis por cada uma das ETEs analisadas (Anexo 1), pôde-se constatar que elas geralmente: (a) têm funcionamento durante 24 horas por dia e suas interrupções somente ocorrem por falta de energia elétrica ou de limpeza e manutenção; e (b) recebem carga constante de esgoto além de ocorrer algumas variações na sua vazão, dependendo da hora do dia ou da noite.

De acordo com o Técnico Químico da ETE CIC Xisto e da Cambuí, os picos de vazão ocorrem em torno das 8 h, 12 h e 23 h, e devido geralmente à rotina de atividades e trabalho das pessoas que vivem nas cidades. Os picos de vazão têm duração de aproximadamente 3 h e sofrem oscilações em dias chuvosos, quando ocorre excesso de esgoto devido à infiltração da água da chuva e também de algumas ligações irregulares da rede pluvial ao sistema de esgoto. Segundo os técnicos responsáveis pelas ETEs, as oscilações de vazão não comprometem a qualidade do tratamento. Este fato pode ser comprovado na Tabela 5.7 e 5.8 e Figura 5.3, uma vez que todo esgoto que chega na maioria das ETEs consegue ser tratado, a não ser que a vazão seja maior que a capacidade de tratamento.

Tabela 5.7. Eficiência no tratamento do esgoto nas ETEs analisadas, quando ocorre excesso de água devido à ocorrência de precipitações

Estações de Tratamento de esgoto (ETEs)	Ocorre eficiência do tratamento com excesso de chuvas	
	Sim	Não
Atuba Sul	X	
Padilha Sul	X	
Santa Quitéria		X
CIC Xisto	X	
Menino Deus	X	
Cachoeira	X	
Cambuí	X	
Belém		X
Colombo Sede	X	

Nas entrevistas realizadas, apenas os técnicos das ETEs Belém e Santa Quitéria observaram que o aumento excessivo da quantidade de esgoto que chega para ser tratado diminui a eficiência do tratamento. Os técnicos comentaram que o excesso de água que chega compromete a eficiência no tratamento do esgoto devido ao arrastamento das bactérias do manto de lodo, que são praticamente as responsáveis pelo tratamento. O Técnico Químico responsável pela ETE Atuba Sul, comenta que o tratamento do esgoto nas

ETEs é bastante eficaz (praticamente), desde que não ocorra na entrada da estação uma ultrapassagem de 50% além da sua capacidade de projeto, por um período de 1 hora. Segundo o mesmo técnico, quando a ultrapassagem é maior do que 50% é necessário a realização de um *By-Pass*, isto é, o excesso de esgoto que entra é desviado para o rio sem tratamento, para não ocasionar problemas à estação de tratamento. Segundo o levantamento, o problema da ultrapassagem é mais freqüente quando ocorrem chuvas de grande intensidade. No entanto, é importante observar que a maior parte das ETEs estão operando a baixo da sua capacidade de projeto. Apenas as ETEs Menino Deus, Belém e Lapa (Tabela 5.8 e Figura 5.3) estão operando com 100 % de sua capacidade.

A Tabela 5.8 e a Figura 5.3 apresentam a vazão de projeto e vazão média de efluentes tratados das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Curitiba e Região metropolitana, com sua respectiva utilização percentual.

Tabela 5.8. Vazão de projeto e vazão média de efluentes tratados nas principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da Região Metropolitana de Curitiba

ETEs	Vazão de projeto L/s	Vazão média de efluentes tratados			Capacidade utilizada (%)	
		L/s	m ³ /h	m ³ /dia		
Atuba Sul	1.450,0	580,0	2.088,00	50.112,0	1.503.360,0	40,0
Belém	870,0	870,0	3.132,00	75.168,0	2.255.040,0	100,0
CIC Xisto	600,0	242,0	871,20	21.000,0	627.264,0	40,3
Santa Quitéria	420,0	230,0	828,00	19.872,0	596.160,0	54,8
Padilha Sul	400,0	173,0	625,00	15.000,0	450.000,0	43,4
Cachoeira	86,0	41,0	147,60	3.600,0	106.272,0	47,7
Cambuí	100,0	50,0	180,00	4.315,0	129.600,0	50,0
Menino Deus	60,0	60,0	216,00	5.184,0	155.520,0	100,0
Lapa	30,0	40,0	144,0	3.456,0	103680,0	133,3
Colombo Sede	30,0	2,5	9,84	216,0	6.480,0	8,3

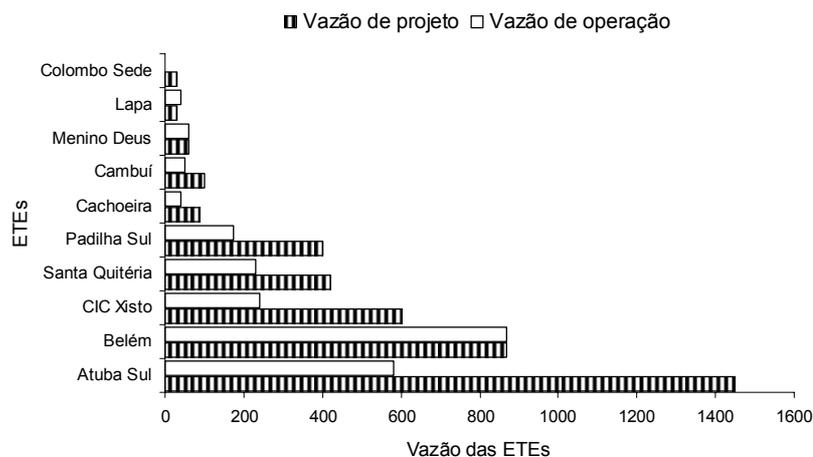


Figura 5.3 – Vazão de projeto e vazão média de efluentes tratados das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da Região Metropolitana de Curitiba

A Tabela 5.9 apresenta o percentual de esgoto doméstico e industrial recebido pelas ETEs, a qual verifica-se que as águas residuárias recebidas pelas ETEs são constituídas basicamente por esgoto doméstico. As ETEs Menino Deus e Belém recebem uma pequena porcentagem de esgoto industrial, devido a ligações irregulares de dejetos de algumas indústrias ao sistema de coleta de esgoto. Este fato é prejudicial ao tratamento, pois compromete a eficiência e diminui a qualidade do esgoto tratado. Para verificar a existência de esgoto industrial as ETEs realizam análises que identificam a presença de óleos e graxas. Estas análises são muito importantes, pois a presença de óleos e graxas pode matar as bactérias do manto de lodo, diminuindo assim a qualidade do efluente tratado e conseqüentemente, prejudicar ou inviabilizar a prática da irrigação.

Tabela 5.9. Percentual de esgoto doméstico e industrial recebido pelas ETEs

ETEs	Percentual de esgoto recebido pelas ETEs (%)	
	Doméstico	Industrial
Atuba Sul	100	0
Padilha Sul	100	0
Santa Quitéria	100	0
CIC Xisto	100	0
Menino Deus	93	7
Cachoeira	100	0
Cambuí **	—	—
Belém	99	1
Colombo Sede	100	0

** Cambuí: Percentual não determinado, mas havia 3 postos e 1 hospital ligados irregularmente ao sistema de esgoto (não havia informação se o problema foi regularizado ou não).

Para se ter um controle da qualidade do esgoto tratado, as ETEs avaliadas realizam análises de alguns parâmetros. A Tabela 5.10 apresenta para as ETEs em estudo os respectivos parâmetros e a periodicidade em que são feitas as medidas.

Tabela 5.10 Principais parâmetros medidos em algumas ETEs analisadas em Curitiba e Região Metropolitana

ETE	Especificação dos parâmetros
CIC Xisto	DBO, DQO (três vezes por semana); pH, sólidos sedimentáveis, temperatura do efluente, alcalinidade (diariamente)
Santa Quitéria	DBO, DQO (semanal); pH, Sólidos Sedimentáveis, temperatura do efluente, Alcalinidade (diários)
Cachoeira	DBO, DQO, Alcalinidade (cada 15 dias); pH, Sólidos Sedimentáveis, temperatura do efluente (Diários)
Belém	DBO, DQO, SS, pH, temperatura do efluente (cada 2 dias); N orgânico, Amoniacal e total, P total (Semanal); Óleos e graxas (Mensal)
Cambuí	pH, Alcalinidade, Turbidez, Sólidos Sedimentáveis (Diários); DBO, DQO, Óleos e Graxas (cada 15 dias)
Menino Deus	DBO, DQO, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos, pH, Alcalinidade, temperatura do efluente, Óleos e Graxas (Cada 15 dias)

Para diminuir os maus odores, verificou-se que as ETEs geralmente utilizam-se da aplicação de hipoclorito. A ETE Cachoeira utiliza 330 mL de hipoclorito por minuto no controle dos maus odores no período noturno. Já a ETE Cambuí utiliza cal para diminuir o mau odor durante o dia, além de corrigir o pH. A formação de maus odores pode gerar um grande inconveniente, tanto para os moradores nos arredores da ETE, como para quem trabalhar com a água residuária ao longo do dia, como é o caso do agricultor irrigacionista.

5.3.2 Levantamento das principais culturas cultivadas em alguns municípios da Região Metropolitana de Curitiba.

Este levantamento bibliográfico objetivou identificar as culturas que são bem aceitas e cultivadas pelos agricultores da Região Metropolitana de Curitiba e, ao mesmo tempo, mostrem-se promissoras economicamente e possibilitem o seu plantio nos cinturões verdes existentes nos arredores dos centros urbanos, próximos as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

Conforme o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba - PDI (2001), realizado pela COMEC, existem três anéis de produção agrícola, considerando-se as condicionantes naturais, antrópicas e fatores geográficos da região:

- (a) No primeiro anel, localizado na região mais próxima de Curitiba, é a porção onde ocorre a produção de hortaliças. Segundo GIORDANI (2002), este "cinturão verde" é considerado o terceiro maior produtor do Brasil e compreende os municípios de Colombo, São José dos Pinhais, parte de Almirante Tamandaré e Mandirituba. Em torno de 60% da produção verificada no primeiro anel está concentrada nos municípios de Colombo e São José dos Pinhais.
- (b) O segundo anel caracteriza-se pela ocorrência de solos mais profundos e relevo mais suave, compreendendo os municípios de Araucária, Contenda, Campo Largo, Balsa Nova e parte de Campo Magro, onde tem-se produção de grãos, milho, feijão e especialmente a cultura da batata.
- (c) O Terceiro anel compreende o vale do Ribeira, com relevo movimentado e solos mais rasos, onde a produção agrícola é representada especialmente pela exploração da silvicultura (bracatinga e pinus).

Este PDI (2001) utiliza dados gerados pela EMATER/1999 e aponta que a área de produção agrícola da Região Metropolitana de Curitiba corresponde a 650.000 ha, o que

equivale a 50% da área total existente. Desta área, 30% correspondem a lavouras anuais, 2% a lavouras perenes, 35% de produção pecuária, com pastagens plantadas e naturais, e 30% áreas florestais.

A lavoura de milho, com aproximadamente 135.000 ha, constitui-se na maior área cultivada, tendo produção mais significativa nos municípios do segundo anel de produção, com produtividade chegando a 4.000 kg/ha. Nos municípios da porção norte, a produtividade chega a aproximadamente 1.500 kg/ha, caindo para 800 kg/ha nas áreas onde a cultura de milho consorcia-se com a produção de bracinga.

A olericultura está presente em aproximadamente 10.000 ha da Região Metropolitana de Curitiba e é responsável pelo abastecimento de 70% da produção de hortaliças do Paraná, principalmente alface, beterraba e cenoura. A agricultura permanente ou fruticultura pode ser encontrada nos municípios de Campina Grande do Sul, Bocaiúva do Sul e Quatro Barras, onde predomina a cultura do caqui, Araucária e Contenda, com predominância do pêssego, Mandirituba e São José dos Pinhais, com a ameixa, e em Colombo e Campo Largo, predominando a cultivo da uva. A fruticultura envolve em torno de 6.312 produtores rurais na Região Metropolitana de Curitiba, e ocupa uma área aproximada de 12.380 ha. Sua maior concentração ocorre no vale do Ribeira com 3.922 produtores, em uma área de 10.883 ha, com a produção de tangerina. A laranja, plantada na mesma região, é produzida em uma área de 1.082 ha, com 748 produtores. Além da citricultura, a produção de caqui ocorre em uma área de 426 ha, localizados no município de Bocaiúva do Sul, Campina Grande do Sul e Quatro Barras. A Tabela 5.11 apresenta um resumo das principais culturas agrícolas cultivadas na Região Metropolitana de Curitiba, com suas respectivas áreas plantadas e produção alcançada na safra 2003/2004, individualizados por município.

Analisando-se o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba - PDI (2001) e relacionando-se com algumas informações da Tabela 5.11, verifica-se principalmente que:

- As regiões prioritárias para o desenvolvimento da agricultura são aquelas hoje utilizadas, face à aptidão dos solos e escassez da oferta. Logo, não se prevê nenhum acréscimo potencial de áreas. O potencial de crescimento do setor agrícola deverá ocorrer apenas nos municípios de São José dos Pinhais, Colombo, Mandirituba, Araucária, Contenda, Campo Largo e Balsa Nova;

Tabela 5.11. Principais culturas cultivadas em alguns municípios da Região Metropolitana de Curitiba, com suas respectivas áreas plantadas e produção alcançada na safra 2003/2004

Culturas	Araucária		Campo Largo		Colombo		Curitiba		Lapa		Quatro Barras		Pinhais	
	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (há)	Prod. (ton)	Área (há)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)
Arroz de Sequeiro	35	53	120	156	—	—	—	—	320	416	2	2	—	—
Batata	5381	87064	4760	71302	—	—	2	31	6520	100857	—	—	—	—
Cebola	555	7104	570	7125	14	153	3	29	389	4979	2	21	—	—
Alho	—	—	—	—	1	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Feijão	4550	7082	4585	7723	205	245	25	30	13900	20809	165	165	10	10
Mandioca	55	836	145	1972	30	472	2	25	165	2163	12	151	8	100
Milho	14500	86275	15100	70970	900	3195	170	600	18000	102780	360	1386	150	546
Soja	600	1562	350	868	—	—	—	—	20000	52560	—	—	—	—
Trigo	1700	3366	280	504	—	—	10	19	2100	4305	—	—	—	—
Tomate	34	1673	10	445	220	11330	—	—	—	—	1	45	—	—
Abóbora	45	905	6	96	28	581	4	67	13	169	7	119	—	—
Abobrinha	52	1232	20	424	190	4142	4	74	4	76	2	33	—	—
Agrião	2	38	—	—	22	495	1	18	—	—	1	15	—	—
Alcachofra	—	—	—	—	13	235	1	10	—	—	—	—	—	—
Alface	25	475	25	475	670	15142	28	462	2	32	4	57	1	13
Almeirão	2	22	—	—	6	59	4	38	—	—	—	—	—	—
Batata Doce	19	2508	15	185	20	256	—	—	4	44	2	28	—	—
Batata Salsa	210	1785	40	352	1	7	—	—	100	3128	—	—	—	—
Berinjela	4	88	2	50	32	1264	—	—	—	—	—	—	—	—
Beterraba	125	2812	15	333	145	4031	32	746	2	38	2	41	—	—
Brócolos	2	38	—	—	63	1361	—	—	—	—	—	—	1	17
Cebolinha	2	26	—	—	10	180	—	—	—	—	—	—	—	—
Cenoura	110	2035	18	351	38	992	18	382	3	54	3	67	—	—
Chuchu	-	-	1	37	350	17150	—	—	—	—	—	—	—	—
Couve	69	1670	17	417	1078	31853	25	611	6	138	4	88	2	20
Ervilha	—	—	—	—	14	280	—	—	—	—	—	—	—	—
Escarola	2	24	—	—	27	251	—	—	—	—	—	—	—	—
Espinafre	1	12	—	—	14	277	—	—	—	—	—	—	—	—
Feijão Vagem	18	342	8	128	180	3060	5	689	1	12	3	43	—	—

Fonte: SEAB, safra 2003/2004

Tabela 5.11. Principais culturas cultivadas em alguns municípios da região metropolitana de Curitiba, com suas respectivas áreas plantadas e produção alcançada na safra 2003/2004

Culturas	Araucária		Campo Largo		Colombo		Curitiba		Lapa		Quatro Barras		Pinhais	
	Área (há)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (ha)	Prod. (ton)	Área (há)	Prod. (ton)
Jiló	—	—	—	—	3	43	—	—	—	—	—	—	—	—
Moranga	3	48	—	—	10	195	—	—	—	—	—	—	—	—
Nabo	1	16	—	—	4	64	—	—	—	—	—	—	—	—
Pepino	112	2778	7	137	165	5115	14	322	10	1008	10	230	—	—
Pimenta	—	—	—	—	3	24	—	—	—	—	—	—	—	—
Pimentão	90	2232	9	173	200	6040	3	51	27	626	—	—	—	—
Quiabo	—	—	10	130	6	72	18	261	—	—	1	10	—	—
Rabanete	3	43	—	—	50	810	—	—	—	—	—	—	—	—
Repolho	900	31140	120	3912	45	1575	5	155	20	620	7	213	3	93
Rúcula	6	90	—	—	2	23	—	—	—	—	—	—	—	—
Salsa	—	—	—	—	9	171	5	51	—	—	—	—	—	—
Rabanete	—	—	—	—	13	211	—	—	—	—	—	—	—	—
Ameixa	30	270	5	50	—	—	—	—	180	2700	3	29	4	38
Caqui	16	228	1	24	42	680	—	—	30	405	40	548	2	27
Laranja	—	—	8	132	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kiwi	—	—	—	—	—	—	—	—	2	10	—	—	—	—
Morango	12	258	6	72	7	140	—	—	—	—	1	19	—	—
Maça	—	—	25	475	-	-	—	—	285	6982	—	—	—	—
Melancia	—	—	4	64	8	116	—	—	—	—	12	178	—	—
Nectarina	10	80	2	17	—	—	—	—	72	1160	—	-	—	—
Pêra	10	110	—	—	6	57	—	—	70	980	4	44	1	13
Pêssego	82	796	20	202	14	133	—	—	350	4725	2	18	—	—
Tangerina Ponkan	—	—	35	735	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Uva de Mesa	5	40	22	189	100	1050	7	70	2	18	—	—	—	—
Uva Vinífera	2	15	15	123	35	364	—	—	—	—	3	22	—	—

Fonte: SEAB, safra 2003/2004

- O modelo produtivo da agricultura continuará seguindo o sistema convencional, em função das facilidades de ofertas de insumos e pelo domínio desta tecnologia. No entanto, analisando-se a competitividade dos sistemas produtivos, o desenvolvimento de uma agricultura com pouca rentabilidade econômica não encontra sustentabilidade em áreas próximas ao núcleo urbano. Neste caso, a produção de cereais, milho, feijão e arroz devem ficar distante de Curitiba. Araucária, Mandirituba, Contenda, Balsa Nova, Campo Largo e Quitandinha deverão receber um impulso para a intensificação de uso do solo, com a produção de hortaliças dominando as áreas que hoje são cultivadas com cereais.
- Três cenários especiais de sistema de produção podem ser projetados: (a) O primeiro constituindo a área de manutenção de sistema de produção atual, com a olericultura nos municípios de São José dos Pinhais, Colombo e partes de Almirante Tamandaré, Mandirituba e Bocaiúva do Sul; (b) O segundo constituindo uma área de conservação, possuindo chácaras de lazer e florestas manejadas nos municípios de Bocaiúva do Sul, Rio Branco do Sul, Campo Magro, Campo Largo, Piraquara, Quatro barras, Tijucas do Sul e Agudos do Sul; (c) O terceiro cenário corresponde a uma área de transformação, onde ocorrerá a substituição da exploração da batata e dos cereais pela intensificação da olericultura e fruticultura por motivos econômicos. Esta área estará presente em Araucária, Contenda, Balsa Nova e parte de Campo Largo, Campo Magro e Quitandinha.
- Com relação ao conflito pelo uso da água no meio rural, a irrigação (captação de água, distribuição, quando e quanto irrigar), será o fator mais importante a ser considerado. A disputa pela captação de água ocorrerá principalmente nas bacias hidrográficas do Alto Iguaçu, em especial no rio Miringuava e Passaúna e ao norte na área de influência do *Karst* (Colombo, Campo Magro), região em que se encontram 70% dos produtores que praticam a irrigação por aspersão, chegando a um consumo de 30.000 L/ha/dia. A irrigação é responsável também por parte da erosão do solo e impactos ocasionados pela captação d'água através de motores diesel.

A Tabela 5.12 apresenta, conforme levantamento realizado pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), uma relação contendo a quantidade de produtores irrigantes outorgados na Região Metropolitana de Curitiba, por município. É importante salientar e observar no cultivo de hortaliças, que a lâmina de água aplicada tem importância fundamental no aumento da produtividade. Desta forma, a captação de água e a distribuição quali-quantitativa desta geram conflitos pelo uso dos recursos hídricos. Para GIORDANI (2002), as principais regiões de disputa concentram-se nas bacias hidrográficas do Alto Iguaçu, mais especificamente no rio Miringuava e na

região do aquífero *Karst*, uma vez que nestas regiões concentram-se 70% das culturas irrigadas.

