

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO
(PPGAD)

**MODELAGEM MATEMÁTICA VISANDO À
CARACTERIZAÇÃO E À PREVISÃO FUTURA DO SISTEMA
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE
LAJEADO/RS**

Alexandre André Feil

Lajeado, fevereiro de 2010

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO
(PPGAD)**

**MODELAGEM MATEMÁTICA VISANDO À
CARACTERIZAÇÃO E À PREVISÃO FUTURA DO SISTEMA
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE
LAJEADO/RS**

Alexandre André Feil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente e Desenvolvimento como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento.

Linha de Pesquisa: Espaço e Problemas Socioambientais

Orientador: Prof. Dr. Claus Haetinger

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a. Neli Teresinha Galarce Machado

Lajeado, fevereiro de 2010

Alexandre André Feil

MODELAGEM MATEMÁTICA VISANDO À CARACTERIZAÇÃO E À PREVISÃO FUTURA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE LAJEADO/RS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente e Desenvolvimento como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Claus Haetinger

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a. Neli Teresinha Galarce Machado

Banca Examinadora:

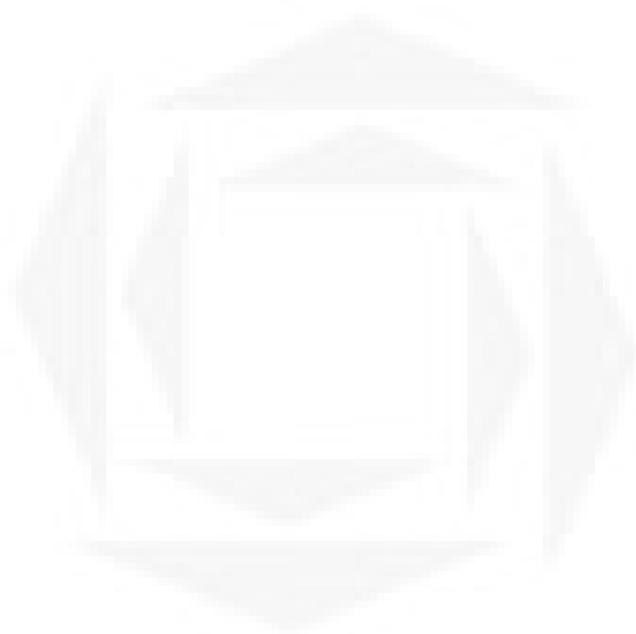
Prof. Dr. Claus Haetinger

Prof.^a Dr.^a. Neli Teresinha Galarce Machado

Prof.^a Dr.^a. Claudete Rempel

Prof. Dr. Manuel Malasquez Negrón

Lajeado, fevereiro de 2010



UNIVATES

Dedicatória
Aos meus super heróis
Sr. Érico Adair Feil e Sr^a Ilária B. Feil

AGRADECIMENTOS

Em especial ao Professor Doutor Claus Haetinger por quem tenho muita admiração, por sua sinceridade, competência e principalmente pela paciência na qual sempre auxiliou na eminência de passar seus conhecimentos.

Aos meu pais Sr. Érico Adair Feil e Sr^a Ilária B. Feil, pela força, apoio e carinho que sempre me deram em todos os momentos da minha vida.

Aos docentes e discentes da terceira turma do PPGAD.

Aos funcionários da sede da CORSAN, da PML e do CIH da UNIVATES que auxiliaram na coleta dos dados que foram fundamentais para efetivar este estudo.

E a todos aqueles que não foram citados, mas que ajudaram de forma direta ou indiretamente na efetivação deste estudo.

A todos um muito obrigado.

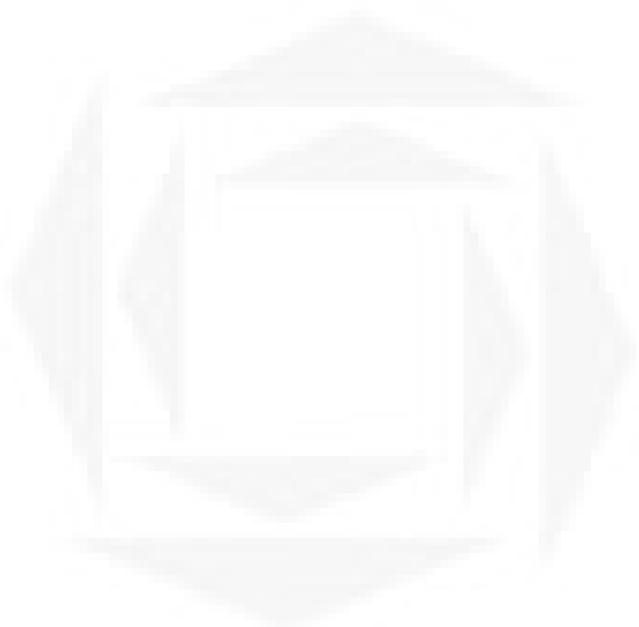
LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores típicos de consumo <i>per capita</i> de água	06
Tabela 02 - População <i>versus</i> consumo <i>per capita</i>	06
Tabela 03 - Valores críticos dos valores de χ^2	16
Tabela 04 - Avaliação qualitativa quanto à intensidade da correlação entre duas variáveis	17
Tabela 05 - Série temporal do volume de ABC do SAA da CORSAN de Lajeado/RS	30
Tabela 06 - Série temporal do volume de ATP do SAA da CORSAN de Lajeado/RS	31
Tabela 07 - Série temporal do volume de C do SAA da CORSAN de Lajeado /RS	33
Tabela 08 - Série temporal do C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS, da temperatura média anual de Lajeado/RS, da precipitação pluviométrica anual de Lajeado/RS e do percentual de umidade relativa do ar média anual de Lajeado/RS	36
Tabela 09 - Série temporal do volume anual de perdas do SAA da CORSAN de Lajeado/RS	39
Tabela 10 - Série temporal da extensão da rede de distribuição e a quantidade de ligações totais de água do SAA da CORSAN de Lajeado/RS	42
Tabela 11 - Série temporal da população total, da população abastecida e da população não abastecida pelo SAA da CORSAN de Lajeado/RS	46
Tabela 12 - Série temporal da população abastecida (habitantes), do volume de C (m ³) e do consumo <i>per capita</i> de água $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$, da cidade de Lajeado/RS	48
Tabela 13 - Volume de consumo per capita de água por setores, na cidade de Lajeado/RS no ano de 2007	50

- Tabela 14 - Variáveis intervenientes *versus* consumo *per capita* de água, na área de abastecimento do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.....52
- Tabela 15 - Previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos) efetuado pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função número 9, com a fórmula $y = \frac{A}{X^2} + B$, onde $A = -.7134E+15$ e de $B = 0.1832E+09$ 57
- Tabela 16 - Previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos) efetuado pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função número 9, com a fórmula $y = \frac{A}{X^2} + B$, onde $A = -.7598E+15$ e de $B = 0.1943E+09$ 61
- Tabela 17 - Previsão do volume de C (m³) em função do tempo (anos) pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função número 33, sua fórmula é $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$, onde $A = 0.2790E+11$, $B = -.1115E-15$ e $C = 0.1114E+18$ 65
- Tabela 18 - Percentual de decréscimo da diferença entre o volume de ABC e ATP no período efetivo de 2000 a 2007 e do período projetado de 2008 a 2032 e a diferença entre o volume de ATP e C no período efetivo de 2000 a 2007 e do período projetado de 2008 a 203267
- Tabela 19 - Previsão da população total (habitantes) em função do tempo (anos) pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função ajustada número 140 e sua fórmula é $y = A.e^{\frac{(X-B)^2}{C}} + D$, onde $A = 0.7907E+06$, $B = 0.2075E+04$, $C = -.1042E+04$ e $D = 0.5839E+05$ 70
- Tabela 20 - Previsão do volume de C (m³) em função do crescimento da população total (habitantes) e do tempo (anos) pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função de número 382, sua fórmula é $y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$, onde $A = 0.3200E+01$, $B = -.1278E+05$, $C = 0.1277E+08$ e $D = 0.3092E+01$ 75
- Tabela 21 - Previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função de número 304 com a fórmula $y = A.X_2^{B.X_1}$, onde $A = 0.1656E+02$ e $B = 0,3645E-03$ 79
- Tabela 22 - Previsão do volume de consumo *per capita* $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função do tempo (anos) pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função de número 181 é $y = A.s^n (B.X) + C.X^2$, onde $A = -.3773E+02$, $B = -.2022E-02$ e $C = -.2341E-03$ 83
- Tabela 23 - Volume de consumo *per capita* $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ projetado em função do crescimento da população abastecida (habitantes) e do tempo (anos)

pelo software LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função ajustada número 343, onde a fórmula é $y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right)$, onde $A = -.1003E+05$ $B = -.5027E+01$ $C = 0.2868E+12$ -----88

Tabela 24 - Volumes projetados de ABC (m³), ATP (m³) e de C (m³) em função do tempo (anos), com o percentual de perdas de água no tratamento (ABC – ATP) e o percentual de perdas de água por vazamento nas tubulações (ATP – C), comparando com os volumes de vazão média e máxima-----90



UNIVATES

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01.A - Localização geográfica do município de Lajeado no estado do Rio Grande do Sul-----20
- Figura 01.B - Localização do município de Lajeado na região do Vale do Taquari/RS-----20
- Figura 02 - Localização da área abastecida pela CORSAN, ponto de captação, tratamento e distribuição da água no município de Lajeado/RS-----21
- Figura 03 - Localização geográfica dos bairros de Lajeado/RS não abastecidos pela CORSAN no ano de 2007-----22

UNIVATES

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Representação gráfica da série temporal do volume de ABC do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.....	30
Gráfico 02 - Representação gráfica do volume anual da ABC e ATP do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.....	32
Gráfico 03 - Representação gráfica do volume anual de C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.....	34
Gráfico 04 - Associação dos volumes de ABC, ATP e C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.....	35
Gráfico 05 - Representação gráfica do C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS versus a temperatura média anual de Lajeado/RS.....	36
Gráfico 06 - Representação gráfica do volume de C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS versus a precipitação pluviométrica total anual de Lajeado/RS.....	37
Gráfico 07 - Representação gráfica do volume de C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS versus o percentual de umidade relativa do ar média anual de Lajeado/RS.....	38
Gráfico 08 - Representação gráfica do volume anual de C versus as perdas (%) do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.....	41
Gráfico 09 - Representação gráfica da extensão da rede de distribuição e da quantidade de ligações de água do SAA da CORSAN, na cidade de Lajeado/RS.....	43
Gráfico 10 - Distribuição em percentual, do volume de C, dos setores residencial, comercial, industrial e público, no ano de 2007.....	44
Gráfico 11 - Representação gráfica da população total em habitantes, da população abastecida e não abastecida em habitantes pelo SAA da CORSAN/RS da cidade de Lajeado, entre os anos de 2000 a 2007.....	46
Gráfico 12 - Relação entre a população abastecida, em habitantes, pelo SAA da CORSAN e o volume de água consumida, em metros cúbicos, da cidade de Lajeado/RS.....	47

- Gráfico 13 - Volume do consumo *per capita* de água $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ da cidade de Lajeado/RS no período de 2000 a 2007.....50
- Gráfico 14 - Representação gráfica do consumo *per capita* de água, por setores, na cidade de Lajeado/RS no ano de 2007.....51
- Gráfico 15 - Perfil da curva de ajuste da função número 9 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$ e o valor de $A = -.7134E+15$ e de $B = 0.1832E+09$55
- Gráfico 16 - Previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos) através da função número 9 onde sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$ do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, considerando-se a série temporal efetiva de 2000 e 2007, e a previsão a partir destes pontos efetivos a partir de 2008.....56
- Gráfico 17 - Perfil da curva de ajuste da função número 9 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$ e o valor de $A = -.7598E+15$ e de $B = 0.1943E+09$59
- Gráfico 18 - Previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos) através da função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, considerando-se a série temporal efetiva de 2000 e 2007, e a previsão a partir destes pontos efetivos a partir de 2008.....60
- Gráfico 19 - Perfil da curva de ajuste da função número 33 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$, onde $A = 0.2790E+11$, $B = -.1115E-15$ e $C = 0.1114E+18$63
- Gráfico 20 - Previsão do volume de C (m³) em função do tempo (anos) através da função número 33 onde sua fórmula é $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$ do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, considerando-se a série temporal efetiva de 2000 e 2007, e a linha de regressão entre 2008 e 2032.....64
- Gráfico 21 - Série temporal efetiva do volume de ABC, ATP e do C, entre 2000 e 2007, e previsão da série temporal pela função de números 9 onde sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$, pela função de número 9 onde sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$ e pela função de número 33 onde sua fórmula é

- $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$, respectivamente, pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas dos mesmos volumes, entre 2008 e 203266
- Gráfico 22 - Perfil da curva de ajuste da função número 140 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A.e^{\frac{(X-B)^2}{C}} + D$, onde $A = 0.7907E+06$, $B = 0.2075E+04$, $C = -.1042E+04$ e $D = 0.5839E+05$,68
- Gráfico 23 - Previsão da população total (habitantes) em função do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas onde a função é de número 140 ($y = A.e^{\frac{(X-B)^2}{C}} + D$). Os pontos são da série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva é formada pela previsão da série temporal entre 2008 a 2032.....69
- Gráfico 24 - Perfil da curva de ajuste da função número 382 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos), sua fórmula é $y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$, onde $A = 0.3200E+01$, $B = -.1278E+05$, $C = 0.1277E+08$ e $D = 0.3092E+01$72
- Gráfico 25 - Previsão do volume de C (m³) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Os pontos são da série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva de regressão 3D é formada pela série temporal de 2000 a 2032.....74
- Gráfico 26 - Perfil da curva de ajuste da função número 304 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A.X_2^{B.X_1}$, onde $A = 0.1656E+02$ e $B = 0,3645E-03$77
- Gráfico 27 - Previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Os pontos são da série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva de regressão 3D é formada pela série temporal de 2000 a 203278
- Gráfico 29 - Perfil da curva de ajuste da função número 181 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do consumo *per capita* de água $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A.s^{\frac{h}{n}}(B.X) + C.X^2$, onde $A = -.3773E+02$, $B = -.2022E-02$ e $C = -.2341E-03$81
- Gráfico 30 - Previsão do consumo *per capita* $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Os pontos são da série

temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva de regressão 3D é formada pela série temporal de 2000 a 2032..... 82

Gráfico 31 - Perfil da curva de ajuste da função número 343 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right)$, onde $A = - .1003E+05$ $B = -.5027E+01$ $C = 0.2868E+12$86

Gráfico 32 - Previsão do consumo *per capita* $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função do crescimento da população abastecida (habitantes) e do tempo (anos), através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Os pontos são a série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva de regressão 3D é formada pela série temporal de 2000 a 2032.....87

Gráfico 33 - Previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos), ATP (m³) em função do tempo (anos) e do C (m³) em função do crescimento populacional total (habitantes) e do tempo (anos), através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. A série temporal de 2008 a 2032 é projetada91

Gráfico 34 - Previsão do volume do C (m³) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos), através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas e a vazão média e máxima instalada no SAA da CORSAN de Lajeado/RS98

UNIVATES

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABC - Volume anual de Água Bruta Captada

ATP - Volume anual de Água Tratada Produzida

C - Consumo de água

CIH - Centro de Informações Hidrometeorológicas da UNIVATES

CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento

E_i - Efeito Esperado no i -ésimo dado da amostra

EMP - Erro Médio Percentual

EMQ - Erro médio Quadrático

ETA - Estação de Tratamento de Água

gl - Grau de Liberdade

Hab/km² - Habitantes por quilômetro quadrado

hab - habitantes

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Km - Quilômetros

km³ - Quilômetro cúbico

L - Litro

m³ - Metro cúbico

NIST - *National Institute of Standards and Technology*

O_i - Efeito Observado no i -ésimo dado da amostra

PML - Prefeitura Municipal de Lajeado

p - Grau de raridade ou significância

r - Coeficiente de correlação

r^2 - Coeficiente de determinação

RNA - Redes Neurais Artificiais

SAA - Sistema de Abastecimento de Água

SCADA - Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados

SRDP - *Statistical Reference Datasets Project*

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Teste F – Teste Fischer

χ^2 red. - Valor do qui-quadrado reduzido

χ^2 - Valor do qui-quadrado

$\left(\frac{L}{\text{hab.dia}} \right)$ - Litros de água consumidos por habitantes num determinado dia

UNIVATES

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	II
LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE GRÁFICOS	VII
LISTA DE ABREVIações E SIGLAS	XI
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVII
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 A crise da água	03
1.2 Consumo <i>per capita</i>	06
1.3 Variáveis intervenientes que influenciam o consumo.....	07
1.4 Crescimento populacional.....	10
1.5 A demanda urbana e a projeção do consumo de água	11
1.6 Modelagem matemática	12
1.7 O <i>software</i> LAB Fit Ajuste de Curvas.....	12
1.8 Teste χ^2	14
1.8.1 Coeficiente de correlação	17
1.8.2 Coeficiente de determinação	18
1.9 Estudos realizados em outros SAA	18
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
2.1 Área de estudo.....	20
2.2 Captação, distribuição, consumo e população.....	21
2.3 Coleta dos dados.....	23
3 CARACTERIZAÇÃO DO SAA DE ÁGUA DA CORSAN DE LAJEADO	29
3.1 O volume de Água Bruta Captada (ABC).....	29
3.2 O volume de Água Tratada Produzida (ATP)	31
3.3 O volume de Consumo (C)	33
3.4 Temperatura média anual e Precipitação pluviométrica anual e Percentual de umidade relativa do ar	35
3.5 As perdas na distribuição de água pelo SAA.....	39
3.6 Evolução da extensão da rede de água	41
3.7 O volume de consumo de água por setores	43
3.8 O crescimento da população total	45
3.9 O consumo <i>per capita</i> de água	48

3.10 As variáveis intervenientes que influenciam no estabelecimento do consumo <i>per capita</i> de água	52
4 A PREVISÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO SAA DA CORSAN DE LAJEADO	54
4.1 Previsão do volume de ABC (m ³) em função do tempo (anos)	54
4.2 Previsão do volume de ATP (m ³) em função do tempo (anos).....	58
4.3 Previsão do volume de C (m ³) em função do tempo (anos).....	62
4.4 Previsão da população total (habitantes) em função do tempo (anos)	68
4.5 Previsão do volume de C (m ³) em função do crescimento da população total (habitantes) e do tempo (anos).....	71
4.6 Previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos).....	76
4.7 A previsão do consumo <i>per capita</i> de água $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função do tempo (anos)	80
4.8 Previsão do consumo <i>per capita</i> $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função da população abastecida (habitantes) e do tempo (anos)	84
4.9 Volume da vazão média e o volume da vazão máxima, em m ³ por segundo da captação do volume de ABC do Rio Taquari.	89
5 CONCLUSÃO	93
5.1 Considerações Finais	99
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

RESUMO

O presente estudo apresenta a evolução do consumo de água da parcela da zona urbana do município de Lajeado/RS, abastecida unicamente pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), no período de 2000 a 2007. Paralelamente, é apresentado o crescimento populacional total e o abastecimento da mesma área de estudo através dos dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), CORSAN e Centro de Informações Hidrometeorológicas (CIH) da UNIVATES. A partir destes dados, objetivamos caracterizar o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) da CORSAN de Lajeado/RS, elaborar um modelo matemático que simule a linha de tendência do volume de consumo (C) de água em função da população total e do tempo, para verificar a possibilidade ou não de um colapso por escassez de água e determinar o volume do consumo *per capita* $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$. A metodologia empregada na fase da caracterização foi a tabulação e pareamento dos dados coletados através do *software* Microsoft® Excel 2003¹. Já na fase da previsão dos dados entre 2008 a 2032 foi utilizado o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas² que apresenta as funções ordenadas pelo menor valor de χ^2 red. (Qui-quadrado reduzido), apresentando o perfil de crescimento, o valor de χ^2 (Qui-quadrado) enquadrado na área de não rejeição e os coeficientes r (Correlação) e r² (Determinação). Os resultados da fase da caracterização foram satisfatórios e na fase da previsão constatou-se que a

¹ Disponível em: <<http://office.microsoft.com/pt-br/default.aspx>>. Acesso em junho de 2008.