Cabe lembrar ainda que não existem registros de agricultores utilizando água residuária para irrigação de culturas agrícolas na Região Metropolitana de Curitiba. Além do mais, poucos agricultores possuem outorga permitindo a retirada de água para fins agrícolas. É interessante observar também, que a água de alguns rios que são utilizados para irrigação de culturas agrícolas, principalmente hortaliças, podem possuir qualidade inferior à recomendada pela legislação. Este fato já foi observado em uma amostra feita para o corpo receptor do efluente da ETE Colombo Sede (Item 5.1.1, Tabela 5.4), na qual verificou-se que os valores de alguns parâmetros excederam o que a legislação recomenda para a água utilizada para irrigação de plantas que são consumidas cruas. Destas análises, verificou-se que a água serviria somente para irrigação de culturas agrícolas que passam por um processo de transformação (cozimento).

Fazendo-se um contraste entre as informações dispostas neste item, através do levantamento realizado pelo PDI (2001), EMATER e SEAB, com as informações dispostas nos itens anteriores sobre as ETEs, solo e declividade da Região Metropolitana de Curitiba, pode-se esperar que:

- 30% da produção agrícola da região Metropolitana de Curitiba correspondem a lavouras anuais. Baseando-se no PDI (2001) e com o auxílio do mapa de solos (Figura 5.1) e declividade (Figura 5.2), verifica-se que a produção de grãos ocorre predominantemente em solos classificados como Cambissolo, Latossolo e Argissolo, possuindo relevo variando de suave ondulado a fortemente ondulado;
- De acordo com a safra 2003/2004 (Tabela 5.11), observa-se que o milho destaca-se como a cultura mais cultivada na região, sendo seguida pelas culturas do feijão e soja. O município da Lapa caracteriza-se como o maior produtor de grãos da região;
- Devido à necessidade de áreas grandes para que a atividade agrícola seja viável economicamente, a princípio, acredita-se que as áreas cultivadas com grãos tenderão a ficar mais distantes dos grandes centros urbanos. Este fato é importante, pois as maiores ETEs encontram-se localizadas dentro de áreas urbanas e, sendo assim, um provável uso das águas residuárias proveniente das mesmas terá de passar por um processo de adução de longa distância até o local onde a agricultura está sendo desenvolvida.

Tabela 5.12 Agricultores com outorga e maior expressão agrícola, que utilizam o método de irrigação por aspersão em alguns municípios da Região Metropolitana de Curitiba

Razão Social	Bombeamento (h/dia)	Município	Manancial	Latitude	Longitude	Vazão (m³/h)
Produtor 1	24	Colombo	Córrego sem nome	25,27	49,20	4,50
Produtor 2	24	Colombo	Córrego sem nome	25,27	49,18	5,50
Produtor 3	3	Colombo	Córrego sem nome (ponto 1)	25,27	49,13	1,50
Produtor 4	24	Colombo	Córrego sem nome (ponto 3)	25,27	49,13	0,50
Produtor 5	8	Colombo	Mina	25,27	49,13	1,00
Produtor 6	24	Colombo	Córrego sem nome	25,27	49,19	4,50
Produtor 7	24	Colombo	Córrego sem nome	25,27	49,19	6,50
Produtor 8	20	Colombo	Rio Capivari	25,23	49,18	5,00
Produtor 9	24	Colombo	Córrego sem nome (ponto 1)	25,27	49,18	3,50
Produtor 10	24	Colombo	Córrego sem nome (ponto 2)	25,27	49,18	3,50
Produtor 11	24	Colombo	Córrego sem nome (ponto 3)	25,27	49,19	3,50
Produtor 12	24	Colombo	Córrego sem nome	25,26	49,19	2,50
Produtor 13	24	Colombo	Rio Serrinha	25,25	49,20	5,00
Produtor 14	24	Colombo	Córrego sem nome	25,27	49,19	2,50
Produtor 15	24	Colombo	Rio Água Comprida	25,25	49,20	8,00
Produtor 16	24	Colombo	Mina 1	25,25	49,20	0,50
Produtor 1	15	Araucária	Poço 1	25,53	49,36	3,00
Produtor 2	6	Araucária	Córrego sem nome	25,65	49,52	70,00
Produtor 3	24	Araucária	Minas	25,65	49,53	1,00
Produtor 4	24	Araucária	Minas	25,72	49,38	1,50
Produtor 5	24	Araucária	Minas	25,60	49,45	4,50
Produtor 6	24	Araucária	Rio Cristal	25,50	49,48	4,00
Produtor 1	5	Lapa	Córrego sem nome	25,45	49,88	12,60
Produtor 2	5	Lapa	Córrego sem nome	25,45	49,88	15,60
Produtor 3	15	Lapa	Rio dos Correias (ponto 1)	25,78	50,03	70,00
Produtor 4	15	Lapa	Rio dos Correias (ponto 2)	25,79	50,02	70,00
Produtor 5	12	Lapa	Arroio Paulista	25,70	49,81	18,89
Produtor 6	24	Lapa	Minas	25,70	49,81	2,00
Produtor 7	5	Lapa	Minas	25,83	49,92	40,00
Produtor 8	15	Lapa	Arroio da Restinga	25,67	49,76	80,00
Produtor 9	24	Lapa	Minas	25,71	49,59	1,50
Produtor 1	3	São J. Pinhais	Rio Miringuava	25,60	49,11	15,00
Produtor 2	24	São J. Pinhais	Rio Agaraú	25,64	49,23	6,00
Produtor 3	24	São J. Pinhais	Minas	25,65	49,24	8,00
Produtor 4	24	São J. Pinhais	Minas	25,64	49,23	2,00
Produtor 5	6	São J. Pinhais	Rio Cotia (Ponto 1)	25,62	49,23	20,00
Produtor 6	6	São J. Pinhais	Rio Cotia (ponto 2)	25,63	49,22	20,00
Produtor 7	24	São J. Pinhais	Córrego sem nome	25,61	49,22	2,25
Produtor 8	6	São J. Pinhais	Minas	25,57	49,19	5,50
Produtor 9	24	São J. Pinhais	Arroio Passo da Roseira	25,68	49,19	17,00

Fonte: SUDERHSA

- Observa-se que a olericultura está sendo desenvolvida na região mais próxima ao núcleo urbano de Curitiba, provavelmente devido a grande demanda e rapidez no escoamento da produção. Esta atividade agrícola apresenta rentabilidade econômica maior em pequenas áreas quando comparada com outros tipos de culturas. A atividade olerícola está sendo desenvolvida predominantemente em solos classificados como Cambissolo, Argissolo, Latossolo e Gleissolo, possuindo declividade variando de suave ondulado a fortemente ondulado.
- A maior parte da produção de olerícolas está concentrada no município de Colombo (Tabela 5.11). Devido às características do solo e das condições do relevo, esta região possui grande área irrigada com o sistema de irrigação por aspersão convencional;
- A agricultura permanente da Região Metropolitana de Curitiba, representada pela fruticultura, corresponde a 2% da produção agrícola da região e está presente na maioria dos municípios próximos de Curitiba. Seu cultivo é realizado em solos classificados como Cambissolo, Argissolo, Latossolo, Nitossolo, Organossolo e Gleissolo, possuindo relevo que varia de plano, suave ondulado, ondulado a forte ondulado;
- Considerando as ETEs que se encontram mais próximas às áreas agrícolas, verifica-se que o efluente tratado na ETE localizada no município de Colombo poderia ser utilizado para irrigação de olerícolas, caso atingisse a Classe 2, estabelecido pelo CONAMA. O efluente tratado na ETE localizada no município de Campo Largo poderia ser utilizado para irrigação de grãos, caso viesse atingir a Classe 3 do CONAMA.
- Como as áreas cultivadas com silvicultura e pastagem representam, respectivamente, 30% e 35% de toda a área cultivada na Região Metropolitana de Curitiba (PDI, 2001), acredita-se que seria bastante viável realizar a irrigação nestas áreas com a água residuária proveniente das ETEs. Geralmente, árvores e pastagem possuem menos restrições quanto ao uso de águas residuárias, porém, o seu uso é permitido somente quando se consegue atingir a Classe 3 do CONAMA. O inconveniente está na distância em que se encontram as áreas contendo silvicultura e pastagens, sendo necessário longos trechos de adução entre estes locais e as ETEs.
- Como poucos agricultores possuem outorga para uso da água para irrigação agrícola na Região Metropolitana de Curitiba (Tabela 5.12), a escassez do recurso na Região poderá gerar no futuro inúmeros conflitos e será um sério desafio ao desenvolvimento, caso não seja realizado um trabalho de conscientização e investimento. Acredita-se, em breve, que em muitas regiões a demanda de água para indústria e abastecimento doméstico estará competindo cada vez mais com a demanda para produção agrícola.

5.3.3 Resultados dos questionários aplicados aos consumidores nas feiras livres

Para avaliar a opinião dos consumidores quanto ao uso de águas residuárias tratadas para irrigação de frutas, legumes e verduras e, ao mesmo tempo, quantificar a aversão dos mesmos ao consumo destes produtos agrícolas, um questionário foi montado (Anexo 2) e 310 pessoas foram entrevistadas em 13 feiras livres da cidade de Curitiba. Este levantamento é importante para verificar a possibilidade e viabilidade da utilização de águas residuárias para uso da irrigação de culturas, nos cinturões verdes existentes nos arredores de algumas estações de tratamento de esgoto, situadas na Região Metropolitana de Curitiba.

Do levantamento realizado, verificou-se para a amostra de pessoas entrevistadas que 61% eram mulheres e 39% eram homens. A faixa de idade dos entrevistados e o nível de escolaridade estão apresentados nas Figuras 5.4 e 5.5, respectivamente. É interessante observar que grande parte dos entrevistados possuem curso superior e alguns pós-graduação.

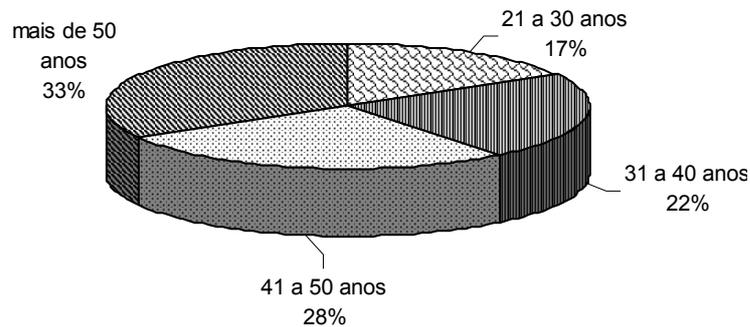


Figura 5.4 – Faixa etária dos 310 entrevistados nas 13 feiras livres da cidade de Curitiba

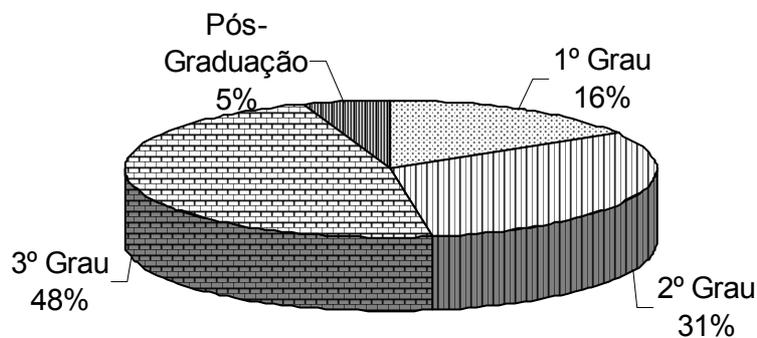


Figura 5.5 – Nível de escolaridade dos 310 entrevistados nas 13 feiras livres em Curitiba

A Tabela 5.13 apresenta um resumo, contendo a resposta das perguntas fechadas existentes no questionário aplicado nas feiras livres.

Tabela 5.13. Resultado das perguntas fechadas que foram realizadas às 310 pessoas entrevistadas em 13 feiras livres da cidade de Curitiba

Pergunta realizada na aplicação dos questionários	Resposta (%)		Resultado estatístico
	Sim	Não	
(a) Você (Sr. ou Sra.) geralmente é o responsável por fazer a compra de legumes, verduras e frutas?	77,7	22,3	Significativo*
(b) Você (Sr. ou Sra.) sabia que em Curitiba e na Região Metropolitana o esgoto doméstico (de nossas casas) passa por algum tipo de tratamento antes de ser jogado nos rios?	65,5	34,5	Significativo*
(c) Você (Sr ou Sra) sabia que no final do tratamento deste esgoto doméstico, nas estações de tratamento de esgoto, tem-se uma água (denominada água residuária) que é jogada novamente nos rios, mas que poderia ser utilizada para outras finalidades como uso agrícola ou industrial?	47,7	52,3	Não Significativo*
(d) Você (Sr ou Sra) é favorável ao uso da água residuária na agricultura, ou seja, para ser utilizada na irrigação de produtos agrícolas?	74,2	25,8	Significativo*
(e) Você (Sr ou Sra) compraria um produto agrícola que tenha utilizado água residuária (água que passou nas estações de tratamento de esgoto) na irrigação de culturas agrícolas, sendo notificado por quem esta vendendo o produto agrícola?	71,3	28,7	Significativo*

* Considerando o teste Binomial a 5% de probabilidade

Analisando-se a Tabela 5.13, verifica-se que a amostra da população que geralmente compra legumes, verduras e frutas nas feiras pesquisadas são favoráveis ao uso da água residuária para agricultura irrigada: (a) 65,5% dos entrevistados têm conhecimento que é realizado algum tipo de tratamento do esgoto doméstico na Região Metropolitana de Curitiba; (b) 74,2% é favorável à utilização da água residuária para irrigação de culturas agrícolas; e o que é mais importante, (c) 71,3% afirmam que comprariam produtos agrícolas que tenham utilizado água residuária na irrigação de culturas agrícolas, sendo notificado por quem está vendendo o produto. É importante observar que algum tipo de campanha de esclarecimento da população poderia melhorar ainda mais os resultados, pois apenas 47,7% dos entrevistados declararam ter conhecimento que no final do tratamento do esgoto doméstico realizado nas ETEs tem-se uma água residuária que poderia ser utilizada para finalidades agrícolas ou industriais, ao invés de ser jogada novamente nos rios.

A Tabela 5.14 apresenta uma série de informações obtidas dos questionários aplicados nas feiras livres, fazendo um cruzamento entre as variáveis sexo, idade e grau de escolaridade, com as questões referentes ao uso de irrigação e consumo de produtos agrícolas irrigados com água residuária.

Tabela 5.14. Respostas obtidas nas entrevistadas realizadas nas feiras livres, fazendo um cruzamento das variáveis sexo, idade e grau de escolaridade, com as questões referentes ao uso de irrigação e consumo de produtos agrícolas irrigados com água residuária

Classes	Resposta do entrevistado (%)		Total (c) (%)	Relação dentro das classes (%)	
	Sim (a)	Não (b)		Favorável (sim) (a/c)·100	Contrário (não) (b/c)·100
(a) Favoráveis ao uso da irrigação com água residuária (em função do sexo)					
Feminino	43,8	16,7	60,6	72,4	27,6
Masculino	30,3	9,0	39,3	77,1	22,9
Total	74,2	25,8	100,0		
(b) Favoráveis ao uso da irrigação com água residuária (em função da faixa etária)					
21 a 30	12,6	4,2	16,7	75,0	25,0
30 a 40	17,4	4,8	22,2	78,4	21,6
41 a 50	19,3	8,4	27,7	69,7	30,3
Mais de 50	24,8	8,4	33,2	74,7	25,3
Total	74,2	25,8	100,0	74,2	25,8
(c) Favoráveis ao uso da irrigação com água residuária (em função do nível de escolaridade)					
1º Grau	11,9	4,5	16,4	72,6	27,4
2º Grau	20,9	10,0	30,9	67,6	32,4
3º Grau	37,1	10,3	47,4	78,3	21,7
Pós-graduação	4,2	1,0	5,2	80,8	19,2
Total	74,2	25,8	100,0		
(d) Consumiriam produtos irrigados com água residuária (em função do sexo)					
Feminino	41,3	19,3	60,6	68,2	31,8
Masculino	30,0	9,3	39,3	76,3	23,7
Total	71,3	28,7	100,0		
(e) Consumiriam produtos irrigados com água residuária (em função da faixa etária)					
21 a 30	11,9	4,8	16,7	71,3	28,7
30 a 40	16,4	5,8	22,2	73,9	26,1
41 a 50	18,4	9,3	27,7	66,4	33,6
Mais de 50	24,5	8,7	33,2	73,8	26,2
Total	71,3	28,7	100,0		
(f) Consumiriam produtos irrigados com água residuária (em função do nível de escolaridade)					
1º Grau	10,6	5,8	16,4	64,6	35,4
2º Grau	20,0	10,9	30,9	64,7	35,3
3º Grau	36,1	11,3	47,4	76,2	23,8
Pós-graduação	4,5	0,7	5,2	86,5	13,5
Total	71,3	28,7	100		

Analisando-se a Tabela 5.14, é possível verificar algumas questões interessantes, como:

- A percentagem de entrevistados favoráveis ao uso da irrigação com água residuária em função do sexo, faixa etária e nível de escolaridade apresentaram pequenas variações, sendo que, em média, 74,7% ($s = 3,3\%$), 74,4% ($s = 3,6\%$) e 74,8% ($s = 5,9\%$) foram favoráveis ao uso da técnica, respectivamente;
- A percentagem de entrevistados que consumiriam produtos agrícolas irrigados com água residuária em função do sexo, faixa etária e nível de escolaridade também apresentaram pequenas variações, sendo que, em média, 72,2% ($s = 5,8\%$), 71,3% ($s = 5,2\%$) e 73,0% ($s = 10,5\%$) responderam que fariam o consumo destes produtos, respectivamente;

- Os entrevistados que possuem pós-graduação, ou seja, têm maior grau de escolaridade e esclarecimento, foram as pessoas que se mostraram mais favoráveis ao uso da irrigação com água residuária (80,8%) e ao mesmo tempo responderam que consumiriam produtos irrigados com água residuária (86,5%). Este fato é importante, pois estas pessoas geralmente são formadoras de opinião na sociedade.
- Do cruzamento das respostas das questões “c” e “e” feitas aos entrevistados (Tabela 5.13), ou seja, cruzamento entre “O entrevistado é informado sobre uso da água residuária para irrigação na agricultura” x “O entrevistado compraria produtos irrigados com essa água”: obteve-se pelo teste de Qui-Quadrado, a 10% de significância, que existe evidência estatística para afirmar que os entrevistados informados sobre uso da água residuária são mais propensos a comprar produtos irrigados com essa água.

A questão identificada na Tabela 5.13 com a letra “e” foi desdobrada no questionário aplicado e, desta forma, outra pergunta foi realizada ao entrevistado em função da resposta da pergunta ser “sim” ou “não”. Quando a resposta foi sim, tentou-se identificar os produtos que o entrevistado compraria (Figura 5.6). Quando a resposta foi não, a pergunta realizada visou identificar o motivo (Figura 5.7). Foi realizada também uma pergunta para todos entrevistados visando identificar a sua reação, caso ele soubesse que está consumindo um produto agrícola (hortaliças, grãos e verduras) que usou água residuária e o vendedor do produto agrícola não comunicou-lhe devidamente esta informação (Figura 5.8).

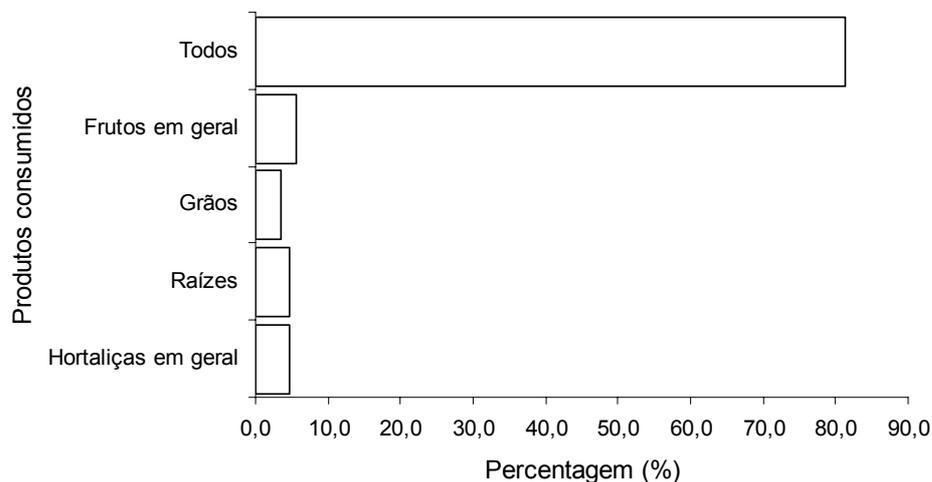


Figura 5.6 – Produtos que os entrevistados consumiriam nas feiras livres, sabendo que houve a utilização de água residuária na irrigação de culturas agrícolas

Os resultados apresentados na Figura 5.6 mostram que 81,3% dos entrevistados não têm aversão ao consumo dos produtos agrícolas que foram irrigados com água residuária. A percentagem de entrevistados que deixariam de consumir algum tipo de produto devido a

utilização de água residuária foi pequena: 4,8%, 4,8%, 3,5% e 5,7%, respectivamente, para hortaliças em geral, raízes, grãos e frutos em geral.