² Disponível em: <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/index_p.htm>. Acesso em setembro de 2008.

estrutura instalada no ano de 2007 terá capacidade de abastecer a população projetada até meados de 2026, caso sejam mantidos os mesmos patamares de produção e consumo.

PALAVRAS-CHAVE: Abastecimento de água, Projeção de consumo, Recursos hídricos, Modelagem matemática.



ABSTRACT

This study provides the progress of water consumption in the urban area of the city of Lajeado (RS) supplied only by the Riograndense Sanitary Company (CORSAN), between the years of 2000 and 2007. We present also the total population growth, and supplying of the same study area through data provided by the National System of Sanitary Information (SNIS), the Brazilian Institute of Geography and Statistic (IBGE), CORSAN and Hydrometeorological Information Centre (CIH) of UNIVATES. Based on these data, we aim at characterising SAA at CORSAN in Lajeado (RS), writing a mathematical model to simulate the tendency line of water consumption (C) related to total population and time, to check whether it is probable or not a water scarcity collapse, and determining the per capita consumption volume $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$. We used tabulation and pairing of the data collected by the Software Microsoft® Excel 2003¹ in the characterisation stage. In the 2008-2032 data forecasting we employed the LAB Fit Curve Fitting², which provided functions in smaller value order of red. x^2 , and the function ought to provide the growth profile, the x^2 value fitted in the area of non-rejection and coefficients r and x^2 . Characterisation results were satisfactory, and in the forecasting stage we found out that the structure set up in 2007 will be able to supply population up to middle 2026, if the production and consumption parameters are conserved.

¹ Available at: <<http://office.microsoft.com/pt-br/default.aspx>>. Accessed at june 2008.

² Available at: <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/index_p.htm>. Accessed at september 2008.

Keywords: Water supply, Consumption projection, Water resources, Mathematical model.



1 INTRODUÇÃO

O aumento crescente da população urbana traz consigo algumas consequências inseparáveis, tais como as aglomerações de construções, sejam elas planejadas ou não e as inacabáveis mudanças no ambiente onde o ser humano se concentra na tentativa de suprir suas necessidades.

Nestes aglomerados urbanos fala-se em racionamento e reuso principalmente da água em função da escassez e do crescimento populacional, o que demanda a realização de estudos para elaborar planejamentos alternativos a longo prazo para concretizar estas intenções.

Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) necessitam destas pesquisas para realizar uma gestão de modo a dar continuidade ao abastecimento da população. E a importância deste estudo para a cidade de Lajeado/RS é justamente auxiliar o SAA a gerir a demanda de água e estipular uma linha de tendência que determine a possibilidade ou não de ocorrência da falta de água em consequência do crescimento populacional e do consumo.

O problema levantado neste estudo surgiu pela falta de projetos e pesquisas nesta linha de informação no Vale do Taquari/RS, região fortemente dependente do rio Taquari. Considerando o crescimento populacional, a limitação da oferta de água e o aumento constante da demanda urbana de água por habitante no município de Lajeado, questionou-se se haverá ou não a possibilidade de um colapso por falta de água, caso sejam mantidas a mesma vazão e infraestrutura atuais de tratamento e

distribuição de água pelo SAA da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento). Portanto, buscou-se elaborar uma linha de tendência através de modelos matemáticos que descreva o comportamento deste consumo, tendo como base os dados efetivos entre 2000 e 2007 para efetivar a linha de tendência entre 2008 e 2032, ou seja, uma previsão para 25 anos e que dimensione um limite em anos para a ocorrência do colapso, se for este o caso.

Para realizar este estudo iniciou-se pela elaboração do referencial teórico dos subcapítulos 1.1 a 1.9. Este referencial teórico apresenta os principais estudos realizados sobre a crise e escassez da água, o consumo *per capita* de água, as variáveis intervenientes que influenciam no consumo da água, o comportamento do crescimento populacional, a projeção do consumo com o método da modelagem matemática através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas¹ com a análise do Teste χ^2 (Qui-quadrado), do r (Coeficiente de Correlação) e do r^2 (Coeficiente de Correlação) e no final são apresentados alguns estudos que reforçam a viabilidade da utilização de modelos matemáticos em SAA.

O Capítulo 2, que trata dos procedimentos metodológicos utilizados, apresenta a localização da área onde foi realizado este estudo, a localização do SAA da CORSAN de Lajeado/RS, o local da captação de água e seu tratamento, os reservatórios e a área de distribuição. Este capítulo descreve o método pelo qual todos os dados foram coletados e o tratamento pelo qual passaram antes de serem validados para posterior utilização.

A caracterização do SAA da CORSAN de Lajeado/RS ocorre no Capítulo 3 onde são especificadas as taxas de crescimento entre 2000 e 2007 do volume de ABC (Água Bruta Captada), do ATP (Água Tratada Produzida), do C (Consumo), da população total, da população abastecida, da rede de distribuição e das perdas. Neste mesmo período foi definido o volume de consumo *per capita* $\left(\frac{L}{\text{hab.dia}}\right)$ e para o ano de 2007 o volume de C foi distribuído por setores.

A linha de tendência foi elaborada no Capítulo 4 onde, primeiramente para cada série temporal, o volume de C entre 2008 e 2032, por exemplo, foi efetuado um

¹ Disponível em: <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/index_p.htm>. Acesso em setembro de 2008.

gráfico para verificar seu comportamento e posteriormente agregando todas as linhas de tendências num único gráfico na tentativa de melhorar a visualização do comportamento dos dados.

A conclusão apresentada no Capítulo 5 é subdividida em quatro partes: na primeira é apresentada uma revisão sintética sobre a coleta dos dados e sua disponibilidade; na segunda ocorre a conclusão da fase da caracterização; na terceira é descrita a conclusão sobre a previsão das séries temporais do SAA; e na quarta parte são descritas as considerações finais onde foram descritos a utilização deste estudo para o SAA, perspectivas de continuidade deste estudo, dificuldade na realização desta pesquisa e variáveis não consideradas neste trabalho.

1.1 A crise da água

É senso comum de que a água tem extrema importância para a sobrevivência da sociedade humana. Assim, desde a antiguidade, sempre existiu uma tendência para a proximidade da localização desta, através de assentamentos nas margens de rios, lagos e fontes rasas de águas. Esta proximidade foi motivada pela procura de fontes de água cada vez mais limpas e inesgotáveis, sendo que na época havia grande quantidade de água disponível por habitante (Wolman, 1936).

Atualmente esta realidade mudou e a água que era considerada pelas sociedades humanas primitivas, inesgotável, está se esgotando. Em Antígia, Argélia, Arábia Saudita, Bangladesh, Barbados, Barbuda, Barein, Bélgica, Burundi, Cabo Verde, Catar, Djibuti, Dominica, Egito, Emirados Árabes Unidos, Eritreia, Hungria, Iêmen, Ilhas Maldivas, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbia, Mauritânia, Malta, Moldávia, Névis, Níger, Omã, Países Baixos, Quênia, Ruanda, São Cristóvão, Síria, Somália, Tunísia, Turcomenistão, Uzbequistão a água disponível por pessoa é inferior a 1 m³ (metro cúbico) por ano, abrangendo uma população de 500 milhões de pessoas. Neste caso não há uma preocupação com a qualidade da água, mas principalmente com a quantidade total disponível para o consumo (Clarke *et al.*, 2005).

A quantidade total de água no planeta Terra é de aproximadamente 1,386 bilhões km³; destes, 97,5% representam água salgada e 2,5% de água doce. Dos 2,5% de água doce, 99,6% ficam indisponíveis para o consumo humano por estarem em forma de geleiras, neve, gelo, solos congelados e em regiões subterrâneas (aquíferos), de difícil acesso. A água doce disponível na superfície da Terra para o consumo humano representa, portanto, apenas 0,4%, sendo encontradas em lagos, zonas úmidas e rios (Clarke *et al.*, 2005).

Pela pouca quantidade disponível de água doce para o consumo humano, a globalização a tornou um produto de compra e venda, e em função disto no século XXI poderão acontecer guerras pela escassez e pelo controle da água (Sader, 2005). Na cidade de Cochabamba, Bolívia, houve esta “guerra” pelo controle da água, na qual o Banco Mundial exigiu, para renovação de um empréstimo, que os serviços da água fossem privatizados. Após a privatização dos serviços pela empresa Bechtel, os preços da água aumentaram de forma absurda, provocando uma rebelião de dezenas de milhares de pessoas que em protestos conseguiram que a empresa abandonasse a prestação de serviços (Sader, 2005). Os conflitos no Afeganistão, Etiópia, Iêmen, Iraque, Paquistão, Somália e Sudão são agravados ou provocados pela escassez da água. Estes países ficam localizados em áreas de terra seca e árida, onde as colheitas são ruins e onde predomina a pobreza e o desespero (Sachs, 2009).

Nestes países os governos não estão interessados em se comprometer com a subsistência das comunidades, mas em mobilizar militares, organizar facções políticas ou enfrentar extremistas religiosos. Os Estados Unidos e a Europa gastam centenas de bilhões de dólares no envio de militares na intenção de sufocar conflitos de estados falidos, ao invés de enviarem estes dólares para ajudar a reverter a situação da crise de escassez de água e da falta de desenvolvimento (Sachs, 2009).

A crise da água sempre foi vista como um problema que acontece somente em países pobres, mas alguns países mais ricos do mundo, tais como, Austrália, Espanha, Estados Unidos, Japão, e partes do Reino Unido, também estão começando a enfrentá-la. Estas crises são provocadas pela combinação de mudanças climáticas, com infraestruturas inadequadas e má gestão dos recursos hídricos (Pittock, 2006).

A responsabilidade de encontrar uma solução para a crise dos recursos hídricos cabe tanto aos países ricos como aos pobres (Pittock, 2006). O mesmo autor ainda comenta que a água necessita ser utilizada com mais eficiência ao redor do mundo.

No Brasil, as crises da escassez de água superficial e subterrânea são envolvidas pelas permanentes pressões sofridas pelos usos múltiplos, ou seja, pela utilização excessiva, despejo de esgotos residenciais, prediais, industriais e agrícolas, canalização de rios, construção de barragens, erosões e substâncias tóxicas que ao entrarem em contato com a água reduzem a biodiversidade aquática, entre outros (Clarke *et al.*, 2005).

Clarke *et al.* (2005) acrescentam que o Brasil, apesar de concentrar entre 12% e 16% da reserva mundial de água potável, possui uma má distribuição. No Brasil a água é utilizada com uso intenso e diverso, ou seja, para o abastecimento público, irrigação, recreação, turismo, navegação, pesca, agricultura, entre outros. E com esta abundância de água o Brasil aproveita pouco a água da chuva e o reúso e, além disso, a água contaminada é tratada de forma inadequada, estes sendo alguns indícios ou problemas que podem levar a escassez da água.

O uso mundial da água por setores (100%), pesquisa realizada em 2000, caracterizou que a água usada no setor da agricultura representa 69%. Na produção de 1kg de carne bovina, por exemplo, são necessários 15.000 litros de água e para 1kg de carne de aves são necessários 3.500 litros de água, o setor da indústria representa 21% e o setor doméstico representa 10%. O uso mais intenso, conforme Clarke *et al.* (2005) é, portanto, na agricultura. Estes autores ainda complementam que no mundo o consumo doméstico totaliza uma média de aproximadamente 170 litros por pessoa todos os dias e que o consumo de água total anual no período de 1.900 (350 m³ por pessoa por ano) para o ano de 2000 (642 m³ por pessoa, por ano) quase duplicou. Assim pode-se considerar que estamos numa demanda crescente da água.

1.2 Consumo *per capita*

Von Sperling (1996) afirma que o consumo médio de água por dia de um indivíduo é denominado “quota *per capita*” ou “consumo *per capita*”, enquanto para Fernandes Neto *et al.* (2004) trata-se da água demandada pelos indivíduos, geralmente expressa em litros por habitante por dia $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$.

Em revisões bibliográficas, Von Sperling (1996), determinou valores típicos de consumo *per capita* de água, conforme podemos observar na Tabela 01.

Tabela 01 – Valores típicos de consumo *per capita* de água

Porte da Comunidade	Faixa da população (habitantes)	Consumo <i>per capita</i> $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$
Povoado Rural	< 5.000	90 – 140
Vila	5.000 – 10.000	100 – 160
Pequena Localidade	10.000 – 50.000	110 – 180
Cidade Média	50.000 – 250.000	120 – 220
Cidade Grande	> 250.000	150 – 300

Fonte: Von Sperling, p. 52, 1996.

Num estudo realizado em 83 sistemas de abastecimento rurais e urbanos em São Paulo, com população de até 113 mil habitantes, Magalhães *et al.* (2001) concluem que o porte da cidade apresenta uma fraca influência no consumo *per capita*. Verificando as faixas da população e seus respectivos consumos *per capita* da Tabela 02, percebem os autores que o valor do consumo *per capita* não variou de forma significativa.

Tabela 02 - População *versus* consumo *per capita*

Faixa de população (habitantes)	Consumo <i>per capita</i> em $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$
< 2.000	130
2.000 – 10.000	125
10.000 – 50.000	133
50.000 – 120.000	128

Fonte: Magalhães *et al.*, p. 3, 2001.

Em estudo realizado no município de Botucatu/SP, no ano de 1995, com uma população de 102.395 habitantes, Herrera (1996), concluiu que o consumo *per capita* neste ano foi de $164,87 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$. Portanto, o valor *per capita* neste estudo se enquadra nos valores típicos de Von Sperling (1996) (Tabela 01) mas, na comparação com o estudo de Magalhães *et al.* (2001) (Tabela 02), os valores do consumo *per capita* não se enquadram. Da mesma forma estudo realizado por Ayres (2000) no município de Dourados/MS em 1999, com uma população de 164.716 habitantes, concluiu que o consumo *per capita* neste ano foi de $106 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$. Já este consumo *per capita* não se enquadra nem nos valores típicos de Von Sperling (1996) (Tabela 01) nem de Magalhães *et al.* (2001) (Tabela 02).

O estudo de Silva (2008) na cidade de Cuiabá/MS observou que o valor médio do consumo *per capita* foi de $175 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$. Este consumo médio *per capita* se enquadra nos valores típicos de Von Sperling (1996) (Tabela 01).

Conclui-se que existem para cada cidade diferentes fatores que interferem no estabelecimento do consumo *per capita*.

Percebe-se, portanto, que existem diversas variáveis intervenientes que influenciam o estabelecimento de um valor típico para o consumo *per capita* de água (Magalhães *et al.*, 2001).

1.3 Variáveis intervenientes que influenciam o consumo

Diversas são as variáveis intervenientes que influenciam o consumo de água e, de acordo com Amaral *et al.* (2000) *apud* Foster *et al.* (1979), Von Sperling (1996), Von Sperling *et al.* (2002), Trautwein (2004), Fernandes Neto *et al.* (2004), Falkenberg (2005) e Silva (2008), as variáveis que influenciam o estabelecimento do consumo *per capita* de água são as seguintes:

- ✓ Nível socioeconômico da população abastecida: numa população abastecida de água com maior potencial de renda, o consumo *per capita* de água será maior.
- ✓ Horários e dias da semana: em alguns horários há maiores picos de consumo de água e em alguns dias da semana há elevações de consumo.
- ✓ Fatores climáticos: nas regiões em que a temperatura é elevada, o consumo *per capita* tende a aumentar ou vice-versa. No caso de aumento da umidade relativa do ar, há uma diminuição no consumo de água da população. E da mesma forma, com o aumento da precipitação pluviométrica, o comportamento do consumo *per capita* de água reflete uma diminuição, mas o contrário também é verdadeiro.
- ✓ Pressão da água na rede de distribuição: numa rede de água, quanto maior sua pressão interna da tubulação, maior será o consumo e as perdas por vazamentos.
- ✓ Qualidade de água fornecida: na ausência deste fator na água a mesma tem uma redução no consumo *per capita*.
- ✓ Erro de leitura do hidrômetro: na ausência da medição total e parcial e com os erros cometidos nas leituras dos hidrômetros, estas limitarão o cálculo do consumo *per capita* de água.
- ✓ Sistema tarifário: os preços elevados dos serviços prestados pelo SAA aos consumidores contribuem para a redução do consumo *per capita* de água, e quando os preços são baixos haverá por parte dos consumidores um consumo excessivo e desperdícios.

Nos estudos sobre a investigação das variáveis que influenciam o consumo *per capita* de água em 26 estados brasileiros e em 45 municípios de Minas Gerais, com base em dados divulgados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 1999, com a utilização da Modelagem Matemática de equações de regressão com ajuste de curvas para analisar tendências, Von Sperling *et al.* (2002) concluíram que o consumo *per capita* de água apresentou uma grande

variação de valores nos 26 estados brasileiros, com valores médios de consumo de $157 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$ com mínimo de 93 e máximo de $298 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$, no Rio Grande do Sul, apresentando um consumo médio de $134 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$. Estes autores ainda afirmam que o consumo de água está associado à renda *per capita* da população, sendo que, nos 45 municípios de Minas Gerais, observaram uma influência da faixa de renda, precipitação e porte da comunidade no consumo médio *per capita* que variou de 120 a $200 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$.

A variável econômica (tarifa da água), segundo Silva (2008), influenciou significativamente no estabelecimento do consumo *per capita* de Cuiabá/MS, mas as variáveis climáticas foram pouco relevantes neste estudo.

Estudo elaborado por Fernandes Neto *et al.* (2004) em 96 municípios de Minas Gerais conclui que as variáveis intervenientes que influenciam no consumo *per capita* diferem entre faixas ou tamanhos de populações; ou seja, dependendo do tamanho da população, as variáveis são diferentes.

Fernandes Neto *et al.* (2004) complementam que variáveis intervenientes como o valor da tarifa e a percentual de hidrometração mostram maior influência no consumo *per capita* nos municípios com maior população, ou seja, acima de 50.000 habitantes.

Percebe-se que a variável porte da população nos estudos de Von Sperling *et al.* (2002) e Fernandes Neto *et al.* (2004) apresentou influência no consumo já em estudos de Magalhães *et al.* (2001) Silva (2008) apresentou uma fraca influência, portanto para cada SAA estudado, as variáveis intervenientes agem com intensidades diferentes.

1.4 Crescimento populacional

No mundo a população total no ano de 2000 era de 6 bilhões de habitantes e, destes, 500 milhões habitavam países com escassez crônica de água, sendo que a previsão da população total para o ano de 2050 é de 8,9 bilhões de habitantes, e há previsão de que haverá 4 bilhões de habitantes em países com escassez crônica. Percebe-se, portanto, que num período de 50 anos a taxa de habitantes em países com escassez crônica de água passa de 8,33% para 44,94%, segundo Clarke *et al.* (2005).

A densidade demográfica média no Brasil em 2007 era de 22,3 hab/km²; do RS era de 37,56 hab/km², e o município de Lajeado/RS atingiu 746,39 hab/km², o que representa uma densidade demográfica 19,89 vezes maior em relação ao próprio estado (IBGE, 2009). Destaca-se, portanto, que Lajeado é um dos municípios mais densos do RS, sendo seu território essencialmente urbano, com um percentual de 97%, especialmente a partir das emancipações dos seus últimos distritos no ano 2000 (PML, 2009).

O comportamento do crescimento populacional do município de Lajeado/RS apresentou, entre 1991 e 2007, taxas de crescimento médio diferenciadas, principalmente pela variação da área territorial que diminuiu em função das emancipações de seus últimos distritos, ou seja, em 2000 o município de Lajeado/RS tinha uma área territorial de 265,92 Km² e após as emancipações a partir de 2000, passou a ter uma área territorial de 90,40 km² (PML, 2009).

O crescimento populacional do município Lajeado/RS, após as emancipações, também reflete no aumento da densidade demográfica, exigindo assim maior demanda de água e, portanto, uma projeção do consumo da mesma para garantir a continuidade do abastecimento do município.

1.5 A demanda urbana e a projeção do consumo de água

A demanda urbana de água, segundo Nucci (1983) e Narchi (1989), corresponde à quantidade total de água para as diversas intenções de utilização numa área urbana demarcada. Estas intenções referem-se a inúmeros usuários individuais, podendo ser classificados em setores como doméstico, industrial, comercial e público.

No planejamento e gerenciamento de sistemas de abastecimento urbano de água, o fator mais importante é a previsão de demanda de água (Narchi, 1989).

O suprimento da água é cada vez mais insuficiente em muitos países do mundo e, segundo Sachs (2009), este agravamento se torna cada vez mais rápido em função do crescimento populacional.

As séries temporais, segundo Trautwein (2004), consistem num conjunto de observações de variáveis feitas de forma sequencial ao longo do tempo. Os dados coletados são dependentes entre si. Este conjunto de informações é necessário para calcular o consumo *per capita*.

Previsão é o método que parte das séries temporais e estes dados são combinados estatisticamente para determinar uma estimativa futura (Trautwein, 2004). Complementando, Trautwein (2004) *apud* Makridakis (1998), ao analisar a ciência da previsão, observa que a eficiência da previsão depende do número de períodos cobertos no futuro pela mesma, pois, à medida que o horizonte da previsão aumenta, os resultados tornam-se mais vulneráveis a erros ou incertezas.

No Brasil o instrumento da previsão não foi largamente utilizado, usualmente os SAA são planejados a partir de previsões ou projeções realizadas no consumo *per capita*, sendo este um fator importante de projeção. Mas, não pode ser considerado como único, pois sofre variações de fatores externos (Rocha *et al.*, 1999).

As previsões de longo prazo são menos suscetíveis a variações de consumo e podem no decorrer do tempo ser ajustadas, introduzindo os dados observados para adequar os dados projetados aos observados (Rocha *et al.*, 1999).

1.6 Modelagem matemática

A Modelagem Matemática segundo Bassanezi (2006) é:

[...] um processo dinâmico utilizado para a obtenção e validação de modelos matemáticos. É uma forma de abstração e generalização com a finalidade de previsão de tendências. A modelagem consiste, essencialmente, na arte de transformar situações da realidade em problemas matemáticos cujas soluções devem ser interpretadas na linguagem usual. O modelo é eficiente a partir do momento que nos conscientizamos que estamos sempre trabalhando com *aproximações* da realidade, ou seja, que estamos elaborando sobre representações de um sistema ou parte dele (Bassanezi, 2006, p.24, grifo do autor).

Já “[o] propósito da modelagem matemática é obter uma relação funcional que comporte em seus parâmetros qualidade ou significados inerentes ao fenômeno analisado [...]” (Bassanezi, 2006, p.56).

A modelagem matemática como método científico para pesquisa pode ser utilizada para efetuar previsões, sugerir prioridades de tomadas de decisões, preencher lacunas onde há falta de dados experimentais, servir de recurso para entender melhor a realidade, entre outros (Bassanezi, 2006).

1.7 O software LAB Fit Ajuste de Curvas

Atualmente existem dezenas de *softwares* que auxiliam este ofício da modelagem matemática. O que utilizamos é o LAB Fit Ajuste de Curvas, pela abrangência de seu uso em laboratórios de ensino e de pesquisa, pela versão em português, e por conter a certificação de *softwares* estatísticos pelo projeto do órgão de padronização do governo norte americano “*Statistical Reference Datasets Project*

(SRDP) do “*National Institute of Standards and Technology* (NIST) (Silva *et al.*, 2004).

O *software* LAB Fit Ajuste de Curvas versão 7.2.31 (Silva *et al.*, 2004) foi desenvolvido para analisar e tratar os dados de forma ampla, pois agrega simultaneamente quatro aspectos da modelagem matemática:

- ✓ possibilidade de ajustar uma função com sua representação gráfica;
- ✓ contém um *menu* com cálculos estatísticos básicos;
- ✓ contém um *menu* com cálculos de programação de erros;
- ✓ contém uma biblioteca com 200 funções de uma variável independente; e mais de 280 funções com duas variáveis independentes previamente definidas.

Para realizar o ajuste de curvas o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas classifica as funções pelo menor valor de (x^2) reduzido, utilizando o teste x^2 (Silva *et al.*, 2004).

O ajuste de curvas ou regressão utilizado pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas é conceituado por Bassanezi (2006) como:

“[...] um recurso formal para expressar alguma tendência da variável dependente y quando relacionada com a variável independente x , em outras palavras, regressão é um mecanismo ou artifício que fornece uma relação funcional quando se tem uma relação estatística. [...] uma relação funcional corresponde $y=f(x)$, é também adequada para se fazer previsões de y quando x escapa do intervalo pesquisado.” (Bassanezi, 2006, p.54, grifo do autor).

Callegari-Jaques (2003) e Motta (2006) complementam que o ajuste de curvas ou regressão pode ser o primeiro passo para desenvolver uma modelagem, partindo-se de um gráfico de dispersão dos pontos (x, y) . Este passo é importante por determinar se há ou não regressão simples ou múltipla, evitando-se assim o erro de aplicar tal ajuste a dados não adequados.

A regressão simples consiste numa variável dependente ser dada em função de uma variável independente, já a regressão múltipla consiste numa variável dependente ser dada em função de duas ou mais variáveis independentes (Webster, 2006).

Quando o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas realiza o ajuste de curvas ou regressão, apresenta os valores de χ^2 observados e os valores dos coeficientes de correlação e determinação (Silva *et al.*, 2004).

1.8 Teste χ^2

O teste χ^2 , pronunciado como qui-quadrado e também conhecido como teste de adequação de ajuste, é utilizado para avaliar a discrepância entre as frequências observadas e (O_i) as frequências esperadas (E_i) (Witte *et al.*, 2005).

São avaliadas as discrepâncias entre as frequências observadas e as esperadas. Se, por um lado, as diferenças forem pequenas ou insignificantes mas suficientes para serem consideradas comuns, a hipótese nula é considerada aceitável ou verdadeira. Se, por outro lado, as diferenças forem grandes o suficiente para serem considerados como um resultado raro, a hipótese nula não é considerada aceitável ou rejeitada (Levine *et al.*, 2005).

Para verificar se as discrepâncias entre as frequências observadas e as esperadas são consideradas comuns ou raras, faz-se necessário calcular o valor de χ^2 , utilizando-se a fórmula (Witte *et al.*, 2005) (Levine *et al.*, 2005) (Webster, 2006):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

onde,

O_i é o valor da frequência observada de uma amostra de dados de uma tabela de 2 colunas e de n linhas, onde n é o número de populações independentes que estão sendo consideradas;

E_i é o valor da frequência esperada ou teórica de uma amostra de dados de uma tabela, formada por 2 colunas e de n linhas, onde

n é o número de populações independentes que estão sendo consideradas;

$\sum_{i=1}^K$ é o somatório de todos os resultados das células, ou seja, após

efetuar o cálculo $\frac{(O_i - E_i)}{E_i}$, os resultados serão todos somados,

o que no final representa o valor do χ^2 .

Segundo Callegari-Jaques (2003), Levine *et al.* (2005), Witte *et al.* (2005), Webster (2006), e Motta (2006), o valor de χ^2 apresenta uma família de distribuições, sendo que os valores constantes nesta Tabela são considerados valores críticos de χ^2 , nos níveis de significância de $p = 0,10$; $0,05$; $0,01$ e $0,001$ (Tabela 03).

O valor do nível de significância é o percentual de chances de uma série temporal se enquadrar numa região de não rejeição; ou seja, se o nível de significância for $0,05$, as chances de uma série temporal se enquadrar na região de não rejeição ou aceitável é de 95% e as chances de se enquadrar numa região de rejeição ou inaceitável é de 5% (Levine *et al.*, 2005), (Witte *et al.*, 2005) e (Webster, 2006).

A localização do valor de χ^2 crítico está ligada ao conhecimento dos graus de liberdade (gl). Os gl de uma variável são sempre o número total de categorias (x , y) menos 1 , e os gl de duas variáveis são o número de categorias menos 1 e este resultado multiplicado pelo valor resultante do número total de categorias (séries temporais) menos 1 (Witte *et al.*, 2005).

Tabela 03 - Valores críticos dos valores de χ^2 .

Gl	$p < 0,10$	$P < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,001$
2	4,60	5,99	9,21	13,82
3	6,25	7,81	11,34	16,27
4	7,78	9,49	13,28	18,47
5	9,24	11,07	15,09	20,52
6	10,64	12,59	16,81	22,46
7	12,02	14,07	18,48	24,32

8	13,36	15,51	20,09	26,12
9	14,68	16,92	21,67	27,88
10	15,99	18,31	23,21	29,59
11	17,28	19,68	24,72	31,26
12	18,55	21,03	26,22	32,91
13	19,81	22,36	27,69	34,53
14	21,06	23,68	29,14	36,12
15	22,31	25,00	30,58	37,70
16	23,54	26,30	32,00	39,25
17	24,77	27,59	33,41	40,79
18	25,99	28,87	34,80	42,31
19	27,20	30,14	36,19	43,82
20	28,41	31,41	37,57	45,32

Fonte: Witte *et al.*, p. 468, 2005.

Para encontrar o valor de χ^2 crítico na Tabela 01, por exemplo, considerando 2 de graus de liberdade e com um nível de significância 0,05, localiza-se a intersecção da coluna $p = 0,05$ e da linha $gl = 2$. Neste caso o valor de χ^2 crítico é 5,99 (Levine *et al.*, 2005), (Witte *et al.*, 2005) e (Webster, 2006).

Caso o valor de χ^2 observado for menor que o valor de χ^2 crítico, pode-se considerar que existem evidências de que a hipótese que está sendo testada cai na região da não rejeição ou na área aceitável (Levine *et al.*, 2005), (Witte *et al.*, 2005) e (Webster, 2006).

No caso do valor de χ^2 observado ser maior que o valor de χ^2 crítico, pode-se considerar que não existem evidências de que a hipótese testada caia na região de rejeição, ou seja, na área inaceitável desta hipótese (Levine *et al.*, 2005), (Witte *et al.*, 2005) e (Webster, 2006).

1.8.1 Coeficiente de correlação

O coeficiente de correlação, também conhecido como coeficiente de correlação produto momento, ou r de Pearson, mede o grau de dependência, ou seja, descreve a relação linear entre os pares dos dados das séries temporais quantitativas (Witte *et al.*, 2005) e (Webster, 2006).

O coeficiente de correlação pode assumir qualquer valor entre -1 e 1, sendo que se o valor do coeficiente de correlação for $r = 1$, todas as observações se encaixam de forma totalmente perfeita numa linha reta havendo, portanto, correlação positiva perfeita. Se o valor do coeficiente de correlação for $r = -1$, neste caso, todas as observações se encaixam de forma totalmente perfeita numa linha reta, portanto, havendo correlação negativa perfeita (Callegari-Jaques, 2003) e (Motta, 2006). No entanto, quanto mais próximo de -1 e 1 for o valor do coeficiente de correlação, mais forte será a relação entre as séries temporais das variáveis, e quanto mais próximo de 0 se posicionar o valor do coeficiente de correlação, menor será a relação (Witte *et al.*, 2005). Na interpretação do valor do coeficiente de correlação quanto mais perto de 0 estiver o valor do coeficiente, mais fraca será a relação e pior será a descrição dos dados, e na medida em que este valor do coeficiente se distanciar de 0 em direção de -1 ou 1, mais forte será a relação e melhor será a descrição dos dados (Witte *et al.*, 2005).

Segundo Callegari-Jaques (2003) após definir se existe correlação numa determinada população, esta correlação pode ser avaliada de forma qualitativa quanto a sua intensidade, conforme Tabela 04.

Tabela 04 – Avaliação qualitativa quanto à intensidade da correlação entre duas variáveis.

$ r $	A correlação é dita
0	Nula
0 — 0,3	Fraca
0,3 — 0,6	Regular
0,6 — 0,9	Forte
0,9 — 1	Muito forte
1	Plena ou perfeita

Fonte: Callegari-Jaques, p. 90, 2003.

O coeficiente de correlação é uma medida de precisão de ajuste, ou seja, uma medida de confiabilidade em que o modelo da reta se ajusta aos dados coletados (Webster, 2006).

1.8.2 Coeficiente de determinação

O coeficiente de determinação é outra medida de ajuste e talvez a mais importante, a forma mais fácil de determinar seu valor é elevar ao quadrado o valor

do coeficiente de correlação. O coeficiente de determinação é o percentual de variação pela qual uma das variáveis é explicada em função da outra (Webster, 2006).

A variação do coeficiente de determinação varia entre 0 e 1: quanto maior for o valor de r^2 , melhor a função se ajusta aos pontos do histograma (Callegari-Jaques, 2003) e (Motta, 2006).

A interpretação do coeficiente de determinação é feita pelo percentual de medida de precisão da exatidão das previsões ou projeções (Webster, 2006).

1.9 Estudos realizados em outros SAA

Agora, apresenta-se alguns estudos realizados com o propósito de reforçar a utilização da Modelagem Matemática:

Um destes estudos foi realizado em Atenas, na Grécia, utilizando séries históricas do consumo residencial, do crescimento populacional, da renda e do preço da água dos anos de 1981 a 1999, para estimar uma tendência de consumo de 2000 a 2010. Para tanto foram utilizados modelos de regressão, tal como o erro médio percentual (EMP), erro médio quadrático (EMQ) e ajuste de curvas, com a finalidade de modelar o crescimento populacional, renda e preço. Deste modo Chrysostomos *et al.* (2006) concluíram que o consumo da água aumentará, independente da evolução dos preços da água no futuro, desde que a elasticidade da renda seja mais sensível que a elasticidade do preço.

Ayres (2000) apresentou estudo realizado em Dourados/MS com o objetivo de caracterizar o sistema de abastecimento de água, com os dados da série temporal do período de 1990 a 1999. Com a ajuda de histogramas, desenvolveu o ajuste de curvas ou regressão e, com a utilização do coeficiente de correlação, desenvolveu uma previsão de consumo de 2000 a 2009. Concluiu ter alcançado de forma satisfatória os objetivos deste estudo com a modelagem matemática utilizada.

Estudo realizado num sistema de abastecimento de água de recalque para coletar a série temporal utilizou o sistema SCADA (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados) e, com o método de ajuste exponencial e o método de redes neurais artificiais (RNA), determinou a previsão de demanda em curtíssimo prazo, a cada 15 minutos. Concluiu que os métodos utilizados nos resultados práticos do estudo foram promissores para sua aplicação na prática (Trautwein, 2004).

O estudo de Silva (2008) tratou da determinação da intensidade de intervenção das variáveis climáticas sobre a quota *per capita* de água. Frente ao desenvolvimento de um modelo matemático projetou a quota *per capita* de água da cidade de Cuiabá/MS, com série temporal de 2003 a 2006. A Modelagem Matemática foi obtida através de análise de regressão múltipla e, para validação, foi analisado o erro. Em seguida foram considerados o teste F e o r^2 . Silva concluiu que não existe uma associação entre o consumo da quota *per capita* de água e as variações climáticas (temperatura média mensal do ar, umidade média mensal relativa do ar e o índice pluviométrico), na projeção da quota para populações de médio e baixo poder econômico. No entanto, para estas classes, os modelos de previsão foram razoavelmente eficientes, ao passo que para as demais classes econômicas, os modelos apresentaram baixa capacidade de previsão.