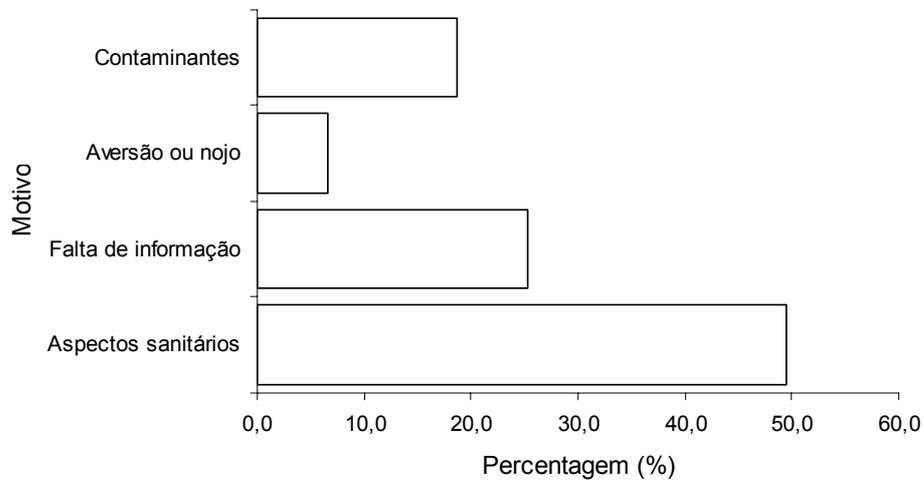


Figura 5.7 – Motivos apresentados pelos entrevistados nas feiras livres para não consumirem produtos agrícolas que utilizaram água residuária na irrigação

O aspecto sanitário (49,5%) e a falta de informação (25,3%) correspondem a 74,8% dos motivos apresentados pelos entrevistados nas feiras livres para não consumirem produtos agrícolas irrigados com água residuária. A presença de contaminantes foi indicada por 18,7% dos entrevistados e, o mais interessante, foi observar que apenas 6,6% dos entrevistados teriam como motivo para não consumir a aversão ou nojo. Esta informação é importante, pois uma vez convencido de que não existe risco a saúde, 93,4% dos entrevistados consumiriam, sem problemas, produtos agrícolas irrigados com água residuária (Figura 5.7).

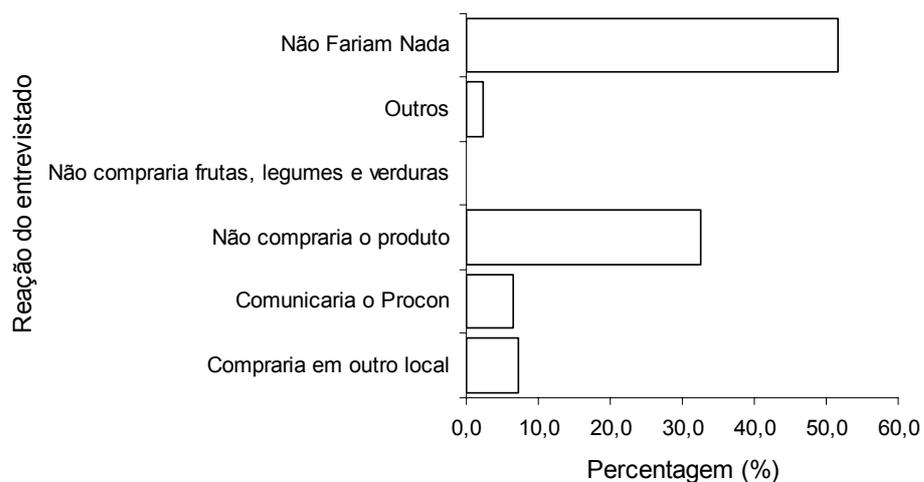


Figura 5.8 – Reação que o entrevistado nas feiras livres teria, caso soubesse que está consumindo um produto agrícola (hortaliças, grãos e verduras) que usou água residuária e o vendedor não comunicou-lhe devidamente a informação

Os resultados apresentados na Figura 5.8 são interessantes. É surpreendente, verificar que 51,6% dos entrevistados indicaram que não tomariam qualquer tipo de atitude se soubessem que estão consumindo um produto agrícola (hortaliças, grãos e verduras) que usou água residuária e não fosse informado pelo vendedor. Este fato mostra o quanto os consumidores estão desinformados sobre os seus direitos. Apenas 6,5% reclamaria ao PROCON, 32,5% não compraria o produto, 7,1% compraria em outro local e 2,3% utilizaria de outros meios.

5.4 LEVANTAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS (Etapa 4)

5.4.1 Tabulação, organização e análise dos dados de temperatura

A Tabela 5.15 apresenta, para os 37 decêndios ao longo do ano, as medidas de tendência e dispersão (menor e maior valor, média e desvio padrão) da temperatura média do ar, para as localidades de Pinhais e Lapa. As séries de dados meteorológicos foram obtidas junto ao Instituto Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e foram tabuladas através de uma planilha eletrônica. É importante observar que os dados climáticos da cidade de Curitiba não foram utilizados devido a estação climatológica possuir uma série pouco representativa, com apenas 7 anos de dados coletados. Os valores de temperatura das localidades de Pinhais e Lapa foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência decendial (ET_o) pelo método de THORNTHWAITE (1948). A Figura 5.9 apresenta as medias decendiais da temperatura média do ar, para as localidades de Pinhais e Lapa.

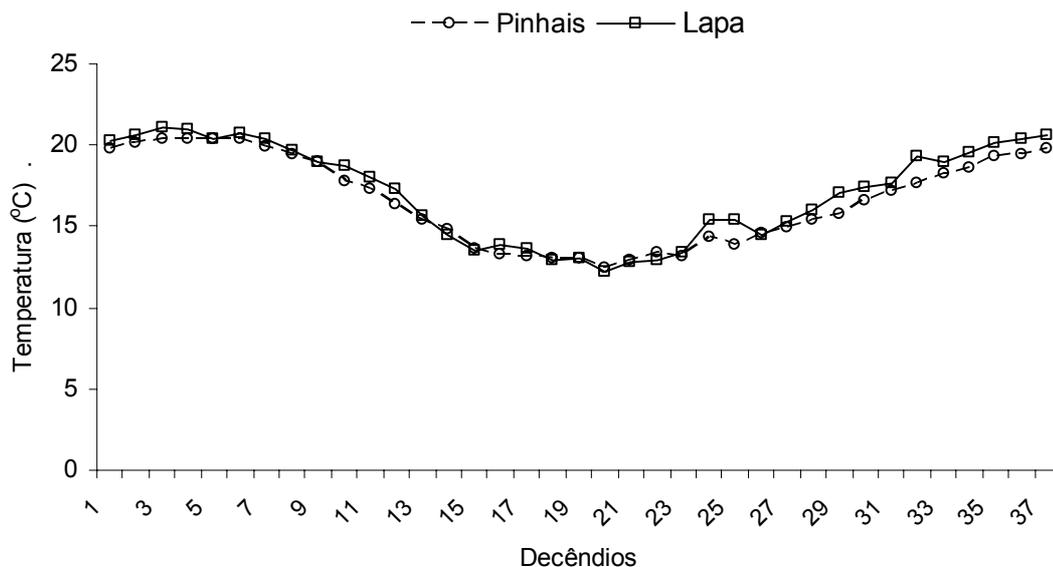


Figura 5.9 – Valores de temperatura média do ar, agrupados em decêndios, para a região de Pinhais e Lapa

Tabela 5.15. Medidas de tendência e dispersão (menor e maior valor, média e desvio padrão) dos valores médios de temperatura do ar, agrupados em decêndios, para a região de Pinhais e Lapa

Unidade	Decêndio Período	Temperatura de Pinhais (°C)				Temperatura da Lapa (°C)			
		Menor valor	Maior valor	Média	Desvio padrão	Menor valor	Maior valor	Média	Desvio padrão
1	(01/01 a 10/01)	17,5	22,7	19,8	1,4	18,3	22,8	20,3	1,3
2	(11/01 a 20/01)	16,8	23,5	20,2	1,4	19,8	22,0	20,6	0,7
3	(21/01 a 30/01)	17,7	22,9	20,4	1,4	19,8	23,1	21,1	0,9
4	(31/02 a 09/02)	17,5	22,9	20,4	1,3	18,3	22,6	21,0	1,1
5	(10/02 a 19/02)	17,8	22,2	20,4	1,2	18,4	22,0	20,4	1,0
6	(20/02 a 01/03)	17,3	22,7	20,4	1,3	18,4	22,9	20,7	1,2
7	(02/03 a 11/03)	17,6	22,0	19,9	1,2	17,6	22,5	20,4	1,4
8	(12/03 a 21/03)	17,2	22,6	19,4	1,2	18,5	22,6	19,7	1,1
9	(22/03 a 31/03)	16,1	22,1	18,9	1,5	17,3	21,7	19,0	1,3
10	(01/04 a 10/04)	14,6	20,9	17,8	1,7	15,5	20,9	18,7	1,5
11	(11/04 a 20/04)	14,8	20,7	17,3	1,6	14,5	21,0	18,0	1,8
12	(21/04 a 30/04)	12,2	20,5	16,4	1,9	14,9	20,6	17,3	1,8
13	(01/05 a 10/05)	12,5	18,2	15,4	1,5	12,6	17,9	15,6	1,4
14	(11/05 a 20/05)	10,4	18,1	14,8	1,7	12,1	18,1	14,4	1,7
15	(21/05 a 30/05)	10,0	17,7	13,6	1,7	11,4	16,1	13,5	1,5
16	(31/05 a 09/06)	9,0	17,9	13,3	2,4	10,4	18,0	13,9	2,4
17	(10/06 a 19/06)	8,9	16,9	13,2	1,8	10,5	17,4	13,6	2,1
18	(20/06 a 29/06)	9,3	16,3	13,0	1,7	9,3	16,1	12,9	2,0
19	(30/06 a 09/07)	9,2	15,9	13,0	1,9	9,4	15,5	13,0	2,0
20	(10/07 a 19/07)	8,4	18,2	12,5	2,3	8,8	16,3	12,2	2,2
21	(20/07 a 29/07)	8,6	16,1	12,9	2,2	8,1	16,6	12,8	2,6
22	(30/07 a 08/08)	9,8	17,0	13,4	2,0	10,5	15,9	12,9	1,7
23	(09/08 a 18/08)	9,8	16,8	13,2	1,9	10,1	16,8	13,4	2,1
24	(19/08 a 28/08)	10,1	17,5	14,3	1,7	11,6	17,8	15,4	1,8
25	(29/08 a 07/09)	9,7	19,9	13,9	2,3	12,0	20,4	15,4	2,7
26	(08/09 a 17/09)	10,4	18,4	14,6	1,9	12,1	16,8	14,5	1,6
27	(18/09 a 27/09)	11,4	19,5	14,9	1,6	13,3	19,5	15,3	1,6
28	(28/09 a 07/10)	13,2	19,5	15,4	1,5	13,7	19,2	16,0	1,5
29	(08/10 a 17/10)	12,1	21,3	15,8	1,9	14,1	21,5	17,1	1,9
30	(18/10 a 27/10)	13,3	20,3	16,6	1,6	14,9	20,4	17,4	1,5
31	(28/10 a 06/11)	14,6	20,8	17,2	1,6	15,5	19,7	17,7	1,3
32	(07/11 a 16/11)	14,1	21,3	17,7	1,8	14,9	21,7	19,3	1,7
33	(17/11 a 26/11)	14,6	21,1	18,2	1,6	15,9	21,0	19,0	1,5
34	(27/11 a 06/12)	16,4	21,0	18,6	1,3	17,1	21,5	19,5	1,2
35	(07/12 a 16/12)	16,3	21,4	19,3	1,3	18,0	21,4	20,1	1,1
36	(17/12 a 26/12)	17,3	22,0	19,4	1,2	17,7	22,2	20,4	1,3
37	(27/12 a 31/12)	16,7	22,5	19,8	1,5	17,7	22,7	20,6	1,5
Média	decêndios	13,3	20,0	16,6	—	14,4	19,9	17,1	—

Como as cidades de Pinhais e Lapa encontram-se mais ou menos próximas, era de se esperar que os valores de temperatura não apresentassem tendências muito diferentes para as duas localidades. Em média, ao longo dos decêndios do ano: a cidade de Pinhais apresenta 16,6 °C de temperatura média, 20,0 °C de temperatura máxima e 13,3 °C de temperatura mínima; Lapa apresenta 17,1 °C de temperatura média, 19,9 °C de temperatura máxima e 14,4°C de temperatura mínima.

5.4.1.1 Evapotranspiração de referência provável

As Tabelas 5.16 e 5.17 e a Figura 5.10 apresentam, respectivamente para Pinhais e Lapa, os parâmetros estatísticos decendiais da ET_o obtidos nas análises de teste de aderência com o Módulo “Análise Estatística” do modelo *MORETTI*, a 5% de significância, e os valores de ET_o a 75% de probabilidade, obtidos com a distribuição de melhor ajuste. As estimativas da ET_o foram realizadas com o método de THORNTHWAITE (1948), ao longo do ano e da série de anos, empregando-se os valores médios de temperatura do ar.

Tabela 5.16. Parâmetros estatísticos decendiais da ET_o , obtidos nas análises de teste de aderência, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal (N), Triangular (T), Uniforme (U), Exponencial (E) e Gama (G), e cálculo da Evapotranspiração a 75% de probabilidade para Pinhais

Decêndios	Série (ano)	Menor Valor (mm)	Maior Valor (mm)	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Parâmetro Alfa	Parâmetro Beta	D_{max} Tabela 5%	D_{max} Calculado	Melhor Distribuição	ET_o Provável (mm)	
1	(01/01 a 10/01)	34	19,5	30,1	24,1	2,9	71,42	0,34	0,23	0,092	T	34,1
2	(11/01 a 20/01)	34	18,3	32,3	25,1	3,0	72,52	0,35	0,23	0,047	N	27,1
3	(21/01 a 30/01)	32	20,4	31,4	25,9	2,9	80,74	0,32	0,24	0,073	N	27,8
4	(31/02 a 09/02)	34	20,3	31,8	26,3	2,6	100,37	0,26	0,23	0,053	N	28,1
5	(10/02 a 19/02)	34	21,4	30,8	26,9	2,6	104,28	0,26	0,23	0,090	T	33,8
6	(20/02 a 01/03)	34	21,0	32,7	27,4	2,9	91,05	0,30	0,23	0,053	G	29,3
7	(02/03 a 11/03)	34	22,0	31,8	27,0	2,6	112,38	0,24	0,23	0,079	N	28,8
8	(12/03 a 21/03)	34	21,4	34,1	26,4	2,7	99,52	0,27	0,23	0,042	N	28,3
9	(22/03 a 31/03)	34	19,7	33,3	25,7	3,4	61,91	0,42	0,23	0,052	N	28,0
10	(01/04 a 10/04)	34	17,0	31,1	23,8	3,8	40,70	0,59	0,23	0,063	N	26,4
11	(11/04 a 20/04)	34	17,9	31,4	23,4	3,7	42,17	0,56	0,23	0,048	G	25,8
12	(21/04 a 30/04)	34	13,9	31,2	21,8	4,1	28,54	0,76	0,23	0,059	N	24,6
13	(01/05 a 10/05)	34	13,9	26,2	19,8	3,3	37,86	0,52	0,23	0,064	G	21,9
14	(11/05 a 20/05)	34	11,0	26,3	19,0	3,5	29,89	0,64	0,23	0,040	G	21,2
15	(21/05 a 30/05)	34	10,0	25,5	16,9	3,3	26,07	0,65	0,23	0,009	N	19,1
16	(31/05 a 09/06)	34	9,0	26,2	16,5	4,8	11,97	1,38	0,23	0,077	N	19,7
17	(10/06 a 19/06)	34	8,2	23,8	16,2	3,6	20,06	0,81	0,23	0,042	G	18,4
18	(20/06 a 29/06)	34	9,7	23,5	15,9	3,3	22,08	0,72	0,23	0,096	N	18,1
19	(30/06 a 09/07)	34	8,9	21,6	15,9	3,7	17,49	0,91	0,23	0,090	N	18,4
20	(10/07 a 19/07)	34	7,5	27,4	14,9	4,4	12,54	1,19	0,23	0,072	G	17,5
21	(20/07 a 29/07)	34	7,7	21,7	15,4	4,1	13,08	1,18	0,23	0,083	N	18,2
22	(30/07 a 08/08)	34	9,5	23,5	16,1	3,8	18,64	0,86	0,23	0,051	G	18,5
23	(09/08 a 18/08)	34	10,3	23,3	15,7	3,5	21,16	0,74	0,23	0,076	G	17,9
24	(19/08 a 28/08)	34	10,2	23,7	17,4	3,3	26,52	0,65	0,23	0,071	N	19,6
25	(29/08 a 07/09)	34	9,0	28,9	16,4	4,6	14,54	1,13	0,23	0,097	G	19,1
26	(08/09 a 17/09)	34	9,6	24,8	17,2	3,6	22,63	0,76	0,23	0,072	N	19,7
27	(18/09 a 27/09)	34	11,2	27,3	17,4	3,3	31,28	0,56	0,23	0,097	G	19,4
28	(28/09 a 07/10)	34	14,0	26,3	18,0	3,0	40,02	0,45	0,23	0,077	G	19,8
29	(08/10 a 17/10)	34	11,6	29,7	18,4	3,8	25,73	0,71	0,23	0,027	G	20,7
30	(18/10 a 27/10)	34	13,5	26,7	19,3	3,1	40,92	0,47	0,23	0,064	N	21,4
31	(28/10 a 06/11)	34	15,2	27,3	20,1	3,0	47,01	0,43	0,23	0,064	N	22,1
32	(07/11 a 16/11)	34	14,2	28,0	20,8	3,5	35,60	0,59	0,23	0,035	G	23,1
33	(17/11 a 26/11)	34	13,9	27,1	21,3	3,1	45,93	0,46	0,23	0,074	G	23,3
34	(27/11 a 06/12)	34	17,5	26,5	21,9	2,4	84,77	0,26	0,23	0,048	N	23,5
35	(07/12 a 16/12)	34	17,3	27,2	23,0	2,6	76,66	0,30	0,23	0,059	N	24,7
36	(17/12 a 26/12)	34	19,1	28,6	23,1	2,5	90,80	0,25	0,23	0,039	G	24,7
37	(27/12 a 31/12)	34	9,1	17,7	12,6	2,0	40,88	0,31	0,23	0,05	G	13,8

Tabela 5.17. Parâmetros estatísticos decendiais obtidos nas análises de teste de aderência, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal (N), Triangular (T), Uniforme (U), Exponencial (E) e Gama (G), e cálculo da Evapotranspiração a 75% de probabilidade para Lapa

Decêndios	Série (ano)	Menor Valor (mm)	Maior Valor (mm)	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Parâ- metro Alfa	Parâ- metro Beta	D _{max} Tabela 5%	D _{max} Calcu- lado	Melhor Distri- buição	ET _o Provável (mm)	
1	(01/01 a 10/01)	16	20,5	30,0	24,7	2,8	86,20	0,29	0,34	0,077	N	26,6
2	(11/01 a 20/01)	15	23,8	28,5	25,6	1,4	362,46	0,07	0,32	0,083	G	26,5
3	(21/01 a 30/01)	16	24,1	31,5	27,1	2,0	201,27	0,13	0,34	0,113	N	28,4
4	(31/02 a 09/02)	16	21,5	30,9	27,3	2,5	126,63	0,22	0,34	0,093	N	29,0
5	(10/02 a 19/02)	16	22,3	30,1	26,4	2,2	155,56	0,17	0,34	0,046	N	27,9
6	(20/02 a 01/03)	16	22,7	33,1	27,7	2,7	113,91	0,24	0,34	0,041	G	29,4
7	(02/03 a 11/03)	16	21,5	32,7	27,7	3,1	80,65	0,34	0,34	0,055	N	29,8
8	(12/03 a 21/03)	16	23,8	33,6	26,7	2,7	109,71	0,24	0,34	0,114	G	28,3
9	(22/03 a 31/03)	16	21,7	32,1	25,5	3,0	80,36	0,32	0,34	0,052	G	27,4
10	(01/04 a 10/04)	16	18,4	30,7	25,4	3,4	57,16	0,44	0,34	0,077	N	27,7
11	(11/04 a 20/04)	16	17,5	31,6	24,4	3,9	40,85	0,60	0,34	0,062	N	27,0
12	(21/04 a 30/04)	16	17,7	31,1	23,2	4,1	35,32	0,66	0,34	0,080	G	25,7
13	(01/05 a 10/05)	16	13,6	24,8	19,8	2,9	45,88	0,43	0,34	0,077	T	21,1
14	(11/05 a 20/05)	16	12,7	25,5	17,5	3,5	27,83	0,63	0,34	0,056	G	19,6
15	(21/05 a 30/05)	16	11,6	21,1	15,9	2,9	33,44	0,48	0,34	0,083	G	17,7
16	(31/05 a 09/06)	16	10,1	25,8	17,1	4,9	12,86	1,33	0,34	0,117	N	20,3
17	(10/06 a 19/06)	15	10,5	24,5	16,4	4,3	16,37	1,00	0,32	0,090	N	19,2
18	(20/06 a 29/06)	15	9,2	22,3	15,2	3,7	17,02	0,89	0,32	0,070	N	17,7
19	(30/06 a 09/07)	15	9,3	21,0	15,5	3,8	16,19	0,96	0,32	0,113	N	18,0
20	(10/07 a 19/07)	15	9,3	21,9	13,8	4,0	14,27	0,97	0,32	0,102	G	16,1
21	(20/07 a 29/07)	15	7,4	22,2	15,0	4,6	9,52	1,57	0,32	0,128	N	18,1
22	(30/07 a 08/08)	15	10,6	20,3	14,8	3,1	24,65	0,60	0,32	0,073	G	16,7
23	(09/08 a 18/08)	15	9,2	22,2	15,4	4,1	15,43	1,00	0,32	0,078	G	17,9
24	(19/08 a 28/08)	15	11,7	23,8	19,0	3,5	27,74	0,68	0,32	0,119	N	21,3
25	(29/08 a 07/09)	15	12,4	29,8	18,8	5,6	12,36	1,52	0,32	0,106	G	22,0
26	(08/09 a 17/09)	15	12,1	20,9	16,5	3,0	31,98	0,52	0,32	0,033	U	18,7
27	(18/09 a 27/09)	15	14,0	26,9	17,6	3,2	37,63	0,47	0,32	0,177	N	19,8
28	(28/09 a 07/10)	15	14,4	25,3	18,4	3,0	41,74	0,44	0,32	0,136	G	20,3
29	(08/10 a 17/10)	15	14,4	29,9	20,4	4,1	28,57	0,71	0,32	0,039	G	22,8
30	(18/10 a 27/10)	14	15,7	26,6	20,4	2,9	51,87	0,39	0,34	0,028	N	22,4
31	(28/10 a 06/11)	15	16,5	24,6	20,6	2,6	67,57	0,31	0,32	0,055	N	22,4
32	(07/11 a 16/11)	14	15,0	28,6	23,5	3,3	46,45	0,51	0,34	0,139	N	25,7
33	(17/11 a 26/11)	15	16,6	26,5	22,4	3,1	55,23	0,40	0,32	0,133	G	24,3
34	(27/11 a 06/12)	15	18,4	27,2	23,2	2,3	101,06	0,23	0,32	0,067	T	24,2
35	(07/12 a 16/12)	15	19,9	26,9	24,2	2,2	124,62	0,19	0,32	0,109	G	25,6
36	(17/12 a 26/12)	15	19,2	28,5	24,7	2,8	81,17	0,30	0,32	0,080	N	26,6
37	(27/12 a 31/12)	15	9,8	17,6	13,2	2,2	38,90	0,34	0,32	0,036	N	14,7

Analisando-se os ajustamentos das distribuições de probabilidade aos dados de *ET_o* (Tabelas 5.16 e 5.17) verifica-se que:

- Para a série de dados de Pinhais, as distribuições Normal, Gama e Triangular, mostraram-se, respectivamente, ajustar bem aos dados de *ET_o* de 19, 16 e 2 decêndios. As distribuições Uniforme e Exponencial não foram melhores em nenhum ajustamento;

- Para a série de dados da Lapa, as distribuições Normal, Gama, Triangular e Uniforme, mostraram-se, respectivamente, ajustar bem aos dados de ET_0 de 19, 15, 2 e 1 decêndios. A distribuição Exponencial não foi melhor em nenhum ajustamento;
- Como era de se esperar, os valores decendiais da ET_0 têm tendência a se distribuírem normalmente (normal e gama). No entanto, mediante os resultados obtidos para as cinco distribuições de probabilidade analisadas no *MORETTI*, é importante observar que não se deve assumir sempre que os valores decendiais de ET_0 seguem uma distribuição Normal, pois para as duas localidades estudadas, aproximadamente, metade dos decêndios ajustaram-se a outras distribuições de probabilidade.

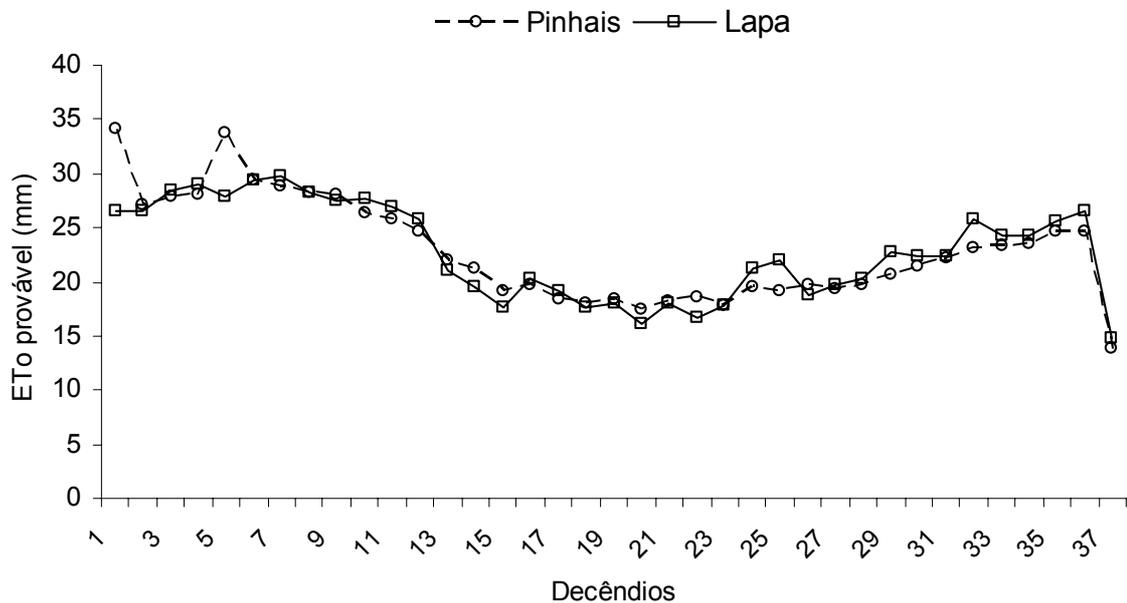


Figura 5.10 – Valores de evapotranspiração de referência (ET_0) a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para as cidades de Lapa e Pinhais

A Figura 5.11 apresenta o contraste entre os valores de evapotranspiração de referência (ET_0), média e a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para as cidades de Pinhais e Lapa.

Analisando-se a diferença (amplitudes) entre os valores de ET_0 médio e provável a 75% (Figura 5.11) ao longo dos decêndios do ano, para as cidades de Pinhais e Lapa, verifica-se que:

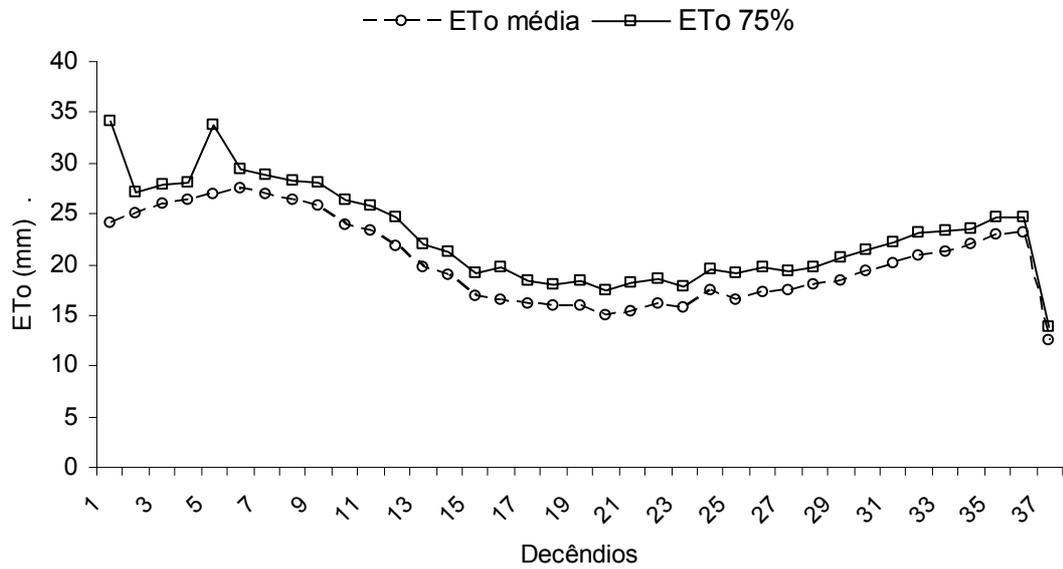
(a) Considerando os valores obtidos para Pinhais:

- A média das amplitudes dos valores de ETo ao longo do ano foi igual a 2,5 mm ($s = 1,5$ mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 12,6% ($s = 6,4\%$);
- A maior amplitude percentual ocorreu no decêndio 1 (01/01 a 10/01) e foi de 41,5% (10,0 mm). A menor amplitude ocorreu no decêndio 7 (02/03 a 11/03) e foi de 6,7% (1,8 mm)
- Os meses de janeiro e julho apresentam as maiores amplitudes percentuais, sendo iguais a 18,9% e 17,1%, respectivamente. Os meses de março e dezembro apresentam as menores amplitudes percentuais, sendo iguais a 7,6% e 7,8%, respectivamente;

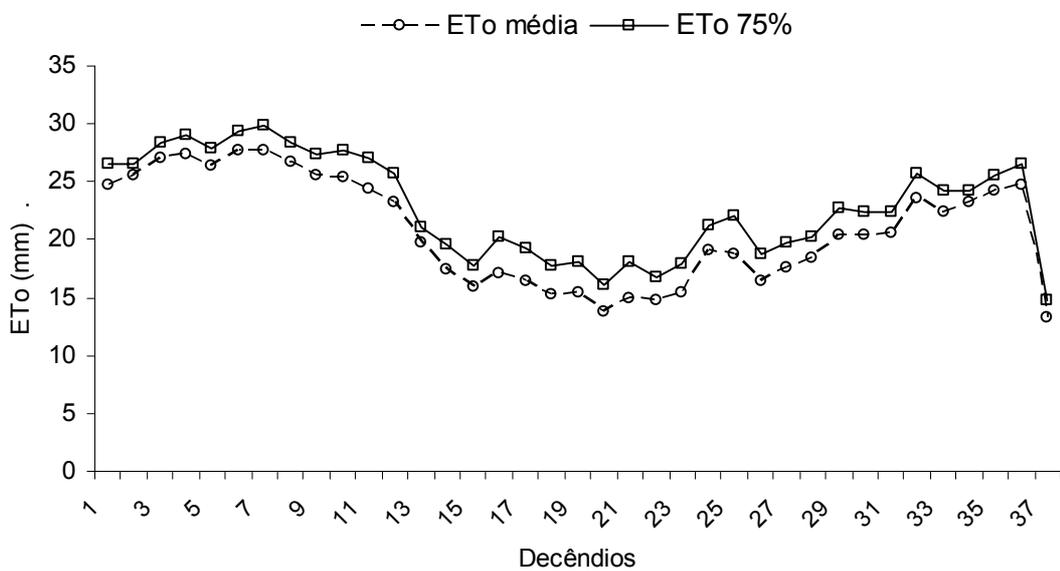
(b) Considerando os valores obtidos para Lapa:

- A média das amplitudes dos valores de ETo ao longo do ano foi igual a 2,1 mm ($s = 0,56$ mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 10,6% ($s = 4,42\%$);
- A maior amplitude percentual ocorreu no decêndio 21 (20/07 a 29/07) e foi de 20,7% (3,1 mm). A menor amplitude ocorreu no decêndio 2 (11/01 a 20/01) e foi de 3,5% (0,9 mm)
- Os meses de junho e julho apresentam as maiores amplitudes percentuais, sendo iguais a 17,4% e 17,8%, respectivamente. Os meses de janeiro e fevereiro apresentam as menores amplitudes percentuais, sendo iguais a 5,3% e 6,0%, respectivamente;

Embora a distribuição Triangular tenha se ajustado melhor aos valores de ETo dos decêndios 1 e 5 para Pinhais (Tabela 5.16) e decêndios 13 e 34 para Lapa (Tabela 5.17), mediante uma observação visual (Figura 5.11) das amplitudes da ETo , é interessante considerar que existem indícios que os valores de ETo prováveis a 75% estimados a partir da mesma possam estar discrepantes em relação aos estimados com as outras quatro distribuições empregadas nos demais decêndios.



(a)



(b)

Figura 5.11 – Valores de evapotranspiração de referência (ET_o), média e a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para cidades de (a) Pinhais e (b) Lapa

5.4.2 Tabulação, organização e análise dos dados de precipitação

A Tabela 5.18 apresenta, para os 37 decêndios ao longo do ano, as medidas de tendência e dispersão (menor e maior valor, média e desvio padrão) da precipitação, para as localidades de Pinhais e Lapa. A Figura 5.12 confronta as medidas de tendência (média menor e maior valor) obtidas nas duas localidades.

Tabela 5.18. Medidas de tendência e dispersão (menor e maior valor, média e desvio padrão) dos valores de precipitação, agrupados em decêndios, para a região de Pinhais e Lapa

Unidade	Decêndio Período	Precipitação em Pinhais (mm)				Precipitação na Lapa (mm)			
		Menor valor	Maior valor	Média	Desvio padrão	Menor valor	Maior valor	Média	Desvio padrão
1	(01/01 a 10/01)	0,2	251,6	58,5	56,2	9,6	156,9	65,3	48,2
2	(11/01 a 20/01)	5,7	200,1	59,0	42,0	7,2	192,0	66,3	54,1
3	(21/01 a 30/01)	2,8	204,6	68,8	43,8	4,9	164,7	67,8	48,8
4	(31/02 a 09/02)	0,2	137,8	56,3	40,3	6,2	111,5	46,9	29,0
5	(10/02 a 19/02)	5,9	138,5	56,0	39,3	27,4	123,8	76,6	24,4
6	(20/02 a 01/03)	1,9	145,9	48,2	34,8	2,8	129,3	57,2	39,6
7	(02/03 a 11/03)	4,7	124,6	43,8	33,3	10,2	107,9	53,7	33,7
8	(12/03 a 21/03)	1,1	110,2	37,6	32,1	0,8	121,8	36,5	34,0
9	(22/03 a 31/03)	0,7	174,6	38,9	34,9	0,2	145,2	48,7	48,3
10	(01/04 a 10/04)	0,8	96,9	26,2	24,9	3,2	107,4	33,5	26,4
11	(11/04 a 20/04)	0,2	131,6	32,9	28,2	5,8	76,8	32,3	23,6
12	(21/04 a 30/04)	1,0	87,5	21,3	21,9	0,2	186,4	30,8	50,4
13	(01/05 a 10/05)	0,2	114,8	30,8	34,8	0,3	128,9	26,4	34,7
14	(11/05 a 20/05)	0,1	136,5	35,4	38,4	2,7	124,5	41,3	35,2
15	(21/05 a 30/05)	0,9	121,3	31,7	33,7	0,4	224,5	31,2	54,9
16	(31/05 a 09/06)	0,4	88,2	30,0	26,7	0,6	131,8	42,4	42,4
17	(10/06 a 19/06)	0,4	105,9	32,1	28,0	0,3	76,0	31,7	24,9
18	(20/06 a 29/06)	0,1	186,2	40,1	43,8	0,2	180,9	52,7	50,9
19	(30/06 a 09/07)	0,2	150,4	47,2	39,6	0,4	135,1	55,2	49,8
20	(10/07 a 19/07)	0,4	98,8	25,2	30,6	0,4	80,0	30,6	29,1
21	(20/07 a 29/07)	0,1	123,0	28,4	33,4	0,4	129,3	37,9	44,8
22	(30/07 a 08/08)	0,1	93,2	24,9	26,7	6,0	119,8	42,9	33,6
23	(09/08 a 18/08)	0,1	154,6	28,0	35,5	0,9	125,8	30,7	38,2
24	(19/08 a 28/08)	0,1	122,9	27,3	32,4	0,3	138,3	42,8	44,1
25	(29/08 a 07/09)	0,1	134,7	33,2	31,1	0,1	71,2	26,4	24,2
26	(08/09 a 17/09)	0,1	114,8	40,8	33,0	0,5	190,9	54,4	50,5
27	(18/09 a 27/09)	0,3	152,8	44,0	37,3	0,2	177,1	57,9	54,6
28	(28/09 a 07/10)	0,4	162,1	47,7	41,1	6,0	152,0	63,2	49,8
29	(08/10 a 17/10)	2,0	85,0	34,9	22,0	2,3	102,8	44,5	29,9
30	(18/10 a 27/10)	2,2	102,7	45,7	27,8	0,8	95,7	44,3	25,5
31	(28/10 a 06/11)	0,8	100,1	36,4	24,9	0,4	142,8	34,1	37,0
32	(07/11 a 16/11)	0,5	128,2	41,9	27,9	1,0	81,8	34,9	22,8
33	(17/11 a 26/11)	0,3	99,5	36,4	29,2	1,0	109,8	37,3	29,7
34	(27/11 a 06/12)	1,2	127,0	39,6	29,3	1,1	82,8	34,2	23,0
35	(07/12 a 16/12)	7,2	161,1	44,7	34,5	11,2	104,7	50,9	30,3
36	(17/12 a 26/12)	2,1	201,1	52,0	41,0	3,8	104,2	33,8	29,7
37	(27/12 a 31/12)	0,2	120,6	27,7	30,6	0,4	58,0	28,5	20,9

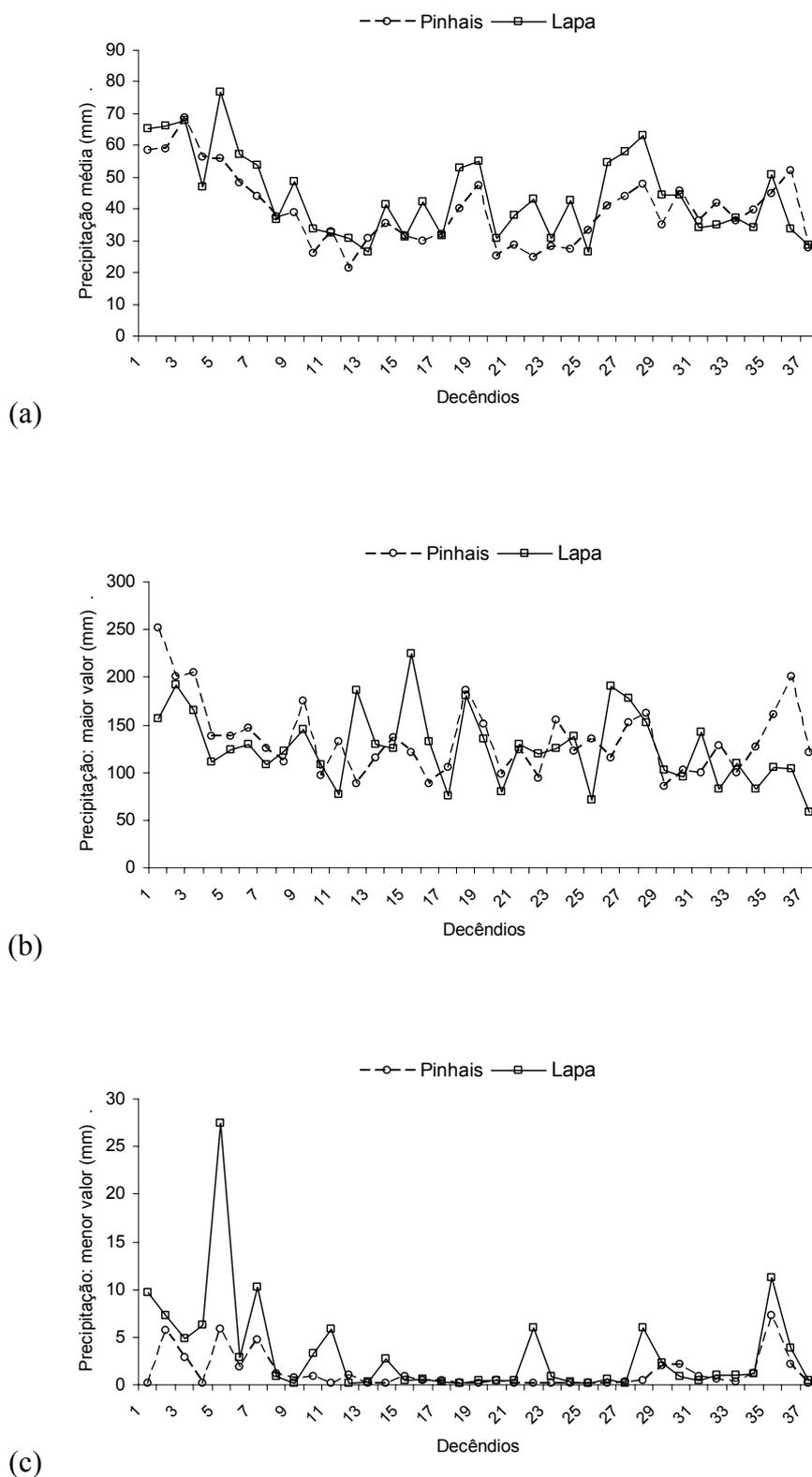


Figura 5.12 – Medidas dos valores de precipitação, agrupados em decênios, para a região de Pinhais e Lapa: (a) média; (b) maior valor e (c) menor valor

Devido à proximidade entre as cidades de Pinhais e Lapa os valores de precipitação ao longo dos decêndios não apresentaram tendências muito diferentes para as duas localidades. No entanto, diferente do que se verifica para a temperatura média dos decêndios, na região da Lapa chove mais do que na região de Pinhais. Em média, ao longo dos decêndios do ano, a cidade de Pinhais apresenta 39,9 mm ($s = 11,2$ mm) de precipitação média por decêndio, enquanto que a Lapa apresenta 43,9 mm ($s = 13,2$ mm). A amplitude média de precipitação entre os decêndios das duas localidades ao longo do ano é de 4,6 mm ($s = 8,4$ mm). Desta forma, muito embora não tenha sido analisada a precipitação e temperatura de outras localidades, é importante observar que a precipitação sofre maior variação que a temperatura, e os projetistas devem estar atentos para este fato no dimensionamento de projetos de irrigação para a Região Metropolitana de Curitiba.