UNIVATES

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na encosta inferior do nordeste, parte centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, situada na região geográfica do Vale do Taquari no município de Lajeado, Figura 01.A e 01.B. O município de Lajeado está inserido entre as coordenadas geográficas de 29° 24' 06" e 29° 29' 52" de latitude sul e 51° 55' 06" e 52° 06' 42" de longitude oeste, com altitude de 166m (PML, 2009).

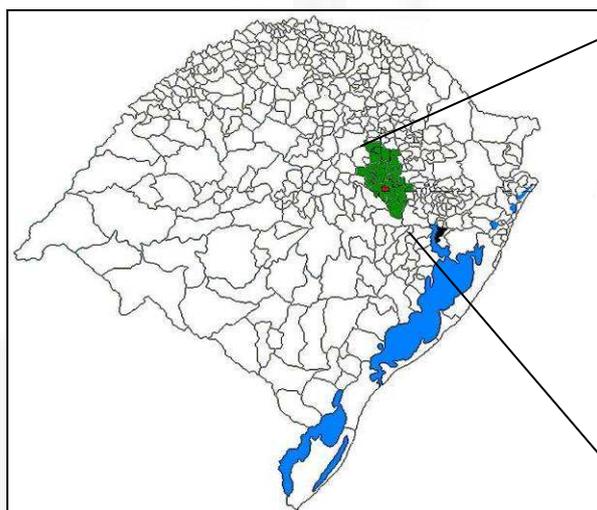


FIGURA 01.A – Localização geográfica da cidade de Lajeado no estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: PML (2009), adaptado pelo autor.



FIGURA 01.B – Localização do município de Lajeado na região do Vale do Taquari/RS.

Fonte: <http://www.bdr.univates.br/>, adaptado pelo autor.

A classificação climática é subtropical, com temperatura média anual estimada por Diedrich *et al.* (2007) de 19,25 °C, sendo no inverno com temperatura média mínima de 14,08 °C e no verão com temperatura média máxima de 25,82 °C.

3.2 Captação, distribuição, consumo e população

A captação da água bruta para fins de tratamento e abastecimento do município é realizada no Rio Taquari (Figura 02), o qual é provido por uma área que se estende por 26.428 Km² e é integrante da Bacia Hidrográfica do sistema Taquari-Antas (PML, 2009).

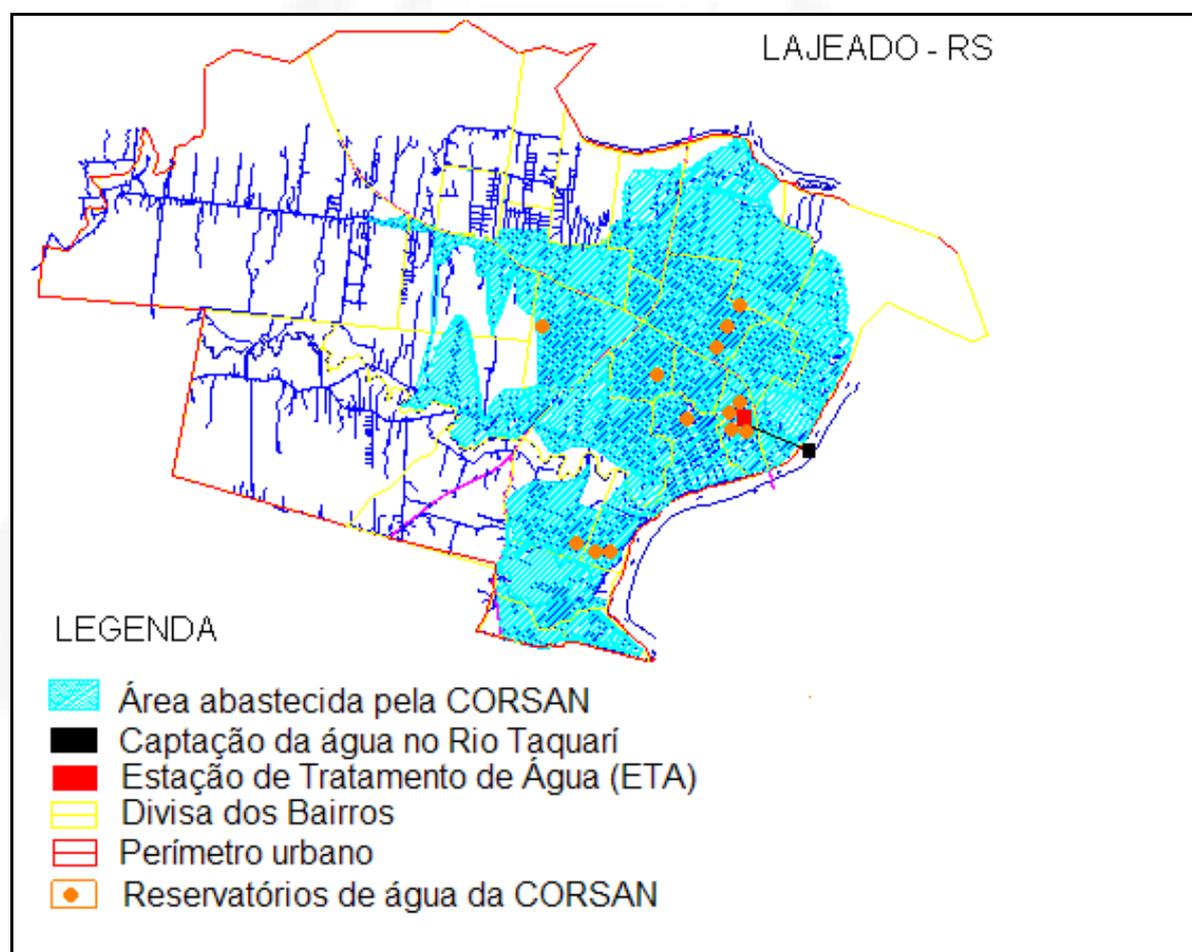


Figura 02 – Localização da área abastecida pela CORSAN, ponto de captação, tratamento e distribuição da água no município de Lajeado/RS.

Fonte: Mapa temático original do ano de 2000, obtido junto ao Banco de Dados da Prefeitura Municipal de Lajeado (2009), adaptado pelo autor em conjunto com a agência da CORSAN de Lajeado/RS, adequando-o à realidade do ano 2007.

A água bruta captada (ABC) é conduzida para a Estação de Tratamento de Água (ETA) (Figura 02), onde passa pelos processos de floculação, decantação, filtração, cloração, fluoretação e laboratório (que processa análises e exames físico-químicos e bacteriológicos). Após a água ser tratada é bombeada para os reservatórios, para ser distribuída por canalizações às residências (CORSAN, 2009).

Existem 13 reservatórios de água tratada (Figura 02) com capacidade total de armazenamento de 6.150 m³ de água, a ser distribuída por uma rede com extensão total de 253 Km, até chegar aos consumidores (SNIS, 2009).

A área total de Lajeado/RS é de 90,40 Km² (PML, 2009). Em 2007 apresentava uma população na área abastecida pela CORSAN de 56.151 habitantes (SNIS, 2009). No entanto, os bairros não compreendidos pelo abastecimento de água da CORSAN (Figura 03) compreendem: Planalto, Igrejinha, Centenário, Imigrante, Conventos, São Bento e Floresta, estes, com uma população no ano de 2007 de 11.323 habitantes (SNIS, 2009).

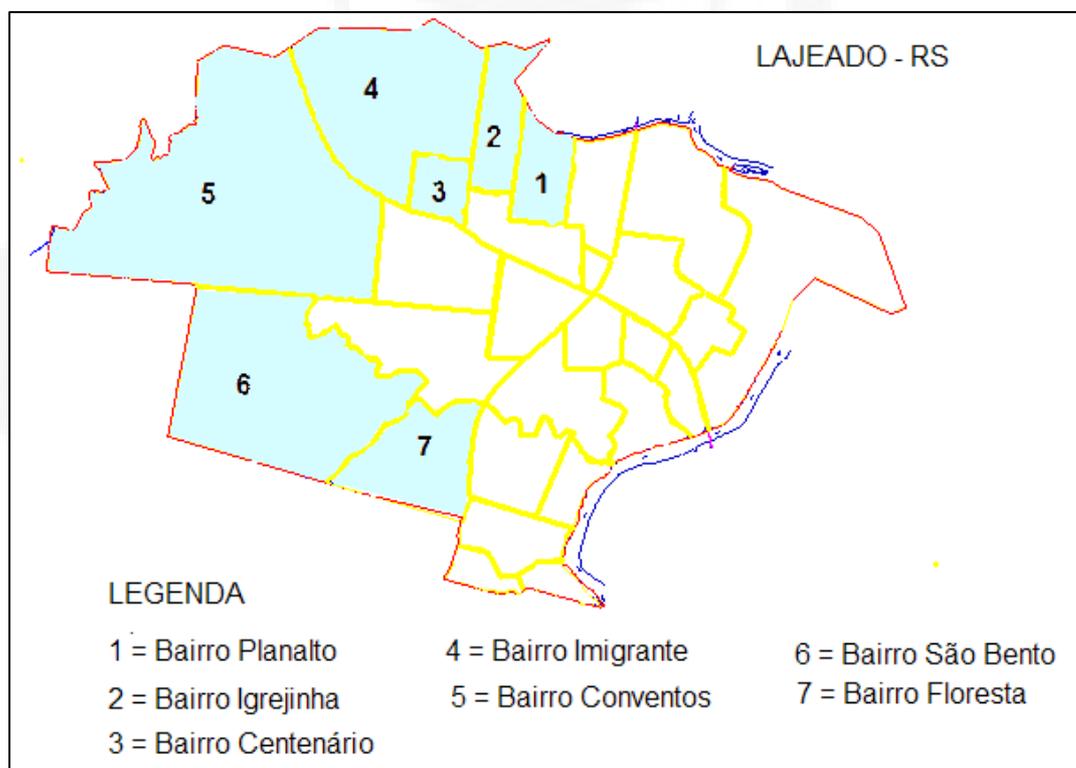


FIGURA 03 – Localização geográfica dos bairros de Lajeado/RS não abastecidos pela CORSAN no ano de 2007.

Fonte: Mapa geográfico original de Lajeado/RS do ano de 2008, obtido junto ao Banco de Dados da Prefeitura Municipal de Lajeado (2009), adaptado pelo autor em conjunto com a agência da CORSAN de Lajeado com a finalidade de especificar os bairros não abastecidos pela CORSAN.

Os bairros que não estão compreendidos no abastecimento do SAA da CORSAN, utilizam a água provinda de redes de distribuição particulares ou de propriedade da Prefeitura Municipal de Lajeado (PML). Segundo a (CORSAN, 2009) já existem projetos para implantação das redes distribuição no bairro de Conventos, mas para a efetivação deverão ser aprovados pelos moradores deste bairro.

Este estudo restringe-se aos bairros abastecidos com a infraestrutura do SAA da CORSAN de Lajeado/RS, no período de 2000 a 2007. No referido estudo, não será considerada a qualidade da água nem tampouco o comportamento sociológico da população em relação ao consumo de água.

A questão da qualidade de água e o comportamento sociológico da população são de igual importância quanto à caracterização e as previsões efetuadas nesta dissertação, portanto merecem um estudo a parte em função do tempo disponível para realizar esta dissertação.

2.3 Coleta dos dados

A coleta dos dados e as informações referentes ao SAA foram adquiridos junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e da CORSAN de Lajeado.

Os dados coletados junto ao SNIS para desenvolver este estudo foram os seguintes:

- ✓ Volume anual de água bruta captada (ABC): são os valores referentes ao volume de água captada no Rio Taquari no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2007, dados coletados no Banco de Dados do SNIS (2009) referentes ao SAA da CORSAN, Lajeado.

- ✓ Volume anual de água tratada produzida (ATP): representa os valores de ABC tratada produzida pela ETA e distribuída aos 13 reservatórios, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2007, dados coletados no Banco de Dados do SNIS (2009) referentes ao SAA da CORSAN, Lajeado.
- ✓ Extensão da rede de distribuição de água: corresponde ao comprimento total (Km) da rede de distribuição. Nesta, incluindo adutores, subadutoras e excluindo ramais prediais. Os dados foram coletados (SNIS, 2009) no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2007, referentes ao SAA de água da CORSAN da cidade de Lajeado.
- ✓ Quantidade de ligações de economias: são as ligações nas moradias, apartamentos, salas comerciais, órgãos públicos e indústrias. Os dados coletados da quantidade de ligações (unidades) estão compreendidos entre janeiro de 2001 a dezembro de 2007. Estes dados foram coletados do SNIS (2009) do SAA de água da CORSAN da cidade de Lajeado.
- ✓ Tarifa média por m³: é o valor médio cobrado pelo SAA da CORSAN de Lajeado por m³ de água consumida. Os dados foram coletados no (SNIS, 2009), no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2007.

Os dados coletados junto ao SAA da CORSAN de Lajeado para desenvolver este estudo foram os seguintes:

- ✓ Volume anual de água consumida (C): representa o volume em metros cúbicos (m³) de ATP consumida pela população conveniada do SAA, medidos pela CORSAN através de leituras de hidrômetros instalados nos setores: residencial, industrial, público e comercial, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2007. Os dados foram coletados no Banco de Dados interno do Departamento Administrativo e Comercial da CORSAN, Lajeado, (CORSAN, 2009).
- ✓ Volume anual de água consumida por setores: representa o volume anual de água consumida (C) em cada setor, ou seja, separa o

volume de água anual consumida no setor residencial, industrial, público e comercial. Estes dados referentes somente ao ano de 2007 foram obtidos no Banco de Dados interno do Departamento Administrativo e Comercial da CORSAN, Lajeado, (CORSAN, 2009).

A coleta dos dados e informações referentes à população (habitantes) foi adquirida junto à Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e no SNIS. Os dados e informações coletados sobre a população (habitantes) para desenvolver os objetivos específicos propostos seguem:

- ✓ População total: representa a população total de janeiro a dezembro de 1999 e entre janeiro de 2001 e dezembro de 2005 estes foram obtidos do censo demográfico (estimativas e previsões que intercalam as contagens da população) e de janeiro a dezembro de 2000 e de janeiro a dezembro de 2007 pela contagem da população. Os dados foram obtidos junto ao IBGE, agência de Lajeado, (IBGE, 2009).
- ✓ População total abastecida de água: representa somente a população dos bairros compreendidos na área de abastecimento de água da CORSAN de Lajeado, entre janeiro de 2000 e dezembro de 2007. Os dados foram obtidos junto ao SNIS (2009).

As variáveis intervenientes, tais como, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e temperatura, referentes a cidade de Lajeado, estão descritas a seguir:

- ✓ Percentual de umidade relativa do ar: é o percentual da umidade relativa do ar médio anual do período de janeiro de 2003 a dezembro de 2006. Os dados referentes aos anos de 2000 a 2002 não foram passíveis de mensuração, pois o Centro de Informações Hidrometeorológicas (CIH) da UNIVATES só iniciou a caracterização do percentual da umidade relativa do ar no ano de 2003. Os dados do ano 2007 também não foram apresentados em função da falta de dados de alguns meses, desta forma não foi possível realizar a média

anual. Entretanto os dados do período de 2003 a 2006 foram coletados do CIH (2009) da UNIVATES.

- ✓ Precipitação pluviométrica anual: é a quantidade acumulada de chuva em milímetros (mm) durante o período de um ano. Os dados coletados se referem ao período de janeiro de 2003 a dezembro de 2007. Os dados referentes ao período de 2000 a 2002 não foram passíveis de mensuração, pois o CIH da UNIVATES só iniciou a caracterização da precipitação pluviométrica no ano de 2003. Entretanto os dados do período de janeiro de 2003 a dezembro de 2007 foram coletados do CIH (2009) da UNIVATES.
- ✓ Temperatura média anual: é a temperatura média anual, em °C, no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2006. Os dados referentes ao período de 2000 a 2002 não foram passíveis de mensuração, pois o CIH da UNIVATES só iniciou a caracterização da precipitação pluviométrica no ano de 2003. Os dados do ano 2007 também não foram apresentados em função da falta de dados de alguns meses, desta forma não foi possível realizar a média anual. Entretanto os dados do período de 2003 a 2006 foram coletados do CIH (2009) da UNIVATES.

Conforme cada período, a coleta dos dados descritos acima foi a única a qual tivemos acesso junto ao Banco de Dados do SNIS, CORSAN, IBGE e CIH. Como há a necessidade de trabalharmos com dados pareados entre variáveis, em alguns casos, foi preciso reduzir o período das amostras.

Após o levantamento das séries temporais dos dados da ABC, ATP, extensão da rede de distribuição de água, quantidade de ligações de economias, tarifa média por m³, C, volume anual de água consumida por setores, população total, população total abastecida de água da CORSAN, percentual de umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica anual e a temperatura média anual, estes dados foram tabulados com o auxílio do *software* Microsoft® Office Excel 2003.

Através do *software* Microsoft® Office Excel 2003, os dados das séries temporais com seus respectivos valores correspondentes aos anos disponíveis foram tabulados e apresentados em forma de tabelas, de um lado o valor da variável independente (x) composto pelos anos; e do outro lado o valor da variável dependente (y) composto pelo valor dos dados coletados no IBGE, CORSAN e SNIS.

Na etapa da caracterização do SAA da CORSAN de Lajeado foi utilizado o *software* BioEstat 5.0² para determinar o coeficiente de correlação e o coeficiente de determinação.

Na etapa da previsão de dados futuros do SAA da CORSAN de Lajeado foi utilizado o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

O *software* LAB Fit Ajuste de Curvas foi empregado devido ao seu grande uso no Brasil em laboratórios de ensino e em pesquisas. Além disso, no tratamento de séries temporais para realizar regressão, o *software* contém 480 funções predefinidas, e o mesmo determina, entre estas, qual é a melhor opção de regressão para as séries temporais apresentadas nesta pesquisa e, após o tratamento destas séries temporais, apresenta informações confiáveis para análise.

O *software* LAB Fit Ajuste de Curvas se utiliza de métodos da Modelagem Matemática. Nesta pesquisa é utilizado o método da regressão das séries temporais onde a regressão é representada através de um gráfico e de uma tabela onde consta o valor do coeficiente de correlação e o coeficiente de determinação e a função que determina a linha de tendência.