5.4.2.1 Precipitação provável

As Tabelas 5.19 e 5.20 e Figura 5.13, apresentam os principais parâmetros estatísticos decendiais da precipitação, obtidos nas análises de teste de aderência com o módulo “Análise Estatística” do *MORETTI*, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal, Triangular, Uniforme, Exponencial e Gama. As referidas tabelas apresentam também os valores prováveis de precipitação a 75% de probabilidade, obtidos para as cidades de Pinhais e Lapa, a partir da distribuição de probabilidade de melhor ajuste nos testes de aderência.

Analisando-se os ajustamentos das distribuições de probabilidade aos dados de precipitação (Tabelas 5.19 e 5.20) e os valores de precipitação provável a 75% estimados (Tabelas 5.19 e 5.20 e Figura 5.13), verifica-se que:

- Para a série de dados de Pinhais, as distribuições Normal, Gama e Exponencial, ajustaram-se bem aos dados de precipitação de 7, 20 e 10 decêndios, respectivamente. A distribuição Triangular e Uniforme não foram melhores em nenhum ajustamento;
- Para a série de dados da Lapa, as distribuições Normal, Gama, Exponencial e Triangular, ajustaram-se bem aos dados de precipitação de 6, 19, 11 e 1 decêndios, respectivamente. A distribuição Uniforme não foi melhor em nenhum ajustamento;

Tabela 5.19. Parâmetros estatísticos decêndiais da precipitação, obtidos nas análises de teste de aderência, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal (N), Triangular (T), Uniforme (U), Exponencial (E) e Gama (G), e cálculo da precipitação a 75% de probabilidade para Pinhais

Decêndios	Série	Menor	Maior	Média	Desvio	Parâ-	Parâ-	D _{max}	D _{max}	Melhor	Prob.	Precip.
	(ano)	valor	valor	**	padrão	metro	metro	tabela	Calcu-	Distri-	Precip.	provável
	(ano)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	Alfa	Beta	5%	lado	buição	zero	75%
1 (01/01 a 10/01)	32	5,6	251,6	62,1	57,0	1,40	44,22	0,24	0,057	G	2,9	22,0
2 (11/01 a 20/01)	34	5,7	200,1	59,0	42,0	2,06	28,67	0,23	0,048	G	0,0	28,8
3 (21/01 a 30/01)	31	2,8	204,6	68,8	43,8	1,80	38,16	0,25	0,047	N	5,9	32,5
4 (31/02 a 09/02)	32	3,0	137,8	59,8	38,9	2,02	29,63	0,24	0,094	G	5,7	25,2
5 (10/02 a 19/02)	33	5,9	138,5	56,0	39,3	1,67	33,52	0,24	0,079	N	2,9	26,7
6 (20/02 a 01/03)	33	1,9	145,9	48,2	34,8	1,60	30,17	0,24	0,036	G	2,9	18,8
7 (02/03 a 11/03)	33	4,7	124,6	45,1	33,8	1,96	23,04	0,24	0,107	G	0,0	21,4
8 (12/03 a 21/03)	33	1,1	110,2	37,6	32,1	1,27	29,71	0,24	0,083	E	2,9	9,7
9 (22/03 a 31/03)	32	1,3	174,6	40,0	34,8	1,31	30,59	0,24	0,044	G	5,7	12,2
10 (01/04 a 10/04)	32	1,5	96,9	27,0	24,8	1,20	22,58	0,24	0,028	E	5,7	6,2
11 (11/04 a 20/04)	32	3,0	131,6	34,9	27,8	1,56	22,32	0,24	0,045	G	5,7	12,3
12 (21/04 a 30/04)	29	1,0	87,5	21,3	21,9	0,98	21,73	0,25	0,035	E	14,3	2,8
13 (01/05 a 10/05)	27	1,4	114,8	36,4	35,2	0,92	39,73	0,26	0,057	G	20,0	1,9
14 (11/05 a 20/05)	31	1,0	136,5	37,6	38,5	0,83	45,60	0,25	0,079	G	8,6	5,6
15 (21/05 a 30/05)	29	2,0	121,3	32,7	33,8	1,11	29,42	0,25	0,066	E	14,3	4,4
16 (31/05 a 09/06)	33	1,0	88,2	30,9	26,6	1,05	29,38	0,24	0,073	E	2,9	8,0
17 (10/06 a 19/06)	29	1,6	105,9	33,2	27,8	1,29	25,81	0,25	0,031	G	14,3	6,4
18 (20/06 a 29/06)	28	2,4	186,2	45,8	43,9	1,00	45,63	0,26	0,073	E	17,1	4,6
19 (30/06 a 09/07)	28	5,8	150,4	48,9	39,3	1,76	27,84	0,26	0,040	G	17,1	11,0
20 (10/07 a 19/07)	25	1,7	98,8	31,2	31,3	0,93	33,49	0,27	0,094	G	25,7	0,0
21 (20/07 a 29/07)	26	1,3	123,0	35,9	34,6	1,10	32,74	0,27	0,045	E	20,0	2,3
22 (30/07 a 08/08)	24	1,0	93,2	30,0	26,7	0,91	33,07	0,28	0,096	E	28,6	0,0
23 (09/08 a 18/08)	26	1,0	154,6	32,3	36,4	0,76	42,35	0,27	0,046	E	22,9	1,0
24 (19/08 a 28/08)	24	1,0	122,9	34,0	33,0	0,97	34,95	0,28	0,032	E	28,6	0,0
25 (29/08 a 07/09)	32	1,3	134,7	35,3	30,9	1,14	30,92	0,24	0,135	G	5,7	9,4
26 (08/09 a 17/09)	28	1,8	114,8	46,6	31,2	1,55	30,10	0,26	0,097	N	17,1	5,6
27 (18/09 a 27/09)	31	1,6	152,8	45,4	37,0	1,57	28,94	0,25	0,045	G	8,6	14,5
28 (28/09 a 07/10)	33	2,3	162,1	49,1	40,9	1,26	38,97	0,24	0,036	G	2,9	15,9
29 (08/10 a 17/10)	33	2,0	85,0	34,9	22,0	2,07	16,83	0,24	0,065	G	2,9	16,1
30 (18/10 a 27/10)	34	2,2	102,7	45,7	27,8	1,86	24,55	0,23	0,053	N	0,0	27,0
31 (28/10 a 06/11)	33	1,3	100,1	37,4	24,5	1,48	25,30	0,24	0,073	N	2,9	19,2
32 (07/11 a 16/11)	31	1,0	128,2	43,3	27,2	1,87	23,16	0,25	0,050	N	8,6	18,3
33 (17/11 a 26/11)	31	3,7	99,5	38,7	28,6	1,57	24,63	0,25	0,093	G	8,6	12,4
34 (27/11 a 06/12)	33	1,2	127,0	40,8	29,8	1,73	23,58	0,24	0,059	N	0,0	20,7
35 (07/12 a 16/12)	33	7,2	161,1	44,7	34,5	1,72	25,92	0,24	0,065	G	2,9	18,4
36 (17/12 a 26/12)	34	2,1	201,1	52,0	41,0	1,65	31,59	0,23	0,046	G	0,0	22,3
37 (27/12 a 31/12)	32	1,0	120,6	28,6	30,6	0,88	32,39	0,24	0,070	G	5,7	5,6

** Devido algumas distribuições de probabilidade, os valores de precipitação menores do que 1 mm foram considerados iguais a precipitação zero, alterando um pouco o valor da média de precipitação da série histórica

Tabela 5.20. Parâmetros estatísticos decêndiais da precipitação, obtidos nas análises de teste de aderência, a 5% de significância, com as distribuições de probabilidade Normal (N), Triangular (T), Uniforme (U), Exponencial (E) e Gama (G), e cálculo da precipitação a 75% de probabilidade para Lapa

Decêndios	Série	Menor	Maior	Média	Desvio	Parâ-	Parâ-	D _{max}	D _{max}	Melhor	Prob.	Precip.
	(ano)	valor	valor	**	padrão	metro	metro	tabela	Calcu-	Distri-	Precip.	provável
	(ano)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	Alfa	Beta	5%	lado	buição	zero	75%
											(%)	(mm)
1 (01/01 a 10/01)	16	9,6	156,9	65,3	48,2	1,77	36,90	0,34	0,084	G	0,0	29,3
2 (11/01 a 20/01)	15	7,2	192,0	66,3	54,1	1,40	47,30	0,32	0,037	G	5,9	21,2
3 (21/01 a 30/01)	16	4,9	164,7	67,8	48,8	1,51	44,94	0,34	0,085	G	0,0	27,5
4 (31/02 a 09/02)	15	6,2	111,5	46,9	29,0	2,14	21,93	0,32	0,112	G	5,9	20,4
5 (10/02 a 19/02)	16	27,4	123,8	76,6	24,4	8,88	8,62	0,34	0,044	N	0,0	60,1
6 (20/02 a 01/03)	16	2,8	129,3	57,2	39,6	1,47	38,87	0,34	0,097	N	0,0	30,5
7 (02/03 a 11/03)	15	10,2	107,9	53,7	33,7	2,25	23,86	0,32	0,115	G	5,9	24,0
8 (12/03 a 21/03)	15	2,8	121,8	38,9	33,8	1,20	32,31	0,32	0,077	G	5,9	10,8
9 (22/03 a 31/03)	14	2,0	145,2	55,6	47,7	1,11	50,17	0,34	0,107	E	11,8	9,0
10 (01/04 a 10/04)	15	3,2	107,4	33,5	26,4	1,79	18,73	0,32	0,033	G	5,9	12,9
11 (11/04 a 20/04)	15	5,8	76,8	32,3	23,6	1,91	16,89	0,32	0,098	E	5,9	7,3
12 (21/04 a 30/04)	12	2,0	186,4	35,9	53,0	0,80	44,76	0,38	0,077	G	23,5	0,3
13 (01/05 a 10/05)	11	1,2	128,9	33,5	36,2	0,95	35,34	0,40	0,128	E	29,4	0,0
14 (11/05 a 20/05)	13	2,7	124,5	41,3	35,2	1,21	34,12	0,36	0,068	E	17,6	3,9
15 (21/05 a 30/05)	14	1,2	224,5	35,6	57,6	0,72	49,14	0,34	0,063	G	11,8	3,3
16 (31/05 a 09/06)	13	1,2	131,8	45,7	42,3	0,88	51,62	0,36	0,066	E	17,6	4,3
17 (10/06 a 19/06)	14	3,3	76,0	33,9	24,3	1,47	23,03	0,34	0,095	N	6,3	13,5
18 (20/06 a 29/06)	12	2,2	180,9	61,5	49,8	1,34	45,98	0,38	0,096	E	18,8	4,9
19 (30/06 a 09/07)	13	2,4	135,1	59,4	49,2	1,14	51,94	0,36	0,141	E	12,5	9,2
20 (10/07 a 19/07)	12	1,0	80,0	33,1	28,9	1,04	31,74	0,38	0,108	G	18,8	2,9
21 (20/07 a 29/07)	14	3,4	129,3	40,6	45,2	0,86	47,37	0,34	0,095	G	6,3	7,4
22 (30/07 a 08/08)	11	6,0	119,8	42,9	33,6	1,72	24,95	0,40	0,059	G	25,0	0,0
23 (09/08 a 18/08)	10	2,2	125,8	36,6	39,3	0,94	39,02	0,42	0,072	G	31,3	0,0
24 (19/08 a 28/08)	10	3,0	138,3	51,3	43,6	1,05	48,77	0,42	0,069	E	31,3	0,0
25 (29/08 a 07/09)	11	4,1	71,2	31,2	23,3	1,72	18,20	0,40	0,119	E	25,0	0,0
26 (08/09 a 17/09)	14	8,1	190,9	58,2	50,1	1,62	35,93	0,34	0,100	G	6,3	20,7
27 (18/09 a 27/09)	13	7,9	177,1	66,7	53,4	1,86	35,97	0,36	0,076	G	12,5	20,8
28 (28/09 a 07/10)	15	6,0	152,0	63,2	49,8	1,54	41,08	0,32	0,081	E	0,0	18,2
29 (08/10 a 17/10)	15	2,3	102,8	44,5	29,9	1,52	29,26	0,32	0,073	G	0,0	18,1
30 (18/10 a 27/10)	14	11,5	95,7	47,4	23,4	4,15	11,40	0,34	0,108	N	6,3	27,7
31 (28/10 a 06/11)	14	2,4	142,8	36,5	37,1	1,17	31,10	0,34	0,045	G	6,3	9,7
32 (07/11 a 16/11)	15	1,0	81,8	34,9	22,8	1,63	21,37	0,32	0,052	N	0,0	19,5
33 (17/11 a 26/11)	15	1,0	109,8	37,3	29,7	1,24	29,99	0,32	0,091	N	0,0	17,3
34 (27/11 a 06/12)	15	1,1	82,8	34,2	23,0	1,69	20,29	0,32	0,112	G	0,0	14,9
35 (07/12 a 16/12)	15	11,2	104,7	50,9	30,3	2,72	18,70	0,32	0,105	G	0,0	28,2
36 (17/12 a 26/12)	14	3,8	104,2	33,8	29,7	1,27	26,52	0,34	0,084	E	6,3	7,5
37 (27/12 a 31/12)	12	3,8	58,0	33,2	18,7	2,14	15,49	0,38	0,100	U	18,8	8,0

** Devido algumas distribuições de probabilidade, os valores de precipitação menores do que 1 mm foram considerados iguais a precipitação zero, alterando um pouco o valor da média de precipitação da série histórica

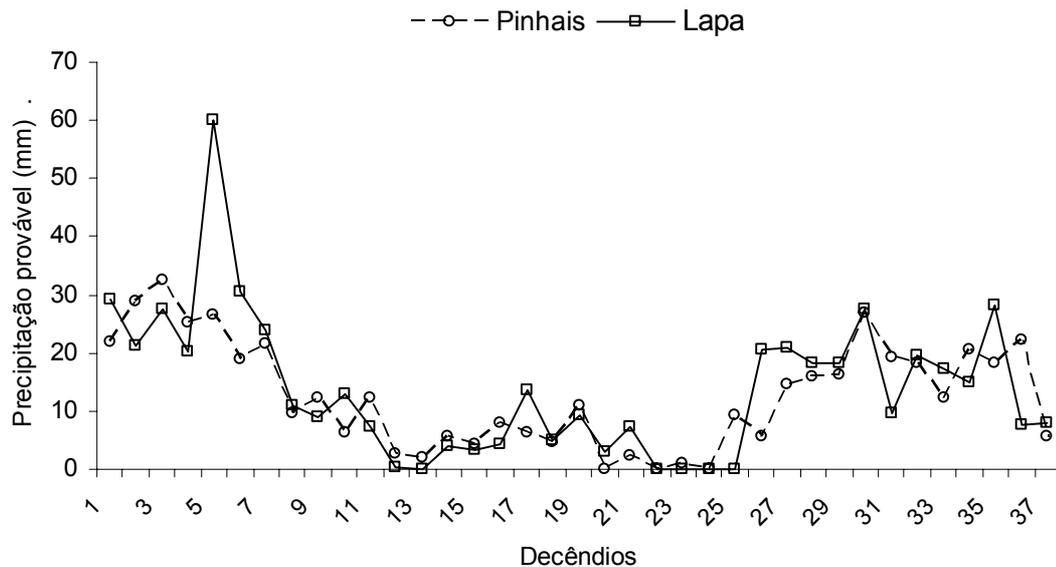
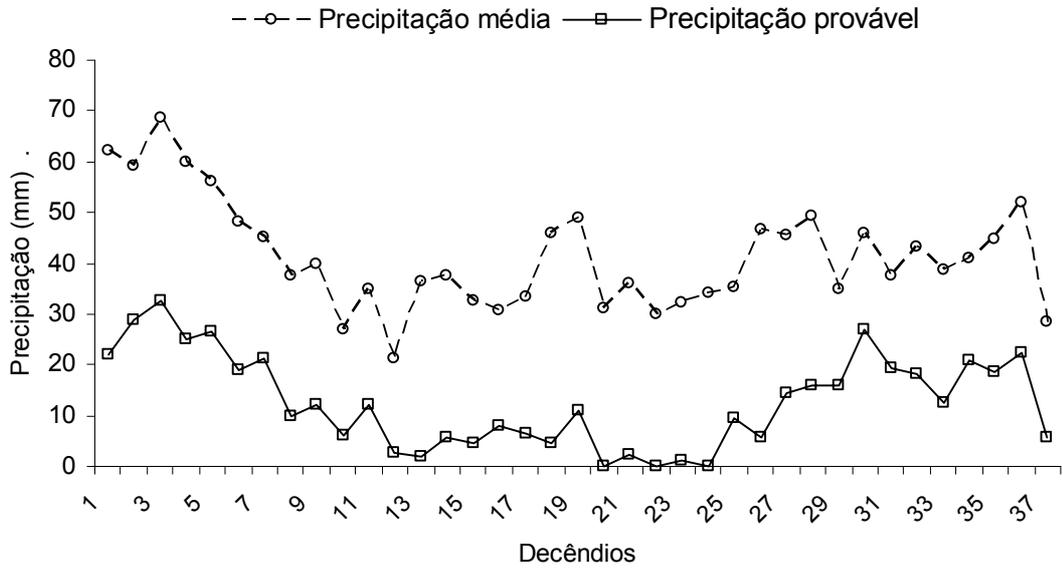


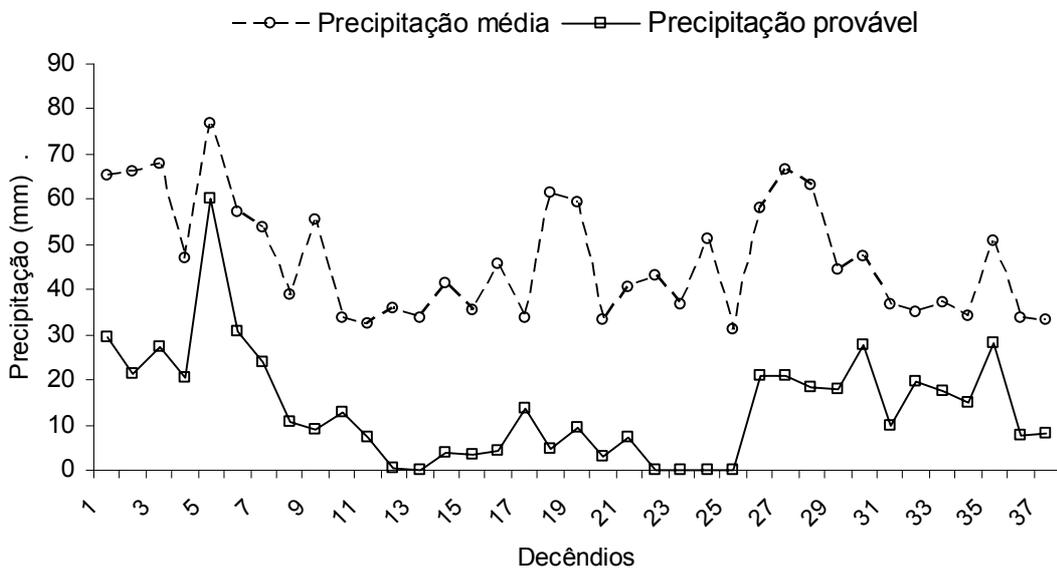
Figura 5.13 – Valores de precipitação a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para cidades de Lapa e Pinhais

- Como era esperado, os valores decêndiais da precipitação tendem para a distribuição Gama. No entanto, mediante os resultados obtidos para as cinco distribuições de probabilidade analisadas no *MORETTI*, é importante observar novamente, assim como foi comentado para *ETo*, que não se deve assumir sempre que os valores decêndiais de precipitação seguem a uma distribuição Gama, pois para as duas localidades estudadas, aproximadamente a metade dos decêndios ajustaram-se a outras distribuições de probabilidade.
- Em média, ao longo dos decêndios do ano: a cidade de Pinhais apresenta precipitação média provável a 75% ao longo do ano igual a 12,7 mm ($s = 9,2$ mm), enquanto que a Lapa apresenta 13,9 mm ($s = 12,4$ mm). A amplitude média de precipitação provável a 75% entre os respectivos decêndios das duas localidades (Figura 5.13) é de 1,2 mm ($s = 8,2$ mm).

A Figura 5.14 apresenta um contraste entre os valores de precipitação, média e a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para as cidades de Pinhais e Lapa.