Após efetuar as regressões das séries temporais coletadas nesta pesquisa, encontrando os melhores valores desta regressão para os coeficientes de correlação e determinação, será efetuada uma projeção futura do crescimento da ATP, do C, e do Pa, verificando-se, assim, se haverá ou não um colapso por escassez de água, desde que mantidos os patamares atuais medidos e o comportamento das variáveis intervenientes.

² Disponível em: <http://biocistron.blogspot.com/2008/07/programa-bioestat-50_7617.html>. Acesso em outubro de 2008.

Para identificar o consumo *per capita* de água foram utilizadas as tabelas tabuladas pelo *software* Microsoft® Office Excel 2003, das variáveis dependentes (*y*) C e do Pa. Em seguida, os valores de C foram multiplicados por 1.000, para transformar a unidade de m³ em litros (L). Após este processo os dados ficaram aptos a serem utilizados pela seguinte fórmula:

$$\text{Consumo per capita} = \frac{L}{\text{hab.dia}}$$

Onde:

L é a quantidade de litros de água consumidos

hab é o numero de habitantes

dia é o espaço de tempo de 24 horas.

Este resultado foi comparado com os valores do consumo *per capita* existente em bibliografias, analisando-se se o resultado obtido foi aceitável.

UNIVATES

3 CARACTERIZAÇÃO DO SAA DE ÁGUA DA CORSAN DE LAJEADO

3.1 O volume de água bruta captada (ABC)

O volume de ABC compreende a água captada pela CORSAN no Rio Taquari e nos poços profundos, para ser tratada na estação de tratamento de água (ETA). A água captada de poços profundos, havendo ou não necessidade de ser tratada, também faz parte do volume de ABC.

O volume de ABC apresenta um crescimento (Tabela 05) não uniforme (Gráfico 01) de 2000 a 2007. Este crescimento é de 16,46%, representando um crescimento médio anual de 2,35%.

Houve um estudo realizado na cidade de Botucatu/SP no qual o crescimento anual médio da ABC foi de 4,7% no período de 1980 a 1995 (Herrera, 1996) e outro na cidade de Dourados/MS, no qual o crescimento médio anual da ABC foi de 6,6% no período de 1990 a 1999 (Ayres, 2000). Comparando estes crescimentos médios anuais com os obtidos neste estudo (Lajeado/RS), percebe-se que a cidade de Lajeado detém um menor percentual de crescimento médio anual do volume de ABC.

Tabela 05 – Série temporal do volume de ABC do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Tempo (Anos)	ABC (m ³)	Crescimento anual (%)
2000	4.970.895	---
2001	4.610.000	-7,30
2002	5.073.000	10,04
2003	5.538.000	9,16
2004	5.822.000	5,12
2005	5.796.000	-0,45
2006	5.965.000	2,91
2007	5.781.000	-3,10
Crescimento	---	16,46 %
Média	---	2,35 %

Fonte: Série temporal do volume de ABC adquirida junto ao SNIS (2009), e esta tabela foi elaborada pelo autor através do *Software Microsoft*® Office Excel 2003.

O Gráfico 01 mostra as sazonalidades do crescimento anual do volume de ABC entre 2000 e 2007. Verifica-se que entre 2001 e 2002 ocorreu o maior crescimento anual o qual foi de 10,04% e o menor crescimento foi de -7,30% registrado entre 2000 e 2001.

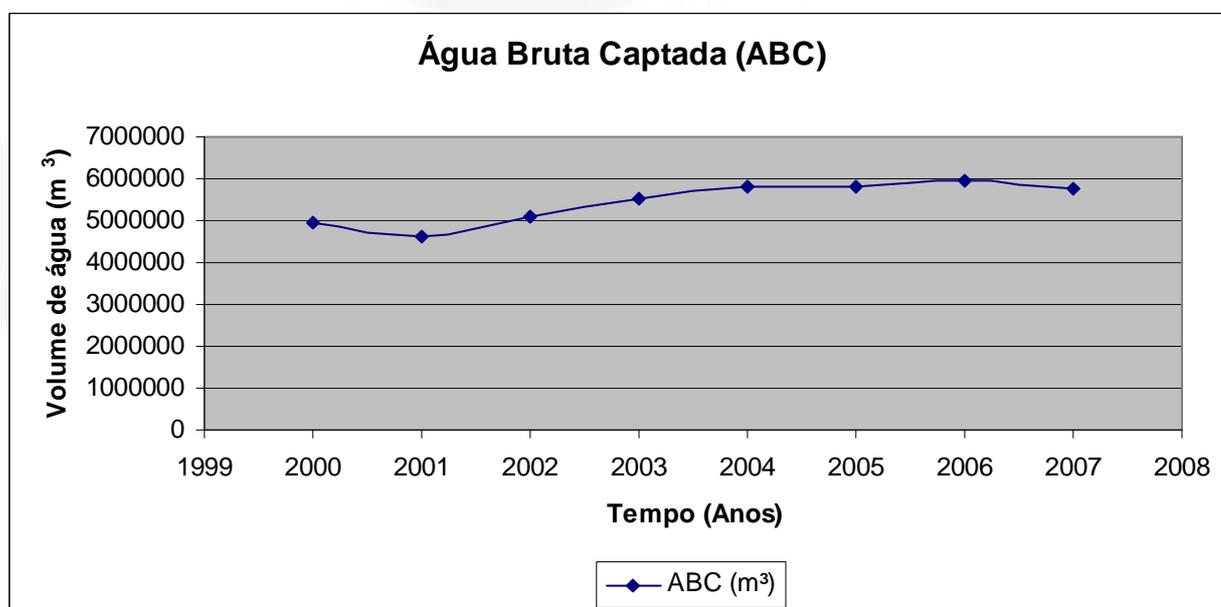


Gráfico 01 – Representação gráfica da série temporal do volume de ABC do SAA da CORSA de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal do volume de ABC adquirida junto ao SNIS (2009), e este gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software Microsoft*® Office Excel 2003.

3.2 O volume de água tratada produzida (ATP)

Após o volume de ABC ser aduzido à ETA da CORSAN de Lajeado, a água, é tratada e este montante forma o volume de ATP.

O crescimento deste volume de ATP entre 2000 e 2007 (Tabela 06) foi 22,52%, correspondendo a um crescimento médio anual de 3,22%.

A diferença entre o volume de ABC e de ATP é a água utilizada para limpeza da ETA, ou seja, lavagem dos filtros, tubulações e equipamentos utilizados no tratamento da ABC.

Ao comparar, entre 2000 e 2007, o crescimento do volume de ABC de 16,46%, em relação ao crescimento do volume de ATP de 22,52%, verifica-se uma eficiência no tratamento de água e limpeza da ETA, pois o crescimento do volume de ATP foi maior em relação ao crescimento do volume de ABC.

Tabela 06 - Série temporal do volume de ATP do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Tempo (Anos)	ATP (m ³)	Crescimento anual (%)
2000	4.357.764	---
2001	4.319.000	-0,89
2002	4.722.000	9,33
2003	5.033.000	6,59
2004	5.392.000	7,13
2005	5.336.000	-1,04
2006	5.590.000	4,76
2007	5.402.000	-3,36
Crescimento	---	22,52 %
Média	---	3,22 %

Fonte: Série temporal do volume de ATP adquirida junto ao SNIS (2009), e esta tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft[®] Office Excel 2003.

A diferença entre o volume de ABC e de ATP, entre 2000 e 2007, não é uniforme (Gráfico 02). Neste Gráfico 02 verifica-se uma diminuição desta diferença ao longo do tempo, que se confirma ao analisar os percentuais da diferença de 14% em 2000, de 10% em 2003, de 9% em 2005, de 8% em 2004 e de 7% em 2001, 2002, 2006 e 2007.

Esta diminuição da diferença entre o volume de ABC e de ATP (água utilizada na limpeza da ETA) é menor a cada ano, pois, por um lado, o volume desta diminuição da diferença de ABC e de ATP foi colocado à disposição para o consumo e, por outro, como o volume desta diminuição da diferença foi consumida, os custos de tratamento e da adução desta água não tiveram a necessidade de serem revertidos em despesas, caso este volume de água tivesse sido retornado ao leito do rio Taquari.

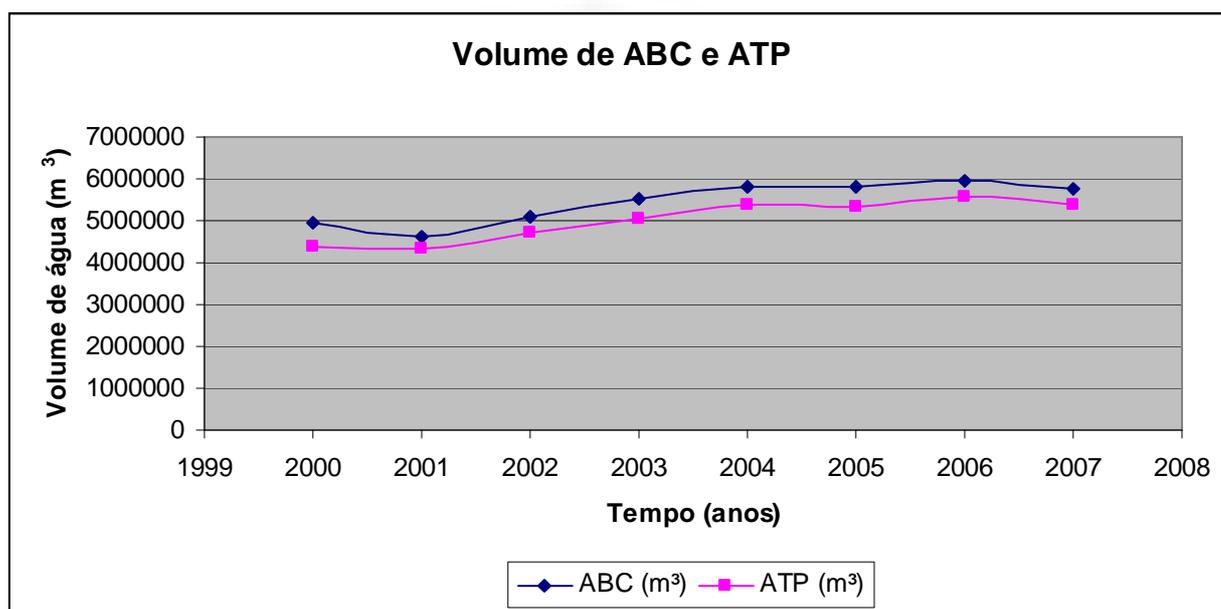


Gráfico 02 – Representação gráfica do volume anual da ABC e ATP do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal do volume de ABC e ATP adquiridas junto ao SNIS (2009), e este gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software Microsoft® Office Excel 2003*.

A água utilizada na limpeza da ETA do SAA da CORSAN de Lajeado/RS é contabilizada como perda. Contudo, após a limpeza, esta água retorna através de canalizações ao leito do Rio Taquari.

A água utilizada na limpeza da ETA do SAA de Botucatu/SP não é contabilizada como perda. Portanto, após esta água ser utilizada na limpeza da ETA volta ao processo de tratamento (reciclagem) e é contabilizada como ATP (Herrera, 1996). Porém a mesma autora conclui que a diferença média entre o volume total do ABC e do ATP é de 1,84%; já para Ayres (2000) é de 5% a 6% e no estudo de Lajeado/RS é de 7,82%.

O percentual de perda de água, no momento da limpeza da ETA do SAA de Lajeado/RS, é o maior quando comparado com Herrera (1996) e Ayres (2000). Ao contrário, quando se verifica a diferença do percentual entre a ABC e a ATP num SAA onde a água utilizada na limpeza da ETA é reciclada (Herrera, 1996), o percentual verificado é o menor. Neste caso, quando a água é reciclada, o SAA não perde o tratamento realizado na mesma antes da limpeza da ETA, diminuindo assim as perdas de água.

3.3 O volume de consumo (C)

O volume de C é a etapa na qual a água é medida pelo hidrômetro instalado na residência do consumidor (Tabela 07).

Tabela 07 - Série temporal do volume de C do SAA da CORSAN de Lajeado /RS.

Tempo (anos)	Volume C (m ³)	Crescimento anual (%)
2000	2.589.335	---
2001	2.651.137	2,39
2002	2.619.012	-1,21
2003	2.760.540	5,40
2004	2.814.275	1,95
2005	2.918.871	3,72
2006	3.033.143	3,91
2007	3.118.841	2,83
Crescimento	---	18,98 %
Média	---	2,71 %

Fonte: Série temporal do volume de C adquirida junto ao SNIS (2009), e a tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft[®] Office Excel 2003.

O crescimento do volume de água de C no SAA da CORSAN de Lajeado/RS, entre 2000 a 2007, é 18,98%, correspondendo num crescimento médio anual de 2,71%. Podemos destacar que o crescimento no período não é uniforme (Gráfico 03) e apresenta sazonalidades.

Comparando o crescimento médio anual do volume de C de Lajeado/RS 2,71%, com o estudo de Herrera (1996) em Botucatu/SP, em que o crescimento médio anual do volume de C foi de 4,01%, e o de Ayres (2000) em Dourados/MS,

onde o crescimento médio anual do volume de C foi de 3,43%, verifica-se que os crescimentos médios anuais são pouco dispersos. Podemos, portanto, considerar um crescimento médio menor do volume consumido de água na cidade de Lajeado/RS.

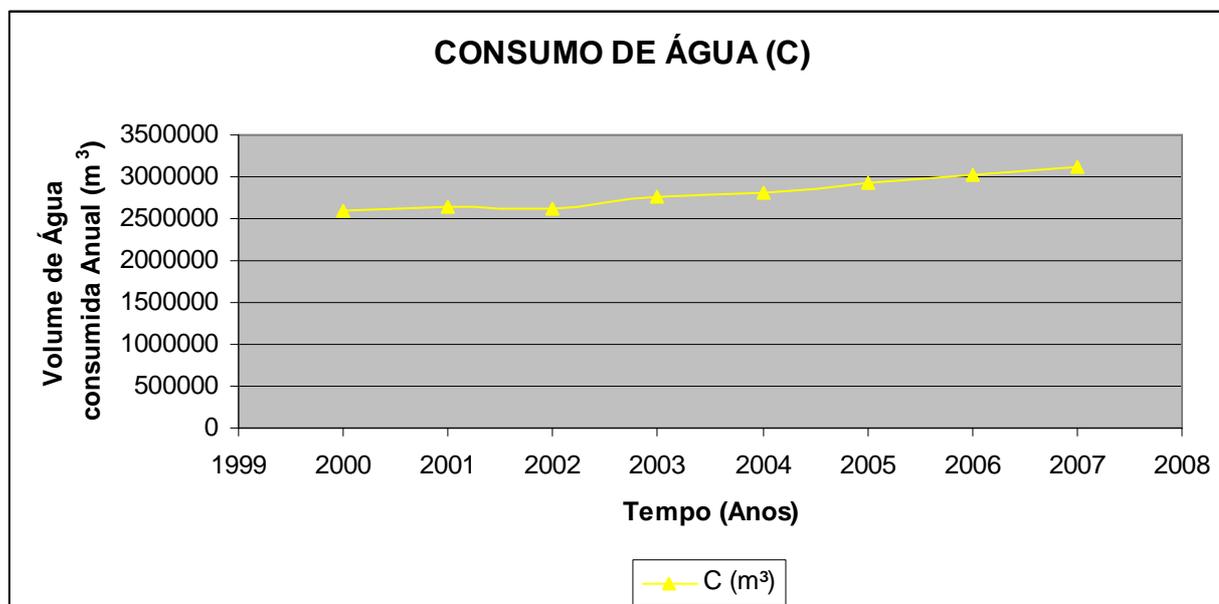


Gráfico 03 – Representação gráfica do volume anual de C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal do volume de C adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN agência de Lajeado/RS (2009), e o gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software Microsoft® Office Excel 2003*.

Na intenção de melhorar a compreensão deste crescimento e da correlação entre os volumes de ABC, ATP e C, elaborou-se o Gráfico 04.

O coeficiente de correlação entre a ABC e a ATP é $r = 0,98$, e entre a ABC e C é $r = 0,83$, e entre a ATP e o C é $r = 0,87$. Estes coeficientes indicam que entre a ABC e ATP existe uma correlação muito forte (Tabela 04) e entre a ABC e C, e ATP e C existe uma correlação forte (Tabela 04). E ao relacionarem-se os coeficientes de determinação entre a ABC e a ATP, encontrou-se $r^2 = 0,96$; entre a ABC e o C $r^2 = 0,68$; e entre a ATP e o C $r^2 = 0,76$. Porém, o resultado de $r^2 = 0,96$ satisfaz a percepção que o crescimento da ABC é explicado em função do crescimento do volume da ATP, ou vice-versa. Já o resultado dos coeficientes de determinação entre ABC e o C e entre a ATP e o C apresentam uma menor correlação, mas ainda é favorável para explicar o comportamento. Conclui-se assim que o volume de C apresenta um menor coeficiente quando relacionado em função da ABC e da

ATP, possuindo assim outras variáveis que também guiam efetivamente o C em sua trajetória.

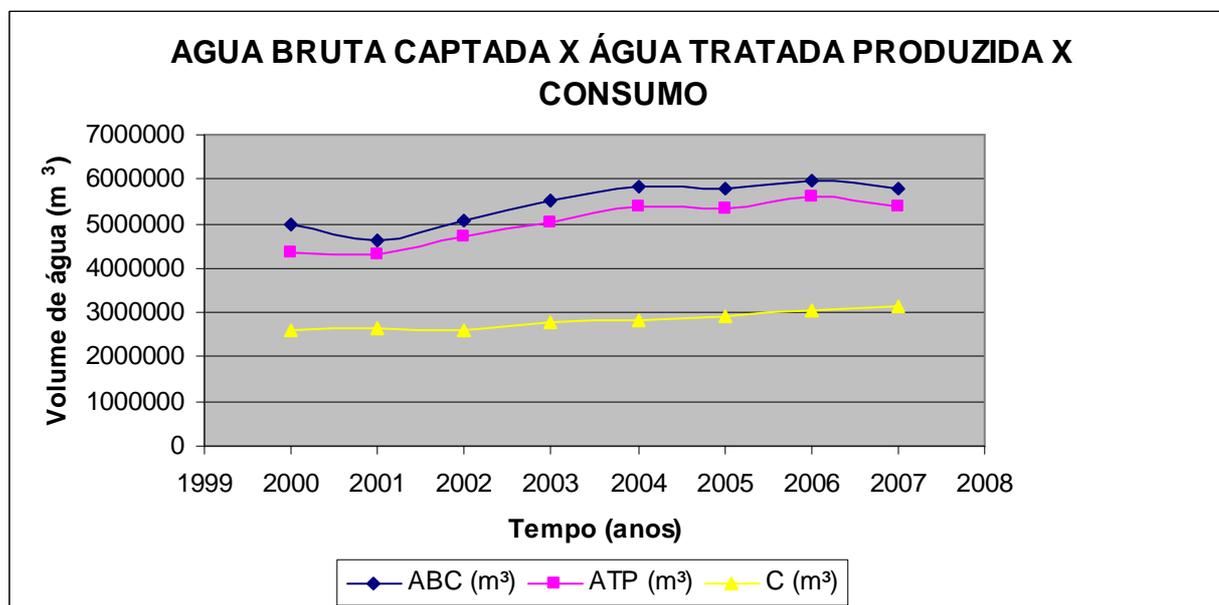


Gráfico 04 – Associação dos volumes de ABC, ATP e C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal do volume de ABC e ATP foi adquirida junto ao SNIS (2009) e a série temporal do volume de C foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN agência de Lajeado/RS (2009), e o gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

3.4 Temperatura média anual e precipitação pluviométrica anual e percentual de umidade relativa do ar

A temperatura média anual de Lajeado/RS manteve-se praticamente estável no período de 2003 a 2006, apresentando uma média total no período de 20,22 °C (Tabela 08).

Para verificar a existência de uma relação entre a temperatura média anual e o volume anual de C, no período de 2003 a 2006, elaborou-se o Gráfico 05. Neste gráfico verificou-se uma correlação regular (Tabela 04), pois enquanto o volume anual de C cresce de 2003 a 2006, a temperatura média anual varia, ou seja, diminui entre os anos de 2003 a 2004, aumenta entre os anos de 2004 a 2005 e diminui entre os anos de 2005 a 2006.

Tabela 08 - Série temporal do C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS, da temperatura média anual de Lajeado/RS, da precipitação pluviométrica anual de Lajeado/RS e do percentual de umidade relativa do ar média anual de Lajeado/RS.

Tempo (anos)	Consumo (m ³)	Temperatura (°C)	Precipitação Pluviométrica (mm)	Umidade Relativa do Ar (%)
2003	2.760.540	20,2	1.856,6	76
2004	2.814.275	20,0	1.038,4	73
2005	2.918.871	20,4	1.404,9	76
2006	3.033.143	20,3	1.229,9	78
2007	3.118.841	---	1.720,7	---

Fonte: Série temporal do volume de C foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN de Lajeado/RS, da temperatura média anual, da precipitação pluviométrica anual e do percentual de umidade relativa do ar foi adquirida junto ao Banco de Dados da CIH (2009) da UNIVATES, e esta tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

Através do coeficiente de correlação do volume de C e da temperatura média anual $r = 0,58$, comprova-se uma correlação regular (Tabela 04). Esta correlação regular demonstra que a variação do consumo pouco depende da variação da temperatura média anual.

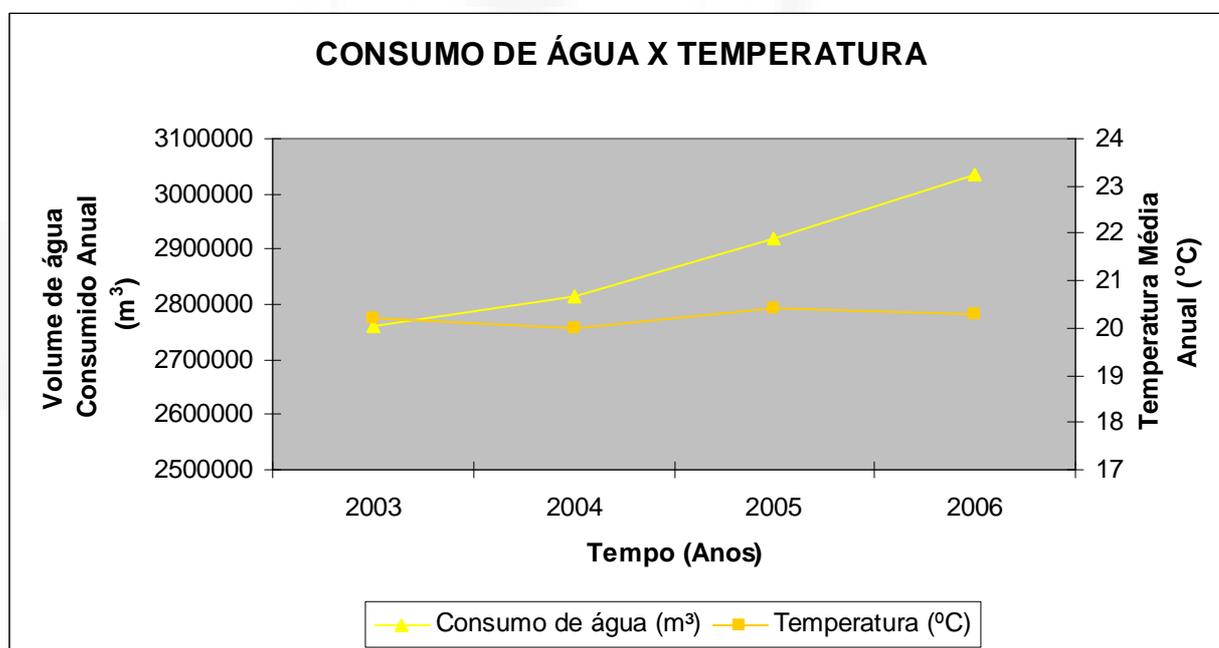


Gráfico 05 – Representação gráfica do C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS versus a temperatura média anual de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal do volume de C foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) de Lajeado/RS e da temperatura média anual foi adquirida junto ao Banco de Dados da CIH (2009) da UNIVATES, e este gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

No entanto, o coeficiente de determinação entre o volume anual do C e da temperatura média anual é $r^2 = 0,34$, indicando que apenas 34% do comportamento do volume anual de C deve-se ao aumento ou diminuição da temperatura média anual.

Outra variante que se verifica é a precipitação pluviométrica (Tabela 08), a qual não apresenta uma variação uniforme no período de 2003 a 2007 e sua média anual total do período é 1.450,10 mm de chuva.

Ao comparar-se a precipitação pluviométrica anual com o volume anual de C no período de 2003 a 2007, para verificar se existe uma relação de dependência destas (Gráfico 06), percebe-se que, entre o volume anual de C e a precipitação pluviométrica anual, de Lajeado/RS, existe uma fraca correlação de dependência. Esta fraca correlação é confirmada pelo coeficiente de correlação, onde $r = 0,04$.

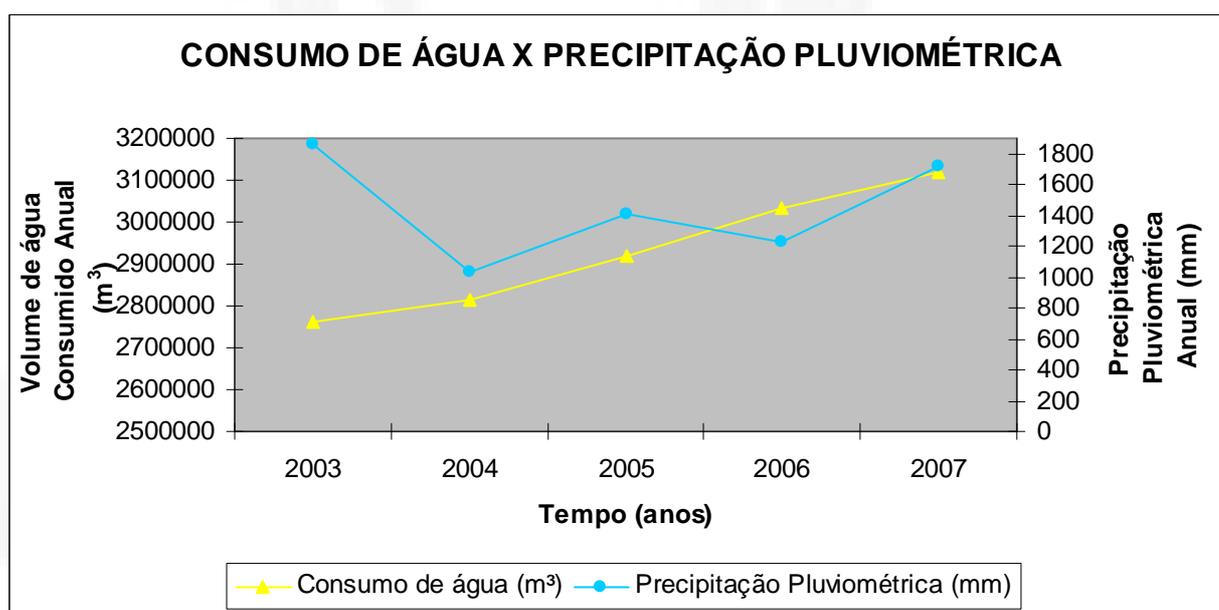


Gráfico 06 – Representação gráfica do volume de C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS versus a precipitação pluviométrica total anual de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal do volume de C foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) de Lajeado/RS e da Precipitação pluviométrica anual foi adquirida junto ao Banco de Dados da CIH (2009) da UNIVATES, e este gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software Microsoft® Office Excel 2003*.

O mesmo se aplica ao coeficiente de determinação entre o volume anual de C e a precipitação pluviométrica anual que é de $r^2 = 0,002$, revelando, da mesma forma, uma inexistência de correlação entre as variáveis. Outros fatores devem ser considerados para explicar este comportamento.

Tanto o coeficiente de correlação quanto o coeficiente de determinação confirmam a inexistência do grau de dependência e da explicação de que o volume anual de C é explicado em função da precipitação pluviométrica anual.

A umidade relativa do ar (Tabela 08) também é considerada uma variável que influencia no C e sua média anual em valores percentuais, no período de 2003 a 2006 é 75,75%. A correlação entre o volume anual de C e o percentual de umidade relativa do ar média anual, ao analisar o Gráfico 07, é considerada forte (Tabela 04), tanto no grau de dependência quanto na percepção do volume anual de C ser explicado em função do aumento ou diminuição da umidade relativa do ar média anual. O resultado do coeficiente de correlação entre o volume de C e a umidade relativa do ar média anual é $r = 0,68$.

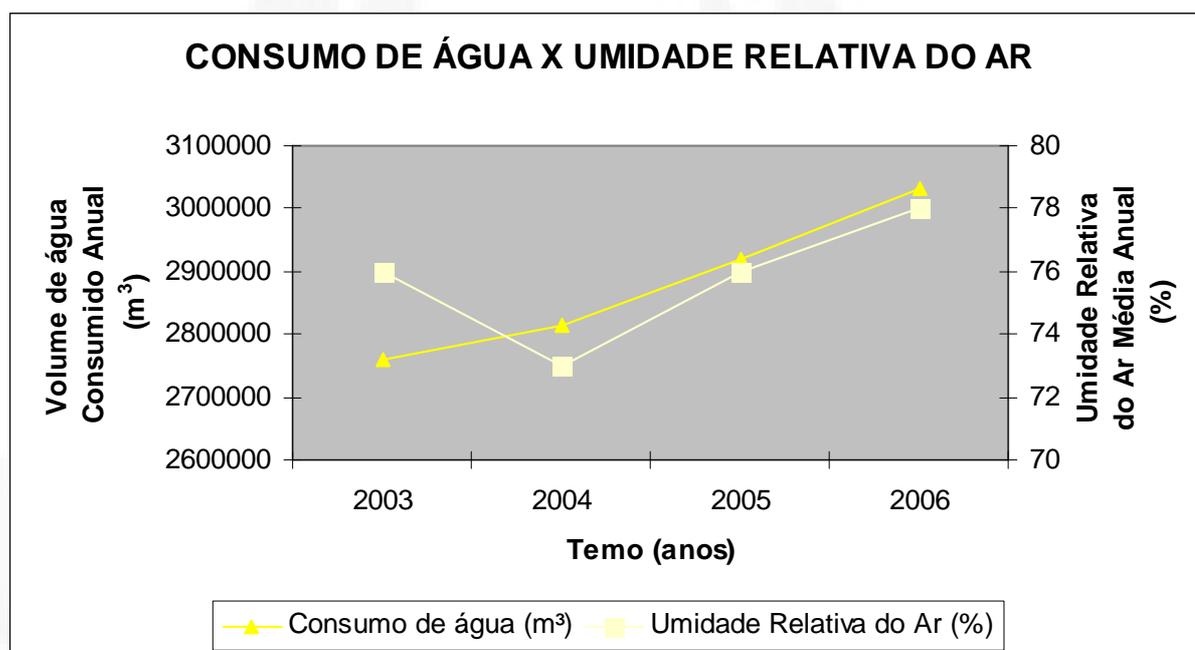


Gráfico 07 – Representação gráfica do volume de C do SAA da CORSAN de Lajeado/RS versus o percentual de umidade relativa do ar média anual de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal do volume de C foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) de Lajeado/RS e da umidade relativa do ar média anual foi adquirida junto ao Banco de Dados da CIH (2009) da UNIVATES, e este gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software Microsoft® Office Excel 2003*.

O resultado do coeficiente de determinação entre o volume anual de C e o percentual de umidade relativa do ar média anual é $r^2 = 0,46$. O que também indica uma forte correlação (Tabela 04) entre as variáveis.

Por conseguinte, ao comparar-se a temperatura média anual, a precipitação pluviométrica anual e a umidade relativa do ar média anual, com o volume anual de C, conclui-se que o comportamento do volume de C varia, com grau forte, em função da umidade relativa do ar. Portanto, o aumento do volume anual de C é explicado também em função de outros fatores, o que foge do escopo deste estudo.

3.5 As perdas na distribuição de água pelo SAA

As perdas na distribuição de água pelo SAA da CORSAN de Lajeado/RS ocorrem entre a água armazenada nos reservatórios da ETA considerada volume anual de ATP, e o volume anual de C. A Tabela 09 foi elaborada para melhorar a visualização destas perdas.

Tabela 09 - Série temporal do volume anual de perdas do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Tempo (anos)	Perdas = $(ATP - C)$ (m ³)	Perdas = $\left(\frac{C}{ATP}\right) \cdot 100$ (%)
2000	1.768.429	40,6
2001	1.667.863	38,6
2002	2.102.988	44,5
2003	2.272.460	45,2
2004	2.577.725	47,8
2005	2.417.129	45,3
2006	2.556.857	45,7
2007	2.283.159	42,3
Crescimento total (%)	29,11 %	4,18 %
Crescimento médio anual (%)	3,64 %	0,52 %

Fonte: Série temporal do volume anual de perdas adquirida da diferença entre o volume anual de ATP e o volume anual de C. E esta tabela foi elaborada pelo autor através do Software Microsoft® Office Excel 2003.

As perdas (m³) cresceram em 29,11% entre o período de 2000 a 2007 (Tabela 09), representando um aumento médio anual de 3,64%. E a média total de perdas (%), no mesmo período, é de 43,75%.

Relembrando que o crescimento do volume, entre 2000 a 2007, de ABC é 16,46%, de ATP é 22,52% e de C é 18,98%, e com a informação das perdas (%)

que aumentaram em 4,18%, percebe-se que o crescimento do volume de ATP sendo maior que o crescimento de C é explicado pelo aumento das perdas. Portanto, ao passo que as perdas (%) aumentam, o volume de ATP tem a necessidade de crescer num mesmo percentual para suprir o volume de C ou vice-versa.

Houve dois estudos realizados em regiões diferentes, mas com o mesmo porte de população: um em Botucatu/SP (Herrera, 1996) que apresentou redução das perdas de 5,03% entre 1990 a 1995, ou seja, redução média anual de 1%; outro em Dourados/MS (Ayres, 2000) que apresentou crescimento das perdas de 10,02% entre 1990 a 1999, ou seja, crescimento médio anual de 1%. Comparando-se estes resultados (Herrera, 1996) e (Ayres, 2000) das perdas médias anuais com as perdas do SAA da CORSAN de Lajeado/RS que o crescimento médio anual é de 0,52%, percebe-se que as perdas do SAA da CORSAN de Lajeado/RS e Dourados/MS crescem na medida em que os resultados de Herrera (1996) decrescem.

No Gráfico 08, observa-se o comportamento do C (m³) em relação às perdas (%), numa relação quase inversa, ou seja, quando o volume de C diminui o percentual das perdas aumenta e/ou vice-versa. Os coeficientes de correlação $r = 0,35$ e o coeficiente de determinação $r^2 = 0,12$ indicam que existe uma regular correlação de dependência ou relação entre as variáveis.

A pressão interna da tubulação da água interfere nas perdas de água na distribuição. Portanto quanto maior for a pressão da água maior será a perda, este fato ocorre para manter a mesma demanda do volume de C. E através do Gráfico 08 conclui-se que houveram consertos nas tubulações para diminuir as perdas, pois no momento que estas perdas diminuíram o volume de C aumentou praticamente na mesma proporção.