(a)



(b)

Figura 5.14 – Valores de precipitação, média e a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para cidades de (a) Pinhais e (b) Lapa

Analisando-se a diferença (amplitudes) entre os valores de precipitação média e provável a 75% (Figura 5.14) ao longo dos decêndios do ano, para as cidades de Pinhais e Lapa, verifica-se que:

(a) Considerando os valores obtidos para Pinhais:

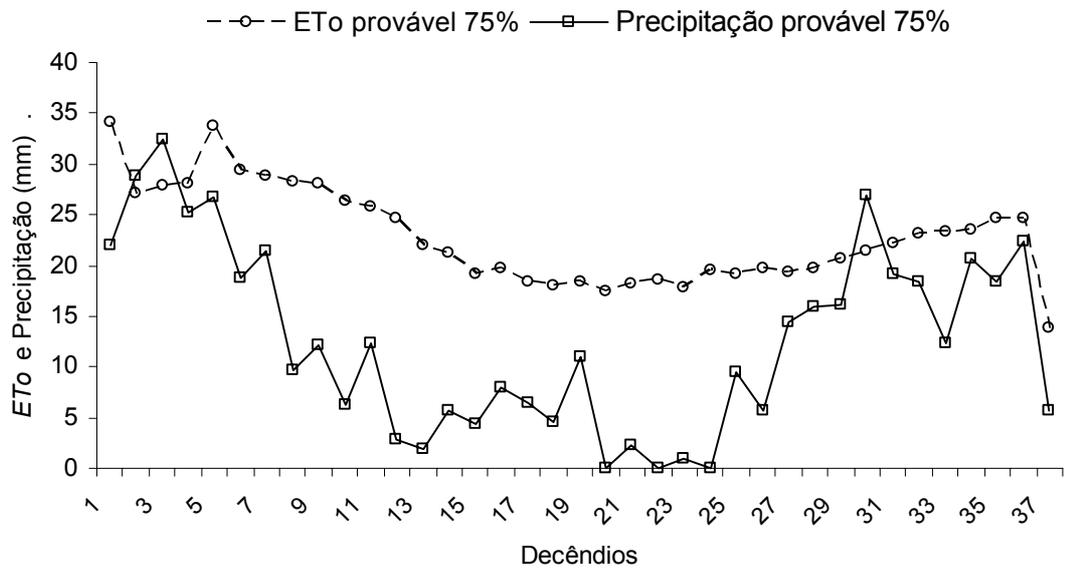
- A média das amplitudes dos valores de precipitação ao longo do ano foi igual a 28,7 mm ($s = 6,4$ mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 71,8% ($s = 17,0\%$);
- As maiores amplitudes ocorreram nos decêndios 1 (01/01 a 10/01), 18 (20/06 a 29/06) e 26 (08/09 a 17/09) e foram iguais a 40,1 mm, 41,2 mm e 41,0 mm, respectivamente. A menor amplitude ocorreu em vários decêndios e ficou em torno de 18,0 mm;
- Os meses de janeiro e julho apresentam as maiores amplitudes, sendo iguais a 35,5 mm e 34,2 mm, respectivamente. Os meses de abril, outubro, novembro e dezembro apresentam as menores amplitudes, sendo iguais a 20,6 mm, 23,6 mm, 23,2 mm e 24,8 mm, respectivamente;

(b) Considerando os valores obtidos para Lapa:

- A média das amplitudes dos valores de precipitação ao longo do ano foi igual a 32,5 mm ($s = 10,6$ mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 72,2% ($s = 20,2\%$);
- A maior amplitude ocorreu no decêndio 18 (20/06 a 29/06) com valor igual a 56,6 mm. As menores amplitudes ocorreram nos decêndios 5 (10/02 a 19/02) e 32 (07/11 a 16/11) e foram iguais 16,5 mm e 15,4 mm, respectivamente;
- Os meses de janeiro e agosto apresentam as maiores amplitudes, sendo iguais a 40,5 mm e 43,6 mm, respectivamente. Os meses de novembro, dezembro e fevereiro apresentam as menores amplitudes, sendo iguais a 20,7 mm, 23,4 mm e 23,2 mm, respectivamente.

5.4.3 Contraste entre evapotranspiração e precipitação provável

A Figura 5.15 apresenta o contraste entre os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) e precipitação a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Uniforme), para as cidades de Pinhais e Lapa.



Analisando-se a diferença (amplitudes) entre os valores de *ET_o* provável a 75% e precipitação provável a 75% (Figura 5.15) ao longo dos decêndios do ano, para as cidades de Pinhais e Lapa, verifica-se que:

(a) Considerando os valores obtidos para Pinhais:

- A média das amplitudes ao longo do ano foi igual a 10,2 mm ($s = 7,1$ mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 48,3% ($s = 34,9\%$);
- As maiores amplitudes ocorreram entre os decêndios 8 e 13 (12/03 a 10/05) e 20 a 24 (10/07 a 28/08) e foram, em média iguais a 18,3 mm e 17,7 mm, respectivamente. Este fato indica que é nos meses de março, abril, maio, julho e agosto que se têm maior possibilidade de ocorrer deficiência hídrica às plantas. O decêndio 12 (21/04 a 30/04) apresentou a maior amplitude (21,8 mm), indicando que este período deve ser analisado com maior cuidado pelos projetistas para dimensionar os sistemas de irrigação;
- As menores amplitudes ocorreram nos decêndios 2 (11/01 a 20/01), 3 (21/01 a 30/01) e 30 (18/10 a 27/10) e foram negativas, ou seja, a precipitação provável foi maior do que a *ET_o* provável. Desta forma, a 75% de probabilidade, este período não deverá sofrer problemas de deficiência hídrica, mas dependendo do tipo de solo, poderá promover saturação do solo;
- Os meses de março e agosto apresentam as maiores amplitudes, sendo iguais a 18,5 mm e 18,3 mm, respectivamente. Os meses de outubro e janeiro apresentam as menores amplitudes, sendo iguais a 1,0 mm e 1,9 mm, respectivamente;

(b) Considerando os valores obtidos para Lapa:

- A média das amplitudes ao longo do ano foi igual a 9,0 mm ($s = 10,7$ mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 42,6% ($s = 46,2\%$);
- As maiores amplitudes ocorreram entre os decêndios 8 e 16 (12/03 a 09/06) e 22 a 25 (30/07 a 07/09) e foram, em média iguais a 18,1 mm e 19,5 mm, respectivamente. Para Lapa, o mês de junho mostrou-se mais propenso a causar deficiências hídricas que o mês de julho, como se verificou para Pinhais. O decêndio 12 (21/04 a 30/04) apresentou a maior amplitude (25,4 mm), confirmando que este período deve realmente ser analisado com maior cuidado pelos projetistas ao dimensionar sistemas de irrigação;
- As amplitudes negativas, ou seja, onde a precipitação provável foi maior do que a *ET_o* provável, ocorreram nos decêndios 1 (01/01 a 10/01), 5 e 6 (10/02 a 01/03), 26 e 27 (08/09 a 27/09) e 35 (07/12 a 16/12), indicando não haver problemas de deficiência hídrica;
- Assim como ocorreu para Pinhais, os meses de março e agosto também apresentam as maiores amplitudes, sendo iguais a 20,0 mm e 18,6 mm, respectivamente. Os meses de

fevereiro e outubro apresentam as menores amplitudes, sendo iguais a – 8,2 mm e 0,5 mm, respectivamente;

É importante observar que as considerações feitas nos Itens 5.4.3 “a” e “b” foram realizadas para as amplitudes entre a precipitação e a *ET_o* provável para as duas localidades. Na realização de projetos de irrigação é sempre mais consistente analisar as amplitudes considerando a evapotranspiração da cultura (*ET_c*), sendo necessário, evidentemente, o conhecimento prévio da área e das prováveis culturas que se pretende irrigar ao longo do ano.

5.5 ESTUDO DE CASO: LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM DUAS LOCALIDADES DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (Etapa 5)

A realização desta etapa visou o levantamento de parâmetros físico-hídricos do solo para que se pudesse, mediante a realização de um balanço hídrico climatológico irrigacionista, obter informações referentes à evapotranspiração de algumas culturas, irrigação necessária, evapotranspiração real verificada na região, deficiência e excedente. No entanto, levando-se em consideração as informações dispostas em itens anteriores, tais como, tipo e declividade do solo e principalmente perspectivas agrícolas existentes ao redor das ETEs, optou-se por realizar esse levantamento em duas localidades apenas, próximas, respectivamente, à ETEs Cambuí e Colombo:

- (a) ETE Cambuí, localizada em Campo Largo: foi escolhida por estar situada em uma área rural e por estar em processo de certificação pela International Organization for Standardization (ISO 14000) que é uma norma que especifica requisitos para a adoção de um sistema de qualidade, levando a organização a ter a capacidade de fornecer produtos e serviços satisfatórios a comunidade. Essa ETE está procurando operar com as normas da ISO para obter a certificação ISO 14001 - Sistema de Gestão Ambiental, isto é, de não agressão ao meio ambiente. A ETE está operando com 50% de sua capacidade e está gerando uma média de 180 m³/hora de efluente tratado. Está localizada numa classe de solo denominado de Argissolo, mas existem outras classes de solos na região, com uma topografia que varia desde suave ondulado até forte ondulado, podendo ser cultivado grãos, milho, feijão, fruticultura, entre outros;
- (b) ETE Colombo Sede, localizada no município de Colombo: também foi escolhida por estar próxima da área rural. Atualmente ela encontra-se operando com 8,3% de sua capacidade e realizando um tratamento de 9,84 m³/h de efluente. Esta situada sobre

uma classe predominante de solo denominado de Cambissolo, possuindo topografia forte ondulada, variando de ondulado a suave ondulado, podendo ser cultivada com olerícolas.

As ETEs Atuba Sul, Belém, CIC Xisto, Padilha Sul e Santa Quitéria, são as cinco maiores ETEs da Região Metropolitana de Curitiba (porte e capacidade de tratamento), porém, foram desconsideradas do levantamento principalmente por estarem localizadas dentro de uma área possuindo maior concentração urbana e disponibilizar evidentemente de menor área agricultável. A Figura 5.16 apresenta a localização destas ETEs dentro da cidade de Curitiba. As ETEs Menino Deus e Cachoeira foram descartadas pelo mesmo motivo, porém encontrando-se situadas em Quatro Barras e Araucária, respectivamente. A ETE Lapa foi descartada devido à distância em que se encontra da cidade de Curitiba. Este fato geraria inúmeras dificuldades para realização do levantamento. No entanto, é necessário enfatizar que esta ETE possui um excelente potencial para fornecimento de água residuária para a realização da irrigação na região.

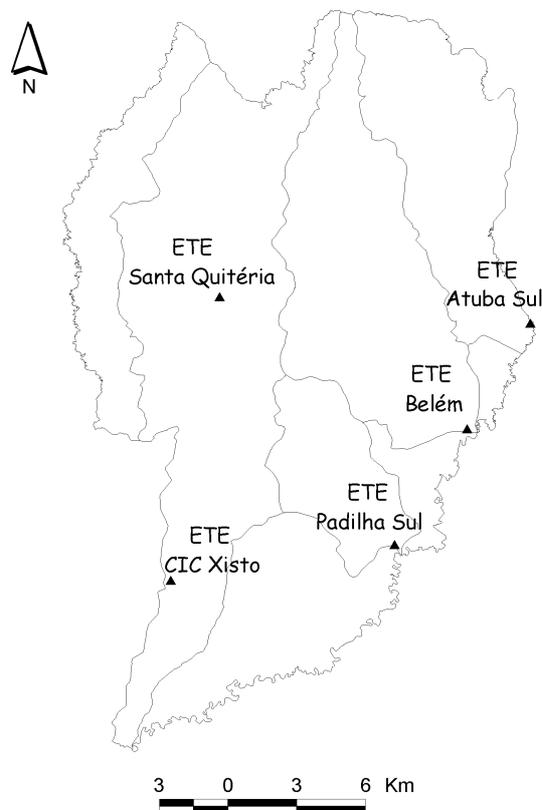


Figura 5.16 – Localização das ETEs Atuba Sul, Belém, CIC Xisto, Padilha Sul e Santa Quitéria, que correspondem as cinco maiores ETEs da Região Metropolitana de Curitiba devido ao porte e capacidade de tratamento

5.5.1 Determinação dos parâmetros para estimar o armazenamento de água no solo

A Tabela 5.21 apresenta os valores de argila, silte e areia total, obtidos da análise granulométrica realizada para duas propriedades localizadas nos municípios de Campo Largo e Colombo, nas profundidades entre 0 e 40 cm. A Tabela 5.22 apresenta os valores de densidade aparente do solo, determinada nas profundidades entre 0 e 10 cm, nas mesmas propriedades e local onde as amostras para análise granulométrica foram retiradas.

Tabela 5.21. Granulometria do solo, determinada nas profundidades entre 0 e 40 cm, para duas propriedades localizadas nos municípios de Campo Largo e Colombo

Municípios	Profundidade (cm)	Argila (%)	Areia Total (%)	Silte (%)
Campo Largo I	0 – 20	24,00	60,24	15,76
Campo Largo I	20 – 40	32,00	52,24	15,76
Campo Largo II	0 – 20	36,00	46,03	17,97
Campo Largo II	20 – 40	36,00	46,13	17,87
Colombo I	0 – 20	52,00	15,16	32,84
Colombo I	20 – 40	56,00	14,84	29,16
Colombo II	0 – 20	36,00	31,01	32,99
Colombo II	20 – 40	44,00	28,76	27,24

De acordo com o triângulo de classes de textura proposto pela EMBRAPA (1999), a granulometria das amostras retiradas das propriedades situadas em Campo Largo (Tabela 5.21), evidenciam a presença de solos possuindo textura média a argilosa. Já os resultados obtidos com as amostras das propriedades situadas em Colombo (Tabela 5.21) evidenciam a presença de solos de textura argilosa. Desta forma, os solos amostrados em Campo Largo e Colombo são mais propícios para implantação de sistemas de irrigação por sulcos, aspersão e gotejamento. Porém, a irrigação por sulcos é limitante nestas regiões devido a topografia, que pode variar de suave ondulado, ondulado a fortemente ondulado, indicado que as práticas irrigacionistas por aspersão ou gotejamento são mais apropriadas.

Tabela 5.22. Densidade aparente do solo determinada nas profundidades entre 0 e 10 cm, para as duas propriedades localizadas nos municípios de Campo Largo e Colombo

Municípios	Profundidade (cm)	Densidade (g/cm ³)
Campo Largo I	0 – 5	1,25
Campo Largo I	5 – 10	1,26
Campo Largo II	0 – 5	1,08
Campo Largo II	5 – 10	1,41
Colombo I	0 – 5	1,10
Colombo I	5 – 10	1,03
Colombo II	0 – 5	1,05
Colombo II	5 – 10	1,05

Os valores de densidade aparente apresentados na Tabela 5.22 confirmam os resultados obtidos nas análises granulométricas. De acordo com REICHARDT (1996), as densidades dos solos argilosos variam entre 0,9 a 1,6 g/cm³. Os solos amostrados nas propriedades situados em Campo Largo mostraram uma granulometria fina, possuindo densidade média de 1,25 g/cm³, e os solos das propriedades situadas em Colombo apresenta densidade aparente média de 1,06 g/cm³.

Os valores apresentados nas Tabelas 5.21 e 5.22 aliados ao valor de densidade de partícula, considerado igual a 2,65 g/cm³ (PREVEDELLO, 2002), foram importantes para realizar a estimativa dos parâmetros da equação de VAN GENUCHTEN (1980), que foram obtidos com o auxílio do programa *SPLINTEX* (Tabela 5.23).

Tabela 5.23. Estimativa dos parâmetros da equação de VAN GENUCHTEN (1980), obtidos com o auxílio do programa *SPLINTEX*, a partir da densidade e granulometria do solo

Municípios	Profundidade (cm)	Parâmetros da equação de VAN GENUCHTEN (1980)				
		α (cm ⁻¹)	θ_{saturado} (cm ³ /cm ³)	θ_{residual} (cm ³ /cm ³)	n (adimensional)	m (adimensional)
Campo Largo I	0 - 20	0,03240	0,5188	0,1274	2,3169	0,5684
Campo Largo I	20 - 40	0,02458	0,5157	0,1705	2,5102	0,6016
Campo Largo II	0 - 20	0,02154	0,5547	0,2062	2,6074	0,6165
Campo Largo II	20 - 40	0,02106	0,5163	0,1923	2,6377	0,6209
Colombo I	0 - 20	0,00524	0,5743	0,0548	1,3537	0,2613
Colombo I	20 - 40	0,00795	0,5131	0,2946	2,9125	0,6566
Colombo II	0 - 20	0,01044	0,5900	0,2260	2,9196	0,6575
Colombo II	20 - 40	0,01107	0,5129	0,2346	2,8471	0,6488

A Tabela 5.24 apresenta os valores de capacidade de campo (*CC*), ponto de murcha permanente (*PMP*), capacidade de água disponível no solo (*CAD*) e água disponível no solo (*AD*), determinada considerando uma fração *p* igual a 0,4 (*AD*_{0,4}), 0,5 (*AD*_{0,5}) e 0,6 (*AD*_{0,6}), para as propriedades analisadas no município de Campo Largo e Colombo. É interessante observar nos cálculos, que: (a) os valores de capacidade de campo (*CC*) e ponto de murcha permanente (*PMP*) foram determinados a partir da equação de VAN GENUCHTEN (1980) adotando-se potencial mátrico da água no solo igual a 100 cm de coluna d'água para capacidade de campo (*CC*) e 15.000 cm de coluna d'água para o ponto de murcha permanente (*PMP*); (b) na determinação da *CAD* foi considerado uma profundidade efetiva do sistema radicular (*z*) de 40 cm, visto que grande parte das culturas apresentam o sistema radicular efetivo em torno desta camada de solo; (c) utilizou-se um valor da fração *p* igual a 0,4 para estimar a água disponível (*AD*) para verduras e legumes, 0,5 para frutas e forrageiras, e 0,6 para grãos e algodão.

Tabela 5.24. Capacidade de campo (*CC*), ponto de murcha permanente (*PMP*), capacidade de água disponível no solo (*CAD*) e água disponível no solo (*AD*), determinada considerando uma fração *p* igual a 0,4 (*AD_{0,4}*), 0,5 (*AD_{0,5}*) e 0,6 (*AD_{0,6}*), para o município de Campo Largo e Colombo

Municípios	Profundidade (cm)	CC (θ_{100}) (cm^3/cm^3)	PMP (θ_{15000}) (cm^3/cm^3)	CAD (mm)	AD _{0,4} (mm)	AD _{0,5} (mm)	AD _{0,6} (mm)
Campo Largo I	0 – 20	0,2076	0,1275	16,03	6,41	8,02	9,62
Campo Largo I	20 – 40	0,2541	0,1705	16,71	6,68	8,36	10,03
Campo Largo II	0 – 20	0,3000	0,2062	18,77	7,51	9,38	11,26
Campo Largo II	20 – 40	0,2804	0,1923	17,63	7,05	8,82	10,58
Colombo I	0 – 20	0,5290	0,1656	72,68	29,07	36,34	43,61
Colombo I	20 – 40	0,4611	0,2946	33,30	13,32	16,65	19,98
Colombo II	0 – 20	0,4471	0,2260	44,22	17,69	22,11	26,53
Colombo II	20 – 40	0,3951	0,2346	32,10	12,84	16,05	19,26

Os resultados apresentados da Tabela 5.24, permitem verificar que:

- Até a profundidade de 40 cm, os Latossolos presentes nas propriedades Colombo II, Campo Largo I e Campo Largo II, apresentaram valor de *CAD* igual a 76,32 mm, 32,74 mm e 36,40 mm, respectivamente. O Cambissolo da propriedade Colombo I apresentou um valor de *CAD* igual a 105,98 mm.

A capacidade de água disponível do solo (*CAD*) deve-se a uma série de características do solo e, dependendo do manejo agrícola a qual este solo é imposto, a *CAD* pode ter o seu valor alterado ainda mais em função de uma série de outros fatores. Desta forma, é difícil tentar comparar os valores de armazenamento obtido neste trabalho com os obtidos por outros autores em locais diferentes do que estão sendo pesquisado. Desta forma, só para se ter um parâmetro sobre os valores de *CAD* apresentados na Tabela 5.24, verificou-se que: os Latossolos de Campo Largo I e II apresentaram, respectivamente, valores de *CAD* 8,8 mm e 12,5 mm maiores que a média dos Latossolos (23,9 mm) apresentados por ROSA (2004)**; o Latossolo da propriedade Colombo II e o Cambissolo da Colombo I apresentaram, respectivamente, valores de *CAD* 59,1 mm e 52,4 mm superiores aos valores apresentados por ROSA (2004)**.

**ROSA (2004) apresenta para alguns solos e localidades no Estado do Paraná, os seguintes valores de *CAD* até a profundidade de 40 cm: 22,43 mm, 17,2 mm e 20,1 mm, para o Latossolo Roxo nas cidades de Cambará, Cascavel e Londrina, respectivamente; 20,3 mm para o Latossolo Vermelho Escuro textura média em Paranavaí; 30,8 para o Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa em Ponta Grossa; 32,8 mm para Latossolo Roxo Álico em Pato Branco; e 46,93 mm para o Podzólico Vermelho Amarelo em Piraquara.

5.5.2 Determinação da velocidade de infiltração

A infiltração é um processo pelo qual a água penetra no solo, sendo variável com o tempo. Inicialmente a taxa de infiltração é alta e vai diminuindo progressivamente com o passar do tempo até atingir um valor que é praticamente constante em solos homogêneos e profundos. Seu valor é muito importante na irrigação, visto que ela determina o tempo em que se deve manter a água na superfície do solo ou a duração da aspersão, de modo que se aplique uma quantidade desejada de água. Na irrigação por inundação, o valor da infiltração básica (VIB) permite verificar a viabilidade de realização do projeto.

A Figura 5.17 apresenta para as propriedades Colombo I e II e Campo Largo I e II as curvas da velocidade de infiltração acumulada (I) e média (VI_m), obtidas após os testes de infiltração. Os testes foram realizados em solos cultivados com milho em Campo Largo e olerícolas em Colombo. O solo do local não se encontrava revolvido e as culturas estavam em fase de colheita.

A Tabela 5.25 apresenta para as propriedades localizadas em Colombo e Campo Largo, as equações de velocidade de infiltração acumulada (I), instantânea (VI) e média (VI_m), originadas a partir da equação Potencial e a velocidade de infiltração aproximada (V/a), obtida nas últimas leituras com os dados coletados nos testes de infiltração a campo com o método do “Infiltrômetro de anel”.