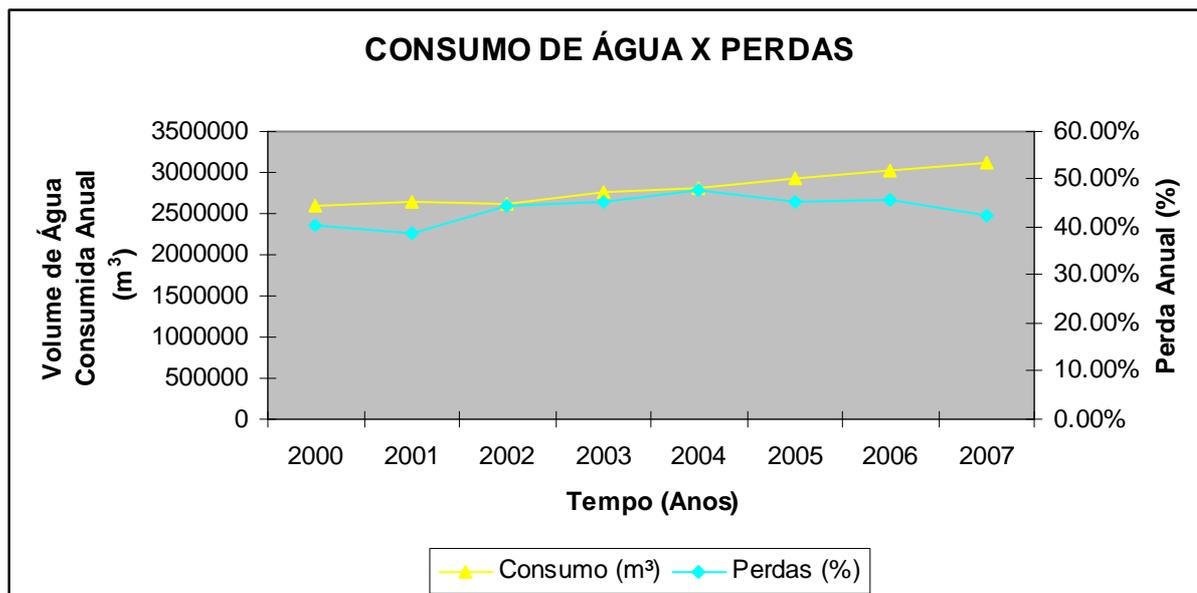


Gráfico 08 – Representação gráfica do volume anual de C (m³) versus as perdas (%) do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal do volume de C foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) de Lajeado/RS e a série temporal do volume anual de perdas adquirida da diferença entre o volume anual de ATP. E este gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software Microsoft*® Office Excel 2003

No Gráfico 01 quando verificada uma diminuição do volume de ABC entre 2000 a 2001 e de 2006 a 2007, havia duas prováveis causas: a diminuição das perdas na distribuição de água ou os erros no momento da coleta. Com o auxílio do Gráfico 08, comprova-se que a diminuição do volume de ABC ocorreu em função da diminuição das perdas de água nas redes distribuidoras de água no mesmo período.

3.6 Evolução da extensão da rede de água

No SAA o volume de ATP é distribuído até a residência do consumidor através de tubulações subterrâneas, denominadas redes distribuidoras de água.

Para determinar a extensão total da rede distribuidora de água são incluídos o comprimento da adução e as malhas de distribuidores e excluídos os ramais prediais.

O comportamento do crescimento da extensão da rede distribuidora de água, entre 2000 a 2007, não é uniforme (Tabela 10). Esta tabela também apresenta a

quantidade de ligações totais de água, incluindo as ligações ativas e inativas, e providas ou não de hidrômetros.

Tabela 10 - Série temporal da extensão da rede de distribuição e a quantidade de ligações totais de água do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Tempo (Ano)	Extensão da rede (Km)	Crescimento anual da extensão da rede (%)	Quantidade de ligações (Ligação)	Crescimento anual da quantidade de ligações (%)
2001	233	---	12.175	---
2002	237	1,72	12.520	2,83
2003	237	0,00	12.830	2,48
2004	237	0,00	13.150	2,49
2005	237	0,00	13.431	2,14
2006	238	0,42	14.150	5,35
2007	253	6,30	14.655	3,57
Crescimento	20 Km	8,44 %	2.480 Ligações	18,86 %
Média	2,86 Km	1,41 %	354 Ligações	3,41 %

Fonte: Série temporal da extensão da rede e da quantidade de ligações foi adquirida junto ao Banco de Dados do SNIS (2009). E esta tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

A extensão da rede de distribuição de água, entre 2001 e 2007, cresceu 8,44%, representando um crescimento médio anual de 1,41%. A extensão da rede de distribuição aumentou 20 Km, entre 2001 e 2007 (Tabela 09), ou seja, um aumento médio anual de 2,86 Km. Já a quantidade de ligações totais de água cresceu 18,86%, entre 2001 e 2007, ou seja, um crescimento médio anual de 3,41%. Este crescimento no número de ligações, entre 2001 e 2007, corresponde a 2.480 ligações, ou seja, um crescimento médio anual de 354 ligações.

Ao comparar o aumento médio anual de 2,86 Km da rede de distribuição de água, com o crescimento médio anual de 354 ligações, nota-se um aumento médio de 8,08 metros de rede de distribuição de água para cada ligação.

A extensão da rede de distribuição de água, entre 2002 e 2005 estava paralisada, já entre 2000 e 2002, e 2005 e 2007 houve um crescimento (Gráfico 09). Por outro lado, o aumento da quantidade de ligações, entre 2001 e 2007, manteve-se praticamente uniforme.

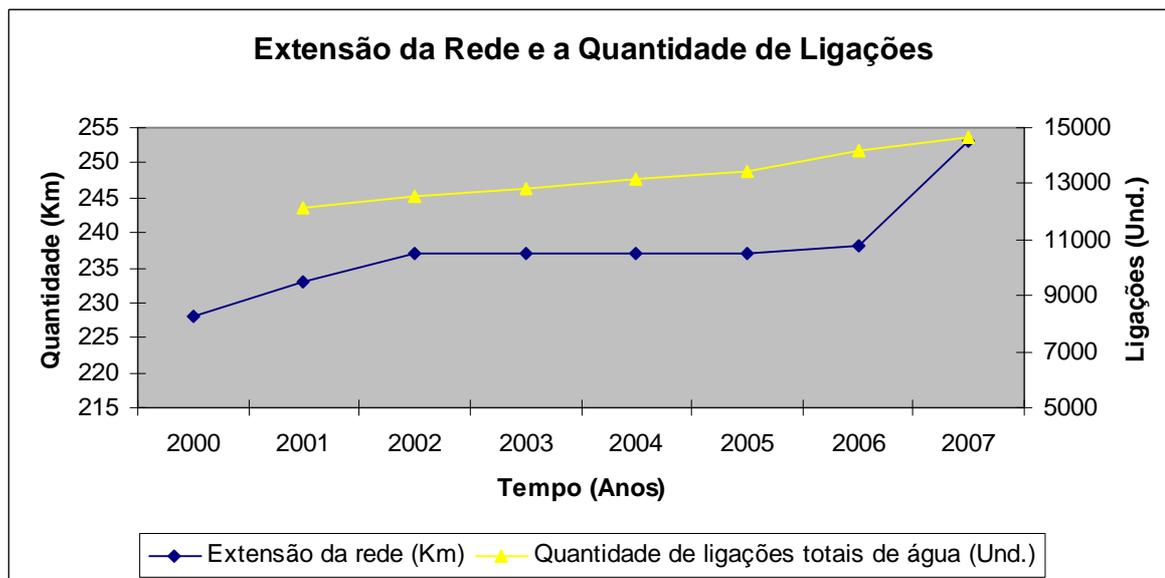


Gráfico 09 – Representação gráfica da extensão da rede de distribuição e da quantidade de ligações de água do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal da extensão da rede e da quantidade de ligações foi adquirida junto ao Banco de Dados do SNIS (2009). E este gráfico foi elaborado pelo autor no *Software Microsoft® Office Excel 2003*.

3.7 O volume de consumo de água por setores

Os setores que se destacam no SAA da CORSAN de Lajeado/RS, são os seguintes: residencial, comercial, industrial e público.

O volume de C de água no setor residencial é o volume de água consumida nas residências (banho, vaso sanitário, louça, comida, limpeza, plantas, etc.), com ou sem a instalação de hidrômetros, na região urbana abastecida pelo SAA da CORSAN.

O volume de C no setor comercial é o volume de água consumida pelos estabelecimentos comerciais e serviços (vasos sanitários e limpeza), instalados na região urbana de Lajeado/RS e abastecidos pelo SAA da CORSAN.

No setor industrial o volume de C é a água utilizada pelas indústrias para produção de produtos. Estas indústrias estão instaladas na região urbana de Lajeado/RS e abastecidas pelo SAA da CORSAN.

O volume de C no setor público é o volume de água consumido por hospitais, entidades filantrópicas, escolas públicas no âmbito municipal e estadual, e entidades institucionais públicas em geral. Estes setores públicos estão instalados em Lajeado/RS e abastecidos pelo SAA da CORSAN.

Do volume total de C, em 2007, o setor residencial corresponde a 84%, o setor comercial a 13%, o setor industrial a 1% e o setor público a 2% (Gráfico 10).

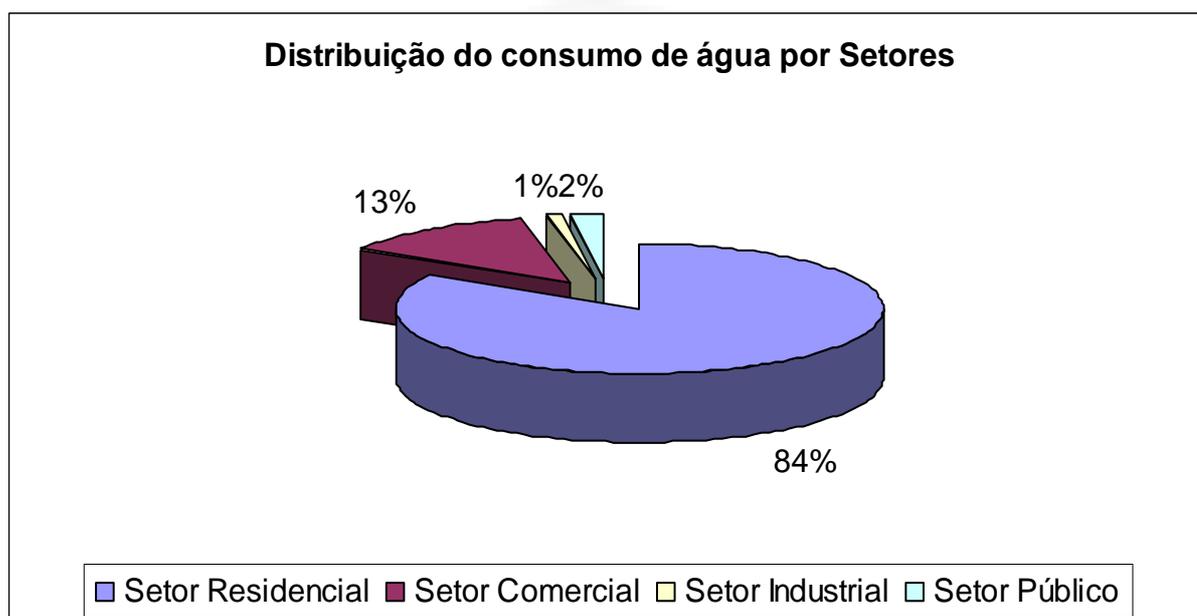


Gráfico 10 - Distribuição em percentual, do volume de C, dos setores residencial, comercial, industrial e público, no ano de 2007.

Fonte: A distribuição do volume de água por setores foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) da agência de Lajeado/RS. E este gráfico foi elaborado pelo autor no *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

O estudo de Herrera (1996) na cidade de Botucatu/SP, entre 1990 e 1995, concluiu que do consumo total de água o setor residencial correspondia a 76%, o setor comercial a 11%, o setor outros (Público) a 10% e o setor industrial a 3%.

Ayres (2000) na cidade de Dourados/MS, entre 1998 e 1999, concluiu que do consumo total de água o setor residencial correspondia a 90,96%, o setor comercial a 5,58%, o setor público a 3,35% e o setor industrial a 0,11%.

Portanto, verifica-se que o setor de maior consumo de água dos estudos é o residencial, onde em Lajeado/RS corresponde a 84%, em Botucatu/SP a 76% e em Dourados/MS a 90,96% do consumo total de água. Estes três estudos onde o maior

consumo é o residencial pode ser explicado em função do SAA dos três estudos estarem inseridos numa área de abastecimento unicamente urbana, onde naturalmente existe um maior número de economias residenciais.

O setor industrial apresentou o menor percentual do consumo total de água, apresentando em Lajeado/RS 1%, em Botucatu/SP 3% e em Dourados 0,11% do consumo total de água. Estas cidades indicam uma similaridade entre os percentuais encontrados do consumo total de água no setor industrial. Este fato se atribui em função das indústrias, em sua maioria, não utilizarem a água nos processos produtivos, no entanto, as que utilizam, captam a água de poços profundos de sua propriedade.

3.8 O crescimento da população total

A população total de Lajeado/RS analisada de forma isolada no período, entre 2000 e 2001, decresceu 4,77% (Tabela 11). Cabe salientar que este decréscimo de 4,77% ocorreu pela emancipação dos distritos pertencentes à cidade de Lajeado/RS. A partir das emancipações de seus distritos a cidade de Lajeado/RS apresenta uma área urbana de 97% e sua área rural de 3%.

Quando analisada a população total de Lajeado/RS no período total estudado, entre 2000 e 2007, o crescimento é de 5,30%, representando um crescimento médio anual de 0,76%. Já a população abastecida pelo SAA da CORSAN de Lajeado/RS cresceu 13,46%, entre 2000 e 2007, representando um crescimento médio anual de 1,92% (Tabela 11). Portanto, percebe-se que o crescimento da população abastecida foi maior que o crescimento da população total (Gráfico 11).

Tabela 11 - Série temporal da população total, da população abastecida e da população não abastecida pelo SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Tempo (Anos)	População total (habitantes)	Crescimento por ano (%)	População abastecida (habitantes)	Crescimento por ano (%)	População não abastecida (habitantes)	Crescimento por ano (%)
2000	64.133	---	49.272	---	14.861	---
2001	61.072	-4,77	50.964	3,43	10.108	-31,98
2002	62.023	1,56	53.312	4,61	8.711	-13,82
2003	63.045	1,65	54.128	1,53	8.917	2,36
2004	65.190	3,40	55.776	3,04	9.414	5,57
2005	66.378	1,82	56.890	2,00	9.488	0,79
2006	66.900	0,79	54.394	-4,39	12.506	31,81
2007	67.474	0,86	56.151	3,23	11.323	-9,46
Crescimento	3.341 hab.	5,30 %	6.879 hab.	13,46 %	-3.538 hab.	-14,73 %
Médias	417 hab.	0,76 %	859 hab.	1,92 %	-442 hab.	-2,10 %

Fonte: Série temporal da população total foi adquirida junto ao Banco de Dados do IBGE (2009) agência de Lajeado/RS e a série temporal da população abastecida e a população não abastecida foram adquiridos junto ao Banco de Dados do SNIS (2009). E esta tabela foi elaborada pelo autor no software Microsoft® Office Excel 2003.

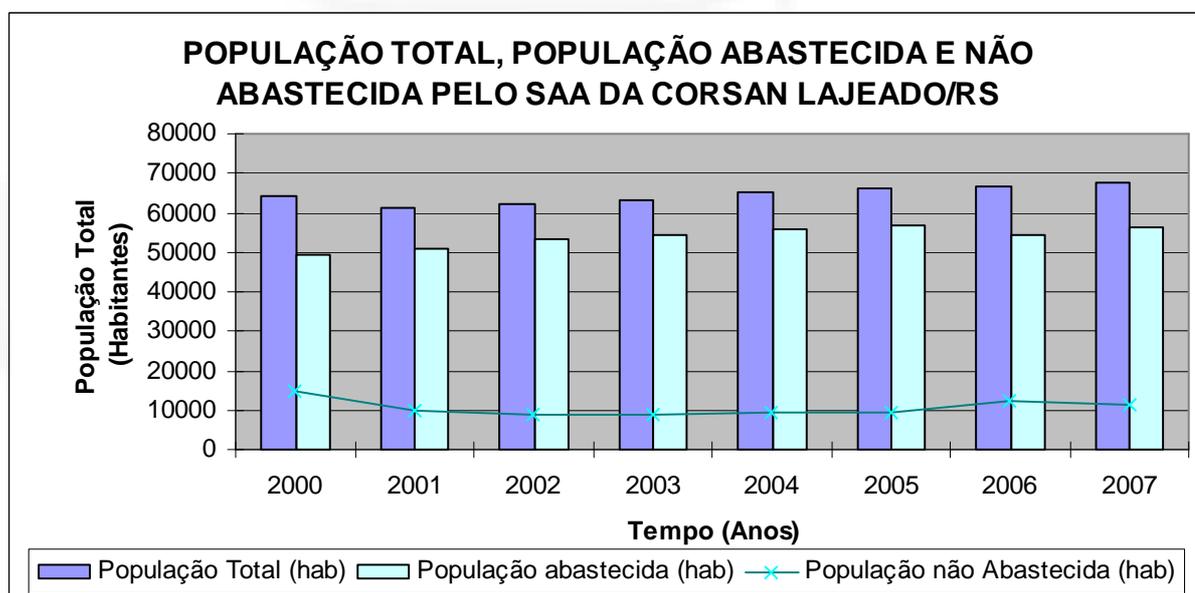


Gráfico 11 – Representação gráfica da população total em habitantes, da população abastecida e não abastecida em habitantes pelo SAA da CORSAN/RS da cidade de Lajeado/RS, entre os anos de 2000 a 2007.

Fonte: Série temporal da população total foi adquirida junto ao Banco de Dados do IBGE (2009) agência de Lajeado/RS e a série temporal da população abastecida e a população não abastecida foram adquiridos junto ao Banco de Dados do SNIS (2009). E este gráfico foi elaborado pelo autor no software Microsoft® Office Excel 2003.

A população não abastecida pelo SAA da CORSAN de Lajeado/RS, entre 2000 e 2007, decresceu 14,73%, representando um decréscimo médio anual de 2,10%.

Conclui-se que o crescimento médio da população abastecida (1,92% anual) é maior que o crescimento médio da população total (0,76% anual). O decréscimo médio da população não abastecida (2,10% anual) é superior ao crescimento médio da população abastecida.

Quando comparamos a população abastecida com o volume de água consumido (Gráfico 12), verifica-se que a população abastecida esteve em seu auge em 2005, e depois teve um decréscimo em 2006, mas voltou a crescer em 2007, não alcançando o mesmo número de habitantes do ano de 2005. O consumo de água também não teve um crescimento uniforme no período.