Tabela 5.25. Equações da velocidade de infiltração acumulada (I), instantânea (VI) e média (VI_m), obtidas após os testes de infiltração para as propriedades localizadas em Colombo e Campo Largo, e velocidade de infiltração aproximada (V/a) obtida no final do teste

Propriedade	Velocidade de infiltração			V/a (mm/h)	r ²
	Acumulada (I)* (mm)	Instantânea (VI)* (mm/h)	Média (VI_m)* (mm/h)		
Colombo I	$I = 4,93 \cdot T^{0,8293}$	$VI = 245,39 \cdot T^{-0,1707}$	$VI_m = 295,90 \cdot T^{-0,1707}$	120	0,9986
Colombo II	$I = 24,62 \cdot T^{0,7831}$	$VI = 1151,56 \cdot T^{-0,2169}$	$VI_m = 1476,90 \cdot T^{-0,2169}$	252	0,9961
Campo Largo I	$I = 18,15 \cdot T^{0,6501}$	$VI = 707,83 \cdot T^{-0,3499}$	$VI_m = 1088,81 \cdot T^{-0,3499}$	144	0,9986
Campo Largo II	$I = 32,31 \cdot T^{0,6085}$	$VI = 1179,54 \cdot T^{-0,3915}$	$VI_m = 1938,44 \cdot T^{-0,3915}$	180	0,9956

* A unidade de tempo para entrar nas equações é o minuto

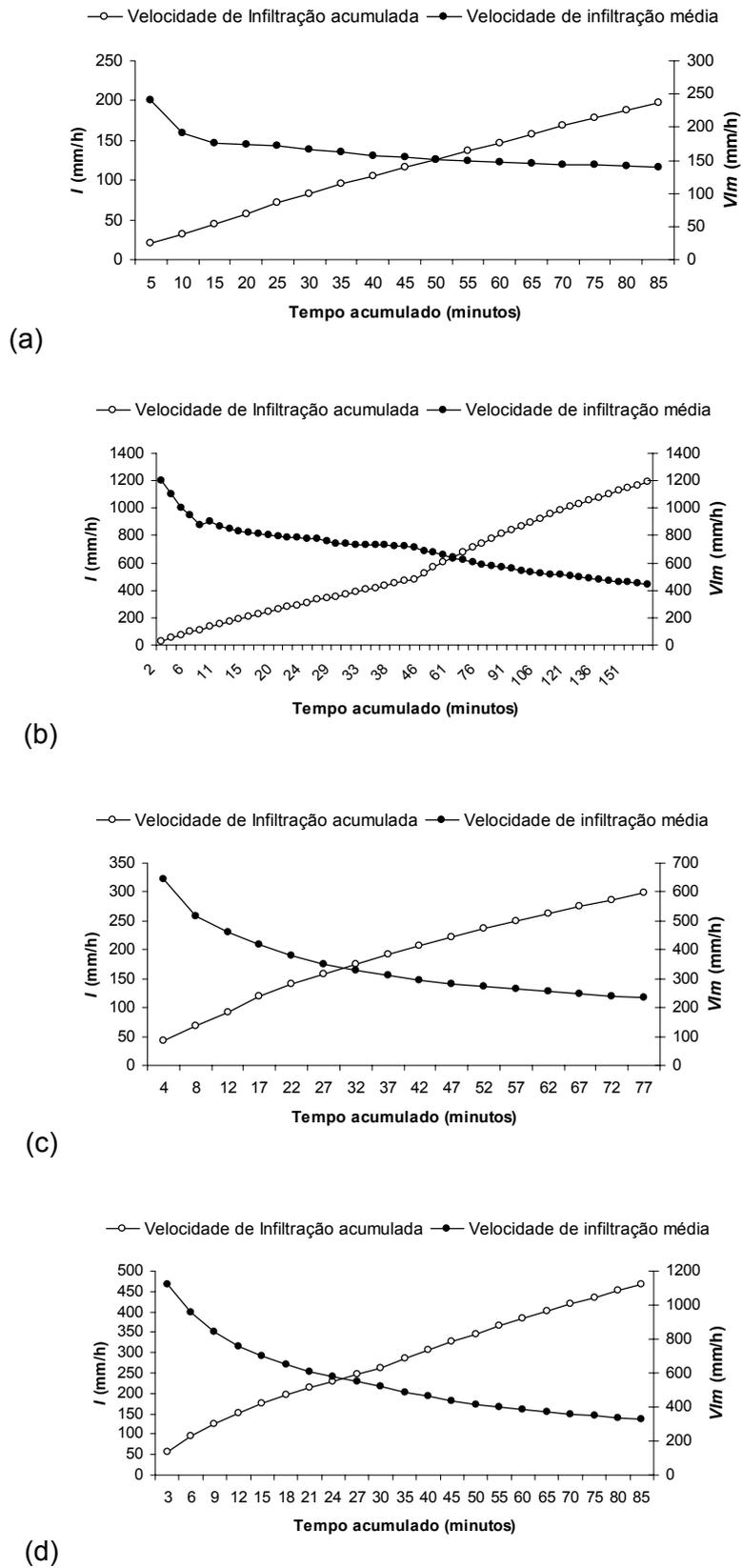


Figura 5.17 – Velocidade de infiltração acumulada (I) e média (V/m), obtidas após os testes de infiltração para as propriedades localizadas em Colombo e Campo Largo: (a) Colombo I; (b) Colombo II; (c) Campo Largo I; (d) Campo Largo II

Os resultados apresentados na Tabela 5.25 evidenciam que:

- Os dados coletados nos ensaios realizados com o método do “Infiltrômetro de anel” (Tabela 5.25) mostraram ajustar-se bem com a equação do tipo Potencial;
- Os valores de velocidade de infiltração aproximada (V/a) apresentados na Tabela 5.25 foram obtidos após 85 min, 160 min, 77 min e 85 min, respectivamente, para as propriedades Colombo I e II e Campo Largo I e II. Levando-se em consideração as recomendações de BERNARDO (1989), verifica-se que a VIB das duas regiões podem estar classificada como muito alta (maior do que 30 mm/h). Este resultado mostra que é inviável a realização de qualquer tipo de projeto de irrigação por superfície nas redondezas das propriedades, entretanto, sistemas de irrigação por aspersão e localizada podem ser utilizados.

5.6 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO IRRIGACIONISTA (Etapa 6)

O balanço hídrico climatológico irrigacionista é uma das formas de monitorar a quantidade de água disponível no solo, por meio do suprimento natural de água existente no solo e da demanda atmosférica, sendo importante na determinação da exigência das culturas nas diferentes fases de seu desenvolvimento. A técnica facilita as tomadas de decisões de quando e quanto irrigar frente aos períodos críticos das culturas em relação ao déficit hídrico.

As análises de simulação dos balanços hídricos no módulo “Balanço Hídrico Climatológico Decendial” do modelo *MORETTI* foram realizadas considerando as opções que se encontram dispostas abaixo:

- Região/local das análises: Colombo e Campo Largo
- Número de simulações: 10.000
- Precipitação provável: Pinhais-PR
- Evapotranspiração (ET_o): ET_o estimada para Pinhais-PR
- Distribuição de probabilidade de ET_o : Distribuição de probabilidade normal
- Coeficiente de cultivo (K_c): olerícolas (0,7), frutas/forageiras (0,8) e grãos/algodão (0,9);
- Opção do coeficiente de cultivo: medido
- Parâmetros para o cálculo do armazenamento: foram utilizados valores médios coletados nas propriedades Colombo I e II e Campo Largo I e II (Tabela 5.26);

Tabela 5.26. Parâmetros médios do solo para calcular o armazenamento nas propriedades em Colombo e Campo Largo

Profundidade (cm)	Colombo				Campo Largo			
	CC (cm ³ ·cm ⁻³)	PMP (cm ³ ·cm ⁻³)	d _a (g/cm ³)	CAD (mm)	CC (cm ³ ·cm ⁻³)	PMP (cm ³ ·cm ⁻³)	d _a (g/cm ³)	CAD (mm)
0-25	0,488	0,196	1,06	97,6	0,254	0,167	1,25	34,6
25-40	0,428	0,265	1,06		0,267	0,181	1,25	

- Fração água disponível no solo: olerícolas (0,4), frutas/forrageiras (0,5) e grãos/algodão (0,6)
- Função que estima o armazenamento de água no solo: Linear/Exponencial (RIJTEMA & ABOUKHALED,1975)
- Manejo da irrigação: sem irrigação e irrigação o ano todo

A Tabela 5.27 apresenta os valores de evapotranspiração da cultura, precipitação, irrigação, evapotranspiração real, deficiência e excedente, obtidos com a realização do módulo “Balanço Hídrico Climatológico Decendial” do modelo *MORETTI*, para as localidades de Campo Largo e Colombo. Na realização dos balanços hídricos, considerou-se três grupos de cultura (olerícolas, frutas/forragens e grãos/algodão) e três frações p (0,4; 0,5 e 0,6) para o cálculo do armazenamento de água no solo.

Tabela 5.27. Valores médios da evapotranspiração da cultura (*ETc*), precipitação (*P*), irrigação (*I*), evapotranspiração real (*ER*), deficiência (*DEF*), excedente (*EXC*) e frequência de irrigações no ano (*Fi*), obtidos de 10.000 simulações do balanço hídrico irrigacionista com o modelo *MORETTI*, para as localidades de Campo Largo e Colombo, considerando três grupos de cultura (olerícolas, frutas/forragens e grãos/algodão) e três frações p (0,4; 0,5 e 0,6)

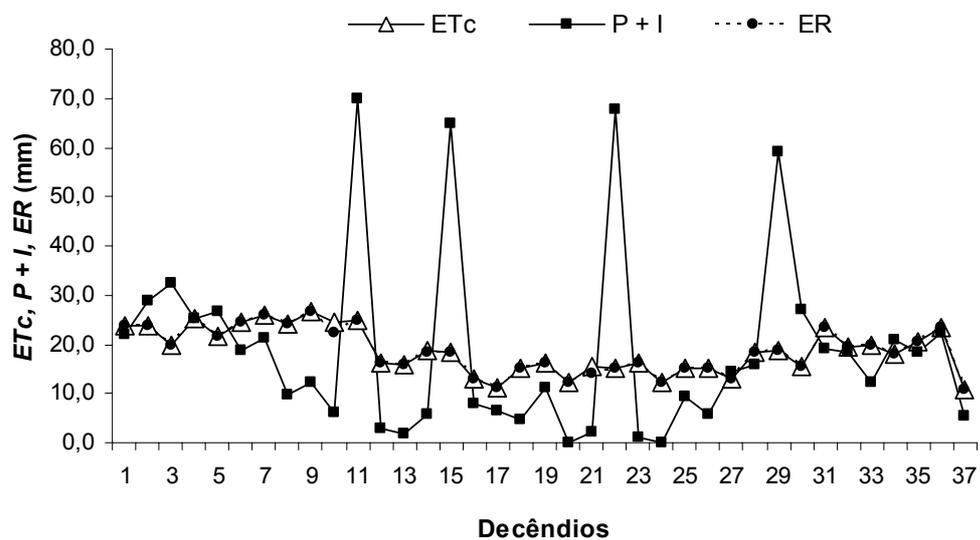
Cultura	Fração p	Manejo Irrigação	<i>ETc</i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>I</i> (mm)	<i>ER</i> (mm)	<i>DEF</i> (mm)	<i>EXC</i> (mm)	<i>Fi</i>
Campo Largo (CAD = 34,6 mm)									
Olerícola	0,4	Ano todo	526,94	469,00	122,14	507,72	19,21	74,01	9 a 11
Olerícola	0,4	Sem	527,01	469,00	0,00	415,46	111,55	53,51	—
Frutas/Forrageiras	0,5	Ano todo	601,73	469,00	157,61	580,39	21,34	36,97	8 a 12
Frutas/Forrageiras	0,5	Sem	601,83	469,00	0,00	449,84	151,99	19,13	—
Grãos/Algodão	0,6	Ano todo	676,98	469,00	194,53	649,09	27,89	7,67	8 a 12
Grãos/Algodão	0,6	Sem	677,00	469,00	0,00	468,20	208,80	0,77	—
Colombo (CAD = 97,6 mm)									
Olerícola	0,4	Ano todo	527,03	469,00	121,75	525,99	1,03	64,73	2 a 4
Olerícola	0,4	Sem	526,77	469,00	0,00	463,66	63,11	5,31	—
Frutas/Forrageiras	0,5	Ano todo	602,19	469,00	157,10	600,60	1,59	25,47	3 a 4
Frutas/Forrageiras	0,5	Sem	601,14	469,00	0,00	468,97	132,17	0,00	—
Grãos/Algodão	0,6	Ano todo	677,32	469,00	208,57	674,71	2,61	2,83	3 a 4
Grãos/Algodão	0,6	Sem	677,03	469,00	0,00	468,97	208,06	0,00	—

Em média, ao longo do ano, para as localidades estudadas e para a condição de irrigação suplementar cobrindo toda a área, os resultados apresentados na Tabela 5.27 evidenciam que:

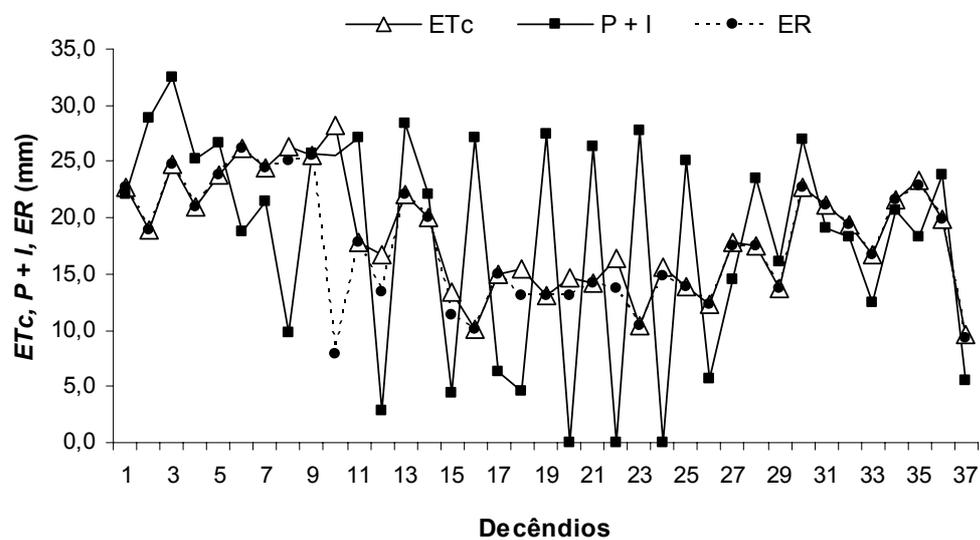
- A *ETc* para as olerícolas, frutas/forrageiras e grãos/algodão ficou em torno de 527 mm, 602 mm e 677,1 mm, respectivamente;
- A lâmina de irrigação suplementar necessária para as olerícolas, frutas/forrageiras e grãos/algodão ficou em 121,9 mm, 157,4 mm e 201,6 mm, respectivamente;
- Como o módulo “Balanço hídrico” do modelo *MORETTI* estima a necessidade de irrigação para um período decenal, verifica-se que mesmo empregando um manejo de irrigação suplementar ao longo de todo o ano haverá um pouco de deficiência. Desta forma, a deficiência (*DEF*) estimada para as olerícolas, frutas/forrageiras e grãos/algodão ficaram em torno de 10,1 mm, 11,5 mm e 15,2 mm, respectivamente;
- Como houve deficiência, a *ER* ficou abaixo da *ETc*, sendo para as olerícolas, frutas/forrageiras e grãos/algodão, iguais a 516,9 mm, 590,5 mm e 661,9 mm, respectivamente;
- Com exceção das olerícolas, que são muito sensíveis ao estresse hídrico e o uso da irrigação é quase sempre indispensável, verifica-se que as frutas/forrageiras e grãos/algodão quase não necessitam de irrigação em um solo que apresenta maior capacidade de armazenamento. Baseando-se na região de Colombo, onde a *CAD* ficou em 96,7 mm e levando-se em consideração a ocorrência de precipitações prováveis a 75%, verifica-se que seriam necessárias em torno de 3 a 4 irrigações apenas ao longo do ano. Para a localidade de Campo Largo, que apresenta *CAD* igual a 34,6 mm, verificou-se que a frequência de irrigação teria que ser um pouco maior, em torno de 8 a 12 irrigações ao longo do ano. No entanto, é interessante lembrar que o uso da irrigação pode ser realizado em função de outros fatores além da frequência de irrigação necessária para suprir os déficits, como: risco climático, retorno econômico, sustentabilidade ambiental, entre outros. Para OLIVEIRA & CARVALHO (1998), o uso da irrigação suplementar se constitui em uma importante alternativa para o desenvolvimento da agricultura, diminuindo assim os riscos de perdas de produção.

Os balanços hídricos simulados para as propriedades localizadas em Colombo e Campo Largo, conforme pode ser observado na Tabela 5.27 apresentaram resultados bem parecidos. Este fato é importante e demonstra que o modelo *MORETTI*, apesar de simular a *ETo* e realizar as irrigações considerando um período decenal, está estimando bem a deficiência e necessidade de irrigação da região, mesmo para uma situação onde o armazenamento da água no solo é bem diferente (96,7 mm para Colombo e 34,6 para

Campo Largo). Como exemplo, entre as 10.000 simulações, a Figura 5.18 apresenta apenas um ano de balanço hídrico decendial realizado considerando a irrigação ao longo de todo o ano em Colombo e Campo Largo.



(a)



(b)

Figura 5.18 – Exemplo de balanço hídrico climatológico decendial ao longo de um ano, realizado para as localidades de (a) Colombo e (b) Campo Largo, considerando o armazenamento de água no solo respectivo das duas localidades, K_c para grãos/algodão (0,9) e fração p igual a 0,6

Conforme se pode verificar na Tabela 5.27 e Figura 5.18, os valores de *ER* e *DEF* foram bem próximos para as duas localidades quando se irrigou o ano todo, porém, a frequência de irrigação empregada foi muito diferente (Figura 5.18). Este fato evidencia na região, mesmo para uma situação de cultivo com irrigação suplementar, que os agricultores que se encontram situados em solos possuindo baixo armazenamento de água sempre terão maiores custos com o manejo da irrigação, principalmente mão-de-obra, devido à frequência de irrigação necessária.

Os resultados apresentados na Tabela 5.27 mostram ainda que mesmo considerando a precipitação provável de 75%, as deficiências e conseqüentemente a necessidade de irrigação na região de Colombo e Campo Largo ainda são pequenas. Este fato evidencia que no curto prazo, o agricultor da região para se sentir motivado a utilizar irrigação com água residuária terá de ser incentivado com algum tipo de benefício.

Apesar da necessidade de irrigação na Região Metropolitana de Curitiba ser suplementar em alguns períodos do ano, é interessante observar que a quantidade de água residuária disponível não é muito grande nas duas regiões analisadas. Uma análise na Tabela 5.28, que foi constituída considerando a maior amplitude entre a *ETo* e a precipitação provável estimada a 75% de probabilidade ao longo do ano (decêndio 12, entre 21/04 a 30/04), com os dados obtidos para Pinhais, permite verificar que:

- apenas 118,9 ha e 9,9 ha poderão ser irrigados na região da ETE Colombo Sede, levando-se em consideração a vazão de projeto e operação da referida ETE, respectivamente;
- 396,3 ha e 197,9 ha poderão ser irrigados na região da ETE Cambuí, levando-se em consideração a vazão de projeto e operação da referida ETE, respectivamente.
- Os resultados obtidos para as duas ETEs concordam com as observações feitas por OLIVEIRA et al. (2002), onde afirmam que em termos quantitativos, o volume de águas residuárias disponíveis para a irrigação é insignificante, em comparação com o total de água usado na agricultura irrigada. Porém, os mesmos autores acrescentam que as possíveis conseqüências de seu uso são de tal importância econômica, ambiental e social, que a necessidade do planejamento para o seu uso para fins agrícolas é justificada.

Tabela 5.28. Estimava da área que poderia ser irrigada na região das ETEs Colombo Sede e Cambuí, levando-se em consideração a vazão das mesmas e a amplitude entre ET_o e Precipitação provável a 75%

ETEs	Vazão (Q)		Maior Amplitude entre $ET_o_{75\%} - P_{75\%}$ provável **				Área irrigada (ha)	
	$Q_{projeto}$ (m ³ /dia)	$Q_{operação}$ (m ³ /dia)	(mm/decêndio)	(mm/dia)	(m ³ /ha/dia)	(Decêndio)	$Q_{projeto}$	$Q_{operação}$
Colombo Sede	2.592	216	21,8	2,18	21,8	12 (21/04 a 30/04)	118,9	9,9
Cambuí	8.640	4.315	21,8	2,18	21,8	12 (21/04 a 30/04)	396,3	197,9

** Maior amplitude verificada entre a ET_o e a precipitação provável estimados a 75% de probabilidade para Pinhais

As considerações feitas no parágrafo anterior foram realizadas baseando-se na maior amplitude entre a precipitação provável e ET_o provável para a região das ETEs Colombo Sede e Cambuí (dados climáticos de Pinhais), sendo o sistema de irrigação por aspersão o método de referência utilizado para determinar as áreas a serem irrigadas com águas residuárias. Na realização de projetos de irrigação é sempre mais consistente analisar as amplitudes considerando a evapotranspiração da cultura (ET_c), sendo necessário, evidentemente, o conhecimento prévio das prováveis culturas que o agricultor pretende irrigar ao longo do ano.

6 CONCLUSÃO

Conforme as informações obtidas e analisadas no presente trabalho, concluiu-se que:

- As ETEs que se encontram próximas das áreas agricultáveis (Colombo Sede, Cambuí e Lapa) por serem de pequeno porte possuem baixa vazão de esgoto tratado para ser empregado na irrigação de culturas agrícolas. As ETEs de maior porte e que possuem maior vazão de esgoto tratado (Belém, Atuba Sul, Padilha Sul, CIC Xisto, Santa Quitéria, Cachoeira, Menino Deus) estão localizadas em áreas urbanas e o efluente necessitaria ser bombeado a longas distâncias para chegar as áreas agricultáveis;
- As ETEs analisadas possuem boa eficiência no tratamento dos efluentes, variando de qualidade aceitável a ótima ao longo de grande parte do ano. No entanto, apesar de haver grande remoção de resíduos e agentes patogênicos presentes nos efluentes, esta remoção ainda não contempla os limites recomendados na literatura para uso na irrigação agrícola, principalmente para a DBO e coliformes fecais na ETE Cambuí;
- Os solos existentes na região das ETEs, denominados de Gleissolo (Atuba Sul, CIC Xisto e Cachoeira), Organossolo (Belém e Padilha Sul) e Neossolo, por serem mal drenados em condições naturais, são mais adequados para irrigação por superfície, principalmente inundação. Os solos do tipo Argissolo (Cambuí) e Cambissolo (Colombo Sede e Menino Deus) são adequados as práticas da irrigação por aspersão e localizada. O Latossolo que se encontra próximo da ETE Lapa apresenta as melhores condições para realização da prática da irrigação localizada ou por aspersão convencional e mecanizada;
- A atividade agrícola mais promissora para ser irrigada na região da ETE Colombo Sede é a olericultura, caso o efluente tratado atinja a Classe 2 estabelecida pelo CONAMA. Para as ETEs Cambuí e Lapa a irrigação é mais promissora para o cultivo de grãos, caso o efluente tratado atinja a Classe 3 do CONAMA. As demais ETEs não possuem grandes áreas agricultáveis ao seu redor;

- A maioria das pessoas entrevistadas nas feiras livres além de serem favoráveis ao uso do esgoto tratado na agricultura, comprariam e consumiriam produtos agrícolas que tenham sido irrigados com águas residuárias. O aspecto sanitário e a falta de informação são os maiores motivos apresentados pelos entrevistados para não consumir produtos agrícolas irrigados com águas residuárias;
- Apesar dos valores decendiais da *ETo* tenderem para uma distribuição normal (normal) e a precipitação tender para uma distribuição Gama, aproximadamente metade dos decêndios ao longo do ano ajustaram-se à outras quatro distribuições de probabilidade na região de Pinhais e Lapa, mostrando a necessidade de se considerar outras distribuições de probabilidade em estudos climáticos visando a determinação de valores prováveis na região;
- O contraste entre a *ETo* e precipitação provável mostra que os meses de março a agosto apresentam a maior possibilidade de ocorrer deficiência hídrica às plantas na região de Pinhais e Lapa. Os meses de março e agosto apresentam as maiores amplitudes, 18,8 mm em média;
- Considerando a precipitação provável a 75% e a irrigação de frutas/forageiras e grãos/algodão, verifica-se para a região de Colombo, onde a *CAD* é de 97,6 mm que são necessárias em torno de 3 a 4 irrigações apenas ao longo do ano. Para a localidade de Campo Largo, possuindo *CAD* igual a 34,6 mm, verifica-se que a frequência de irrigação é um pouco maior, em torno de 8 a 12 irrigações ao longo do ano;
- Levando-se em consideração a vazão de projeto e operação e, a maior amplitude estimada para Pinhais entre a *ETo* e a precipitação provável a 75%, apenas 118,9 ha e 9,9 ha poderão ser irrigados na região da ETE Colombo Sede, respectivamente, e 396,3 ha e 197,9 ha poderão ser utilizados na região da ETE Cambuí, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**, Maringá, vol. 26, n.1, p. 27 - 34, 2004.
- AGUIAR, E. M. de.; SILVA, D. A. da. Aspectos produtivos e morfológicos do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) cv. roxo de botucatu submetidos a esgoto sanitário semi-tratados. **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - II Encontro das Águas**, Montevideu, URUGUAY: 1999.
- ANDRADE JUNIOR, A. S.; BASTOS, E. A. Precipitação provável para o município de Uruçuí, no cerrado Piauiense, utilizando a função de distribuição gama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Geometeorologia ESALQ/USP/CNPq/FAPESP/FINEP, 1997, p. 110 -112.
- AQUINO, L. H. de **Estatística**. Lavras: UFLA, 1981.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística a climatologia: Teoria e prática**. Pelotas: ed. Universitária/UFPel, 1996.
- BASTOS, E. A.; AGUIAR NETO, A. O.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; OLIVEIRA, C. M. M. Distribuição de frequência da evapotranspiração potencial para a região de Teresina-PI, através do modelo de Gumbel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 14, p. 99 -104, 1994.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**, 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989.
- BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 79 - 88.
- BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 125 - 174.
- BREGA FILHO, D. B.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 21 - 36.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: 1979.
- CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. Piracicaba, 2004. 129 f. Tese (Doutor em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- CARVALHO, J. J. de; AZEVEDO, C. A. V. de; GOMES, E. M.; HENRIQUE, J. DANTAS NETO, J. Efeitos das variações espaço-temporais dos parâmetros de Kostiakov-Lewis na infiltração acumulada. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p. 268 - 275, 1999.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J. V. Precipitação provável para Lavras – MG. Baseada na função de distribuição de probabilidade gama. **Ciências Práticas**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 58 - 65, 1983.

- COMEC: Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. **Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba**. Governo do Estado do Paraná. Curitiba: 2001.
- CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005. Classifica as águas doces, salobras e salinas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de março de 2005.
- COSTA, L. M. da; MATOS, A. T. de. Impactos da erosão do solo em recursos hídricos. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 173 - 190.
- COUTO, L.; SANS, L. M. A. Requerimento de água das culturas, **Circular Técnica 20**, Sete Lagoas, v. 15, n. 54, EMBRAPA, 2002a.
- COUTO, L.; SANS, L. M. A. Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo, **Circular Técnica 21**, Sete Lagoas, v. 15, n. 47, p. 21 - 65, EMBRAPA, 2002b.
- CROOK. J. Water reuse in California. **Journal, American Water Works Association**, v. 77, p. 60 -71, 1985.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D.; PASSOS, J. R. de S. O modelo gama de probabilidade aplicado ao estudo da distribuição da chuva mensal na região administrativa de Bauru. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ ESALQ/CNPq/FAPESP/FINEP. 1997, p. 107-109.
- DAKER, A. **Irrigação e drenagem: A água na agricultura**, vol.3, 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988.
- EIGER, S. Autodepuração dos cursos d'água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 233 - 260.
- EMATER-PR. **Sistema de informações para planejamento da Emater-PR**. Curitiba, 2004. 1 CD-ROM.
- EMBRAPA: **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Brasília: EMBRAPA Solos, 1999.
- FEREIRA, P. A. Tecnologias aplicadas ao planejamento de projetos hidroagrícolas. In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 191 - 207.
- FIGUEIREDO, S. V. de. Conflito relativo ao uso de água. in: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 37 - 44.
- FINK, D. R.; SANTOS, H. F. dos. A legislação de reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 261 - 290.
- FONSECA, A. F. da. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Piracicaba, 2002. 110 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- FRIZZONE, J. A. **Planejamento da irrigação: Uma abordagem às decisões de investimento**. Piracicaba: 1999. 110 p. USP/ESALQ/Departamento de Engenharia Rural.
- GIORDANI, S. **Averiguações das possibilidades de reúso de efluentes domésticos tratados nas bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira – Região de Curitiba**. Curitiba, 2002. 201 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Hidráulica) Universidade Federal do Paraná.
- HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil - Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75 - 95, 2002.

- HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 37 - 96.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da, TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistência no Controle da Qualidade Física de um Solo sob Pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.7, p. 1493 - 1500, 2000.
- IPARDES: Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, **Avaliação do impacto sócio-econômico da atividade vilas rurais**: 1. etapa. v. 2, Curitiba, 2000.
- KUBOTA, M. Água doce. **Revista oficial do CREA**, n. 28, Curitiba: 2004
- LIMA, A. P.; BASSO, N. NEUMANN, P. S.; SANTOS, A. C. dos; MÜLLER, A. G. **Administração da unidade de produção familiar: Modalidade de trabalho com agricultores**. Ijuí: Editora Unijuí, 1995.
- LUCAS FILHO, M.; ANDRADE NETO, C. O. de.; SILVA, D. A. da.; SOUZA MELO, H. N. de.; PEREIRA, M. G. Disposição de esgoto tratado através do escoamento sub-superficial em solo preparado com cobertura vegetal. **III ENCUENTRO DE LAS AGUAS**, Santiago, CHILE: 2001.
- MARTINEZ, P. Uso eficiente del agua em riego. In: HÉCTOR, G.; CORTÉS, F. A. **Uso eficiente del agua**. México: 1994.
- MANCUSO, P. C. S. Tecnologia de reúso da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 291 - 338.
- MEDEIROS, S. de S.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, J. A. A. Avaliação do manejo de irrigação no perímetro irrigado de Pirapora, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 80 - 84, 2003.
- MELLO, C. R. de; OLIVEIRA, G. C. de; RESCK, D. V. S.; LIMA, J. M. de; DIAS JUNIOR, M. de S. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 836 - 841, 2002.
- MONTE, M. M. do. **Gestão de Águas Residuais Tratadas para Rega de Campos de Golfe**. Instituto Superior Técnico. Lisboa, PORTUGAL: 2001. Disponível em: <<http://meteo.ist.utl.pt/~jjdd/LEAMB/LEAmb%20TFC%20site%20v1/2000-2001/MMonte%20relatorio.pdf>> Acesso em: 19 ago. 2003.
- MOTA, S. Aplicação de esgoto doméstico em irrigação. In: _____. **Reúso de águas: a experiência da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza: UFC, 2000.
- OLIVEIRA, J. L. B; MARQUES JÚNIOR, S; PEREIRA, A. A. A.; VIEIRA, A. R. R. **Precipitação mensal provável para localidades de Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, 1997. 20p. (Série Didática – Boletim Técnico do Departamento de Engenharia Rural e Fitotecnia).
- OLIVEIRA, R. A.; CAMPELO, P. L. G; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. Influencia da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 263 - 267, 2002.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: ed. Ceres, 1981.
- PACHECHENIK, P. E. **Caracterização hidrológica e da fragilidade ambiental na bacia do rio das pedras, Guarapuava-PR**. Curitiba, 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) Universidade Federal do Paraná.
- PACHECHENIK, P. E.; SOUZA, J. L. M. de; GOMES, S. Estudo da precipitação provável na bacia do rio das pedras – PR, utilizando cinco distribuições de probabilidade. In: **XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**. São Pedro. 2004.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.

- PRUSKI, F. F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E. F. de.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L. T. de. Infiltração da água num Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 77 - 84, 1997.
- PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 129 -172.
- PEREIRA, J. O.; BENEZ, S. H. Efeito do Teor de Água e da Carga Aplicada na Densidade e Porosidade do Solo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 27 - 37, 1998.
- PAGANINI, W. da S. Reúso da água na Agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 339 - 402.
- PREVEDELLO, C. L. **Estimativa das Propriedades Hidráulicas de Solos Brasileiros por Funções de Pedotransferência: Uma Análise Comparativa**. Comunicação pessoal, Curitiba. 2002.
- PRONI: Programa Nacional de Irrigação; **Tempo de irrigar: Manual do irrigante**,. São Paulo: Mater, 1987.
- RAMALHO FILHO, A; BEEK, K. J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.
- RIBEIRO, A. M. A.; LUNARDI, D. M. C. A precipitação quinzenal provável para Londrina-PR, através da função gama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ESALQ/CNPq/FAPESP/FINEP. 1997, p. 95 - 97.
- RIBEIRO, M. de F. S.; LUGÃO, S. M. B.; MIRANDA, M.; MERTEN, G. H. Métodos e técnicas de diagnóstico de sistemas de produção. In: **Enfoque sistêmico em P&D. A experiência metodológica do IAPAR**. Londrina: IAPAR, 1997. p 55 - 79. (IAPAR. Circular, 97).
- RIJTENA, P. E.; ABOUKHALED, A. Crop water use. In: ABOUKHALED, A.; ARAR, A.; BALDA, A. M. et al. **Research on crop water use, salt affected soils and drainag in teh Arab Republic of Egypt**. FAO Regional Office for the Near East, 1975. p. 5 - 61.
- REZENDE, F. da C.; SCALOPPI, E. J. Avaliação de Métodos para Determinação das Características de Infiltração em Sulcos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n.2, p. 227 - 233, 1985.
- REICHARDT, K. **Dinâmica da Matéria e da Energia em Ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba: USP/ESALQ. Departamento de Física e Meteorologia, 1996.
- ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. de. Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 263 - 268, 2003.
- ROSA, J. A. **Programa irrigação noturna: Manual Técnico**, Governo do Estado do Paraná, EMATER, Curitiba: 2004.
- ROSSINI, J. B. Manejo da Água na Irrigação da Alfafa num Latossolo Vermelho Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.4, p. 503 - 507, 2002.
- SAAD, J.C.C. **Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação**. Piracicaba, 1990. 124 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- SALES, L. E. de O.; FERREIRA, M. M.; CURI, N. Estimativa da Velocidade de Infiltração Básica do Solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.11, p. 2091 - 2095, 1999.
- SAMPAIO, S. C.; DENÍCULI, W.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, D. D. da; MATOS, A. T.; MATINEZ, M. A. Perda de carga contínua em tubulações conduzindo água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 391 - 396, 2001.

- SANTANA, M. C.; RIBEIRO, A.; SEDIYAMA, G. C. Sistema de geoespacialização da demanda da irrigação suplementar para o estado de Minas Gerais II - Avaliação. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 64 - 71, 2003.
- SANTOS, M. de O. R. M. dos. **O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário**. Rio de Janeiro, 2002. 231 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SEDIYAMA, G., MELO, J. S. P. de; ALVES, A. R.; COELHO, D. T. Determinação dos parâmetros da distribuição gama, em função das alturas médias mensais de precipitação dos dias chuvosos. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 43, n. 247, p. 254 - 266, 1996.
- SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2002.
- SOUSA, J. R. de; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 140 - 144, 1999.
- SOUSA, J. T.; LEITE, V. D.; LUNA, J. G. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 107 - 110, 2001.
- SOUZA, J. L. M. de **Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro (*G. hirsutum L.*) submetido a diferentes profundidades do lençol freático**. Piracicaba. 1992. 70 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, J. L. M. de **Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. Piracicaba. 2001. 253 f. Tese (Doutor em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, Z. M. de; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18 - 23, 2003.
- SPERLING, E. von. Qualidade da água. In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 89 - 114.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55 - 94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in climatology. New Jersey, Drexel Institute of Technology. 104 p. 1955.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: Um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 286 - 292, 1999.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. de. **Meteorologia descritiva: Fundamentos e aplicações Brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1986.
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2003.
- TRINIDAD, J. G.; GONZÁLES, J. A. D.; LUJAN, A. V. Recuperación y reutilización de las aguas residuales en la producción agrícola y pecuaria de las zonas áridas. **XI CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN**. México: 2001. Disponível em:
<<http://www.chapingo.mx/anei/xicongreso/Doc/S90106.pdf>> Acesso em: 30 jan. 2004.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ANEXOS

Anexo 1. Questionário aplicado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs):

Data ___/___/2004

1 Identificação

Nome da ETE.....

Cidade.....

Localidade.....

Nome do informante.....

Formação do informante.....

2 Ocorre formação de maus odores na ETE devido a concentração de gases? () Sim () Não

3 Caso a resposta anterior seja sim, houve alguma reclamação por parte dos moradores dos arredores? () Sim () Não Quantos reclamaram

4 As ETE tem uma periodicidade de funcionamento? () Sim () Não

5 As ETE tem algum problema no seu funcionamento que possa promover uma interrupção? () Sim () Não Se Sim, Qual o problema?

6 O funcionamento é de 24 Horas? () Sim () Não

7 O esgoto na ETE tem uma vazão constante?

Na entrada () Sim () Não Qual motivo?.....

Na saída () Sim () Não Qual motivo?.....

8 Ocorre ou já ocorreu algum tipo de oscilação no funcionamento da ETE em certos períodos (dias chuvosos)?

Na entrada () Sim () Não

Na saída () Sim () Não

9 Existe rede pluvial ligada ao sistema de esgoto da ETE? () Sim () Não Se sim, o excesso da água vai direto para o rio? () Sim () Não Outro, qual?

10 Quando há excesso de água o tratamento continua eficaz? () Sim () Não

11 A eficiência do tratamento do esgoto na ETE permanece o mesmo (mantém-se uniforme), ao longo do dia? () Sim () Não
ao longo da noite? () Sim () Não

12 Qual o período de maior eficiência no tratamento da ETE? () Manhã () Tarde () Noite

13 A ETE está operando com a eficiência esperada? () Sim () Não

14 Qual é a área ocupada pela ETE (ha) ou (m²)? Resp.15 Qual é o volume de esgoto tratado na ETE por dia ou mês (m³)? Resp.

16 Qual a capacidade projetada de tratamento da ETE? Resp.

17 As águas residuárias recebidas pela ETE são constituídas basicamente por:

() Esgoto doméstico _____%

() Esgoto industrial _____%

18 O efluente tratado contribui com que percentagem da vazão do rio a jusante? Resp.

19 Quantas pessoas são necessárias para manter em operação uma ETE? Resp.

20 Qual ou quais são os sistemas de tratamento da utilizado(s) na ETE?

Sistemas de tratamentos	Tratamento 1º	Tratamento 2º	Tratamento 3º
Anaeróbio tipo Ralf			
Lagoas de estabilização			
Tanques de aeração do tipo lodo ativado			
Lagoa anaeróbia e ultravioleta			
Sistema de flotação como pós-tratamento e desinfecção por dióxido de cloro.			
Sistema de pós-tratamento por flotação e desinfecção por ultravioleta			
Lagoa de polimento			
Outros			

Anexo 2. Questionário aplicado nas feiras livres:

Data ___/___/2004

1 Identificação

Bairro onde reside.....

Idade: () 10 e 20 anos () 21 e 30 anos () 31 e 40 anos () 41 e 50 anos () mais de 50 anos.

Sexo: () Masculino () Feminino

Estado Civil: () Casado(a) - Número de filhos.....

() Solteiro(a)

() Separado(a) - Número de filhos.....

2 Nível de escolaridade do entrevistado

() 1º Grau (Ensino Fundamental) () Completo () Incompleto

() 2º Grau (Ensino médio) () Completo () Incompleto

() 3º Grau () Completo () Incompleto

() Pós-Graduação () Completo () Incompleto

3 Em sua casa quem geralmente é responsável por fazer a compra de legumes, verduras e frutas?

() entrevistado () outro

4 com que frequência você (Sr. ou Sra.) consome verduras, legumes e frutas?

() todos os dias () vezes por semana () vezes por mês () não consome

5 Você (Sr. ou Sra.) sabia que em Curitiba e na Região Metropolitana o esgoto doméstico (de nossas casas) passa por algum tipo de tratamento antes de ser jogado nos rios? () Sim () Não

6 Você (Sr ou Sra) sabia que no final do tratamento deste esgoto doméstico, nas estações de tratamento de esgoto, tem-se uma água (denominada água residuária) que é jogada novamente nos rios, mas poderia ser utilizada para outras finalidades com uso agrícola ou industrial? () Sim () Não

7 Você (Sr ou Sra) é favorável ao uso dessa água na agricultura, ou seja, para ser utilizada na irrigação de produtos agrícolas? () Sim () Não

8 Você (Sr ou Sra) compraria um produto agrícola que tenha utilizado essa água residuária (água que passou nas estações de tratamento de esgoto) na irrigação de culturas agrícolas, sendo notificado por quem esta vendendo o produto agrícola? () Sim () Não

9 Caso a resposta seja sim, que produtos você (Sr. ou Sra.) compraria?

() Hortaliças Folhosas - Alface, repolho, almeirão, couve-flor, brócolis, etc.

() Hortaliças frutos - Tomate, pimentão, berinjela, pepino, vagem, morango entre outros etc.

() Hortaliças Raiz - Beterraba, rabanete, cenoura, batata doce, () mandioca, etc.

() Grãos - feijão, arroz, ervilha, milho, soja, etc.

() Frutos em geral

() Outros

() Não – Por quê?

() Aspectos Sanitários ou riscos de doenças

() Falta de informação sobre o assunto - insegurança

() Aversão ou nojo

() Contaminantes (metais pesados)

() Outros.....

10 Qual seria a sua reação caso você (Sr. ou a Sra.) soubesse que está consumindo um produto agrícola (hortaliças, grãos e verduras) que usou essa água residuária (água que passou nas estações de tratamento de esgoto) e o vendedor do produto agrícola não está lhe notificando devidamente esta informação?

() Mudaria de estabelecimento

() Procuraria o PROCON

() Não compraria mais o produto

() Não compraria mais frutas, verduras e legumes

Outros.....