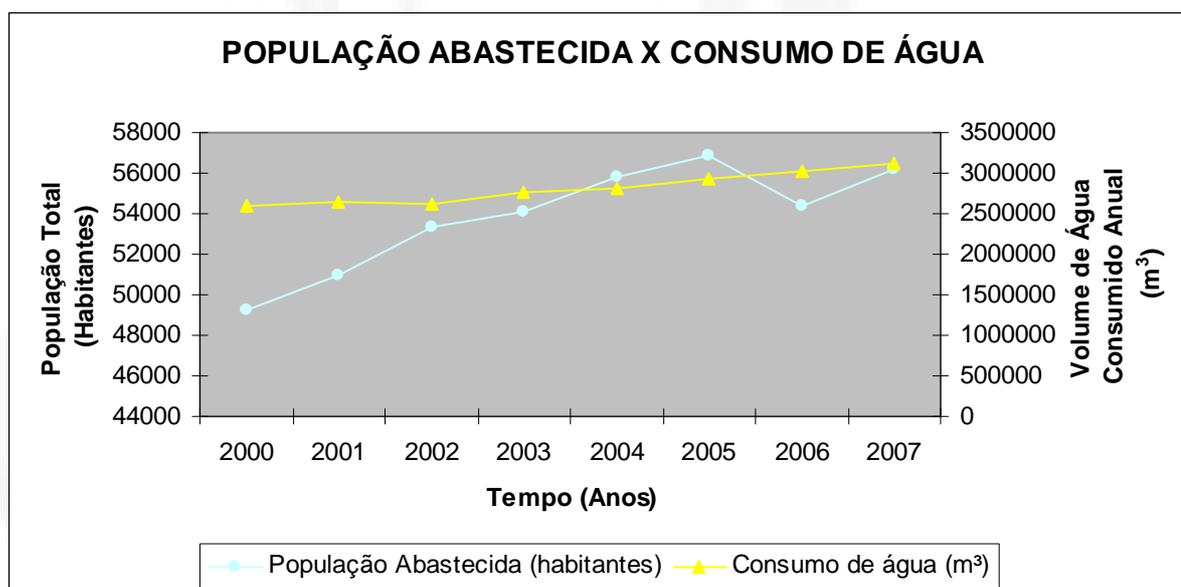


Gráfico 12 – Relação entre a população abastecida, em habitantes, pelo SAA da CORSAN e o volume de água consumida, em metros cúbicos, da cidade de Lajeado/RS.

Fonte: Série temporal da população abastecida foi adquirida junto ao Banco de Dados do SNIS (2009) e a série temporal do volume de C foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) agência de Lajeado/RS. E este gráfico foi elaborado pelo autor no *software* Microsoft® Office Excel 2003.

A relação existente entre a população abastecida e o volume de C, gerou o coeficiente de correlação $r = 0,76$ e o coeficiente de determinação $r^2 = 0,57$. Estes coeficientes indicam uma dependência de grau médio entre as variáveis.

3.9 O consumo *per capita* de água

O consumo *per capita* de água de Lajeado/RS apresenta um crescimento, entre 2000 e 2007, de 6,15% (Tabela 12). Este crescimento total quando distribuído num crescimento médio anual é 1,02%.

Na cidade de São Gabriel/RS houve um decréscimo médio do consumo *per capita*, entre 2000 e 2007, de 5,24% e na cidade de Sapiranga/RS um crescimento médio de 8,82% (SNIS, 2009). Comparando-se o resultado destas cidades com o crescimento médio do consumo *per capita* da cidade de Lajeado/RS, conclui-se que não há um crescimento ou decréscimo regular de consumo *per capita*.

Tabela 12 - Série temporal da população abastecida (habitantes), do volume de C (m³) e do consumo *per capita* de água $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$, da cidade de Lajeado/RS.

Tempo (Anos)	População abastecida (habitantes)	Consumo de água (m ³)	Consumo <i>per capita</i>	Crescimento anual do consumo <i>per capita</i> (%)
2000	49.272	2.589.335	144	---
2001	50.964	2.651.137	143	-1,01
2002	53.312	2.619.012	135	-5,56
2003	54.128	2.760.540	140	3,81
2004	55.776	2.814.275	138	-1,07
2005	56.890	2.918.871	141	1,69
2006	54.394	3.033.143	153	8,68
2007	56.151	3.118.841	152	-0,39
Crescimento	6.879 hab.	---	$8 \left(\frac{L}{hab.dia}\right)$	6,15 %
Média	859 hab.	---	$1,14 \left(\frac{L}{hab.dia}\right)$	1,02 %

Fonte: Série temporal da população abastecida foi adquirida junto ao Banco de Dados do SNIS (2009) e a série temporal do volume de C foi adquirida junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) agência de Lajeado/RS, e o volume de consumo *per capita* foi calculado pela fórmula $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$. E

esta tabela foi elaborada pelo autor no Software Microsoft[®] Office Excel 2003.

O consumo *per capita* de água no estado do Rio Grande do Sul, em 2007, foi $169 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$, enquanto que na cidade de Lajeado/RS foi $152 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$. Percebe-se que existe uma semelhança entre o consumo *per capita* do estado do Rio Grande do Sul e de Lajeado/RS.

Na cidade de Lajeado/RS o consumo *per capita* médio de água, entre 2000 e 2007, foi $143 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$ (Gráfico 13). Percebe-se que nos anos de 2000 a 2005 o consumo *per capita* médio de água foi $140 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$. Quando se acrescenta os anos de 2006 e 2007 o consumo *per capita* médio de água aumenta em $3 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$. Este acréscimo na média é considerável, pois quando se acrescenta na população média de 53.860 habitantes, entre 2000 e 2007, este aumento de $3 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$, obteve-se um aumento médio no consumo de água por ano de $58.976,70 \text{ m}^3 \left[\left(3 \left(\frac{L}{hab.dia} \right) \times 365 \right) \times 53.860 / 1.000 \right]$.

O volume de água de $58.976,70 \text{ m}^3$ é suficiente para abastecer durante o período de um ano municípios do Rio Grande do Sul como: Aceguá, Caiçara, Caseiros, Jaboticaba, Sede Nova, Sentinela do Sul, Severino de Almeida ou Tavares (SNIS, 2009). Estes municípios possuem uma média de população abastecida pelo SAA da CORSAN de 1.353 habitantes.

Os consumos médios *per capita* das cidades com o mesmo tamanho de população abastecida de Lajeado/RS (Tabela 12) no estado do Rio Grande do Sul são: Sapiranga/RS com 127, São Borja/RS com 112, São Gabriel/RS com 116, Farroupilha/RS com 128 e Vacaria/RS com $117 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$ (SNIS, 2009). Já, Lajeado/RS com um consumo médio *per capita* de $143 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$ tem maior consumo *per capita*, apresentando a mesma quantidade de população abastecida.

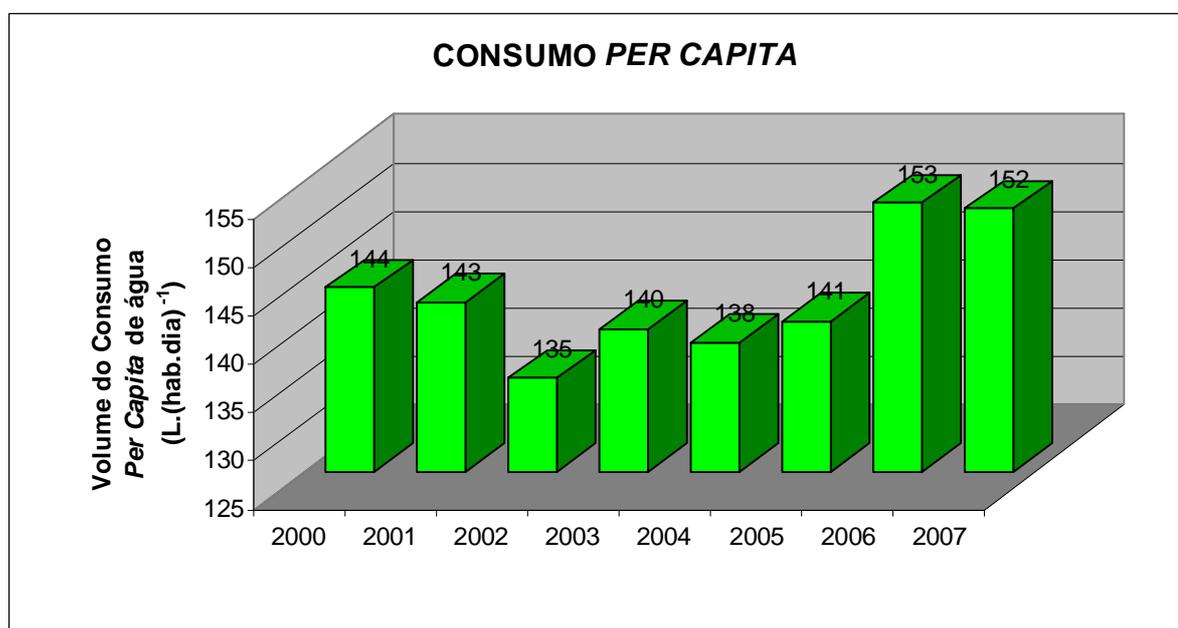


Gráfico 13 – Volume do consumo *per capita* de água $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ da de Lajeado/RS no período de 2000 a 2007.

Fonte: A série temporal do volume de consumo *per capita* foi calculada pela fórmula $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$. E este gráfico foi elaborado pelo autor no Software Microsoft® Office Excel 2003.

Os consumos *per capita* (Tabela 12) quando comparados com os valores típicos de Von Sperling (1996) (Tabela 01), considerando o porte da cidade, são enquadrados como aceitáveis.

Ao decompor-se o consumo *per capita* de água por setores, nota-se que no setor residencial houve um consumo *per capita* de 127 $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ (Tabela 13).

Tabela 13 – Volume de consumo *per capita* de água por setores, na cidade de Lajeado/RS no ano de 2007.

Setores	Consumo de água (%)	Consumo de água (m ³)	Consumo <i>per capita</i> $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$
Residencial	83,71	2.610.750,61	127
Comercial	12,95	403.983,47	20
Público	2,24	69.706,09	3
Industrial	1,10	34.400,81	2

Fonte: O volume de C em (m³) e (%) foram adquiridos junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) agência de Lajeado/RS. E esta tabela foi elaborada pelo autor através do Software Microsoft® Office Excel 2003.

Este setor residencial, entre os setores caracterizados (Tabela 13), é o maior consumidor. Portanto, pode-se considerar que em Lajeado/RS, no ano de 2007, do consumo *per capita* de $152 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$, 83,71% deste consumo *per capita* pertence ao setor residencial.

Nos setores Comercial, Público e Residencial, somando-se seus consumos *per capita*, encontra-se $25 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$ (Gráfico 14).

Entre o setor comercial, público e industrial, o setor comercial é o mais considerável e seu consumo *per capita* é $20 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$.

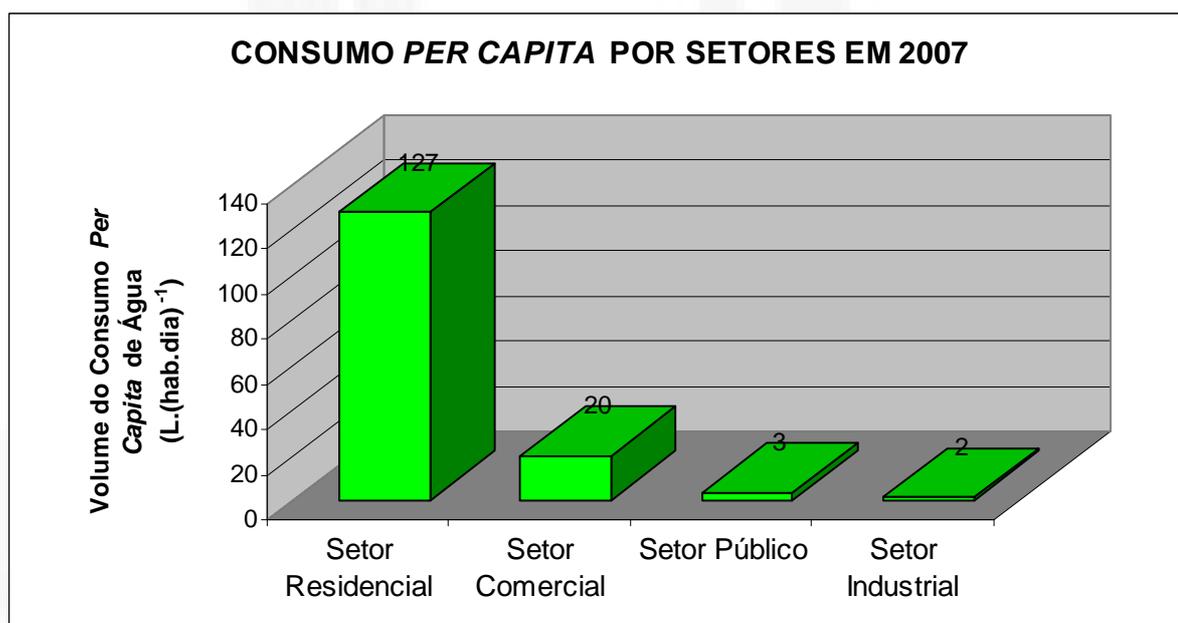


Gráfico 14 – Representação gráfica do consumo *per capita* de água, por setores, na cidade de Lajeado/RS no ano de 2007.

Fonte: O volume de C em (m³) e (%) foram adquiridos junto ao Banco de Dados da CORSAN (2009) agência de Lajeado/RS. E este gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software* Microsoft[®] Office Excel 2003.

O consumo *per capita* do setor residencial, analisando-se os $\left(\frac{L}{hab.dia} \right)$, é 5,08 vezes maior que a soma do setor comercial, público e industrial. Este fato é devido à cidade de Lajeado/RS ser essencialmente urbana e suas indústrias terem poços particulares de utilização da água.

3.10 As variáveis intervenientes que influenciam no estabelecimento do consumo *per capita* de água

As variáveis intervenientes relacionadas, neste estudo, com o consumo *per capita* são as seguintes: população total, população abastecida pelo SAA, temperatura, precipitação pluviométrica, percentual de umidade relativa do ar e a tarifa média cobrada por m³ (Tabela 14).

Tabela 14 – Variáveis intervenientes versus consumo *per capita* de água, na área de abastecimento do SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

Coefficientes	População total versus Consumo <i>per capita</i> (2000 a 2007)	População abastecida versus Consumo <i>per capita</i> (2000 a 2007)	Temperatura versus Consumo <i>per capita</i> (2003 a 2006)	Precipitação pluviométrica versus Consumo <i>per capita</i> (2003 a 2007)	Umidade relativa do ar versus Consumo <i>per capita</i> (2003 a 2006)	Tarifa média por m ³ versus Consumo <i>per capita</i> (2002 a 2007)
r	0,6424	0,0796	0,4604	0,1206	0,8344	0,6462
r ²	0,4126	0,0063	0,2120	0,0145	0,6962	0,4172

Fonte: Os valores de r e r² foram calculados através do software Bioestat 5.0. E esta Tabela foi elaborada pelo autor através do Software Microsoft[®] Office Excel 2003.

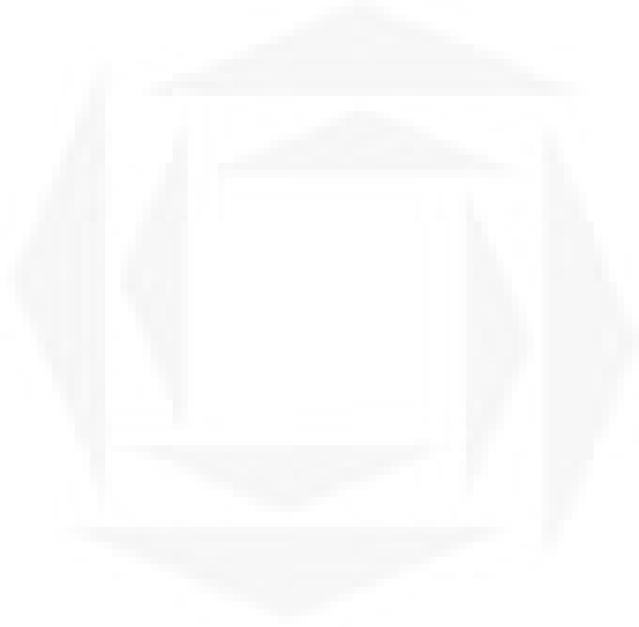
A variável interveniente que se destaca em primeiro lugar é a umidade relativa do ar. Quando se verifica o coeficiente de correlação $r = 0,8344$ e o coeficiente de determinação $r^2 = 0,6962$, exprimem uma alto grau de dependência e de relação de que o consumo *per capita* é explicado em função da variável interveniente umidade relativa do ar.

Em segundo lugar destacam-se as variáveis intervenientes população total e a tarifa média cobrada por m³. Seus coeficientes de correlação e de determinação se assemelham, mas possuem um médio grau de dependência.

Em estudo realizado em 45 municípios do estado de Minas Gerais, Von Sperling *et al.* (2002) concluíram que no consumo *per capita* existe uma influência da precipitação pluviométrica e do porte da comunidade. Já, em Lajeado/RS as

variáveis que influenciam no consumo *per capita* em alto grau é a umidade relativa do ar e em médio grau é a população total e a tarifa média cobrada por m³.

Conclui-se que para cada região existem diferentes tipos de variáveis intervenientes e em graus de relação diferenciadas. Não se pode, portanto, generalizar as variáveis por estados, mas sim, por localidades.



UNIVATES

4 A PREVISÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO SAA DA CORSAN DE LAJEADO

Após determinar a melhor função que se ajusta à série temporal dos dados entre 2000 e 2007, em ordem de menor χ^2 red. pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, utilizou-se o critério da primeira curva que apresentasse um perfil de crescimento dentre as que o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas sugeriu para previsão da linha de tendência a partir de 2008 na intenção de aceitar ou eliminar as funções.

4.1 Previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos)

Entre as várias funções sugeridas para previsão da série temporal do volume de ABC em função do tempo, pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas foi avaliada pelo critério dela apresentar um perfil de crescimento, onde a primeira função encontrada entre as várias sugeridas pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas é a função número 9 e sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$, onde o valor de $A = -.7134E+15$ e de $B = 0.1832E+09$ (Gráfico 15).

A função número 09 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) (Gráfico 16) se ajustou na série temporal com um $\chi^2 = 6$ e um χ^2 red. = 1, com 6 graus de liberdade (gl). O valor crítico

encontrado foi de 12,59 (Tabela 03) num nível de significância de 0,05, ou seja, 5%. O valor de $\chi^2 = 6$ em relação ao valor crítico de 12,59 é considerado menor, portanto o valor de $\chi^2 = 6$ não é rejeitado, sendo aceitável a previsão dos volumes de ABC em função do tempo pela função escolhida pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Para certificação da aceitação desta previsão recorre-se aos coeficientes de correlação e determinação desta função em relação à série temporal efetiva.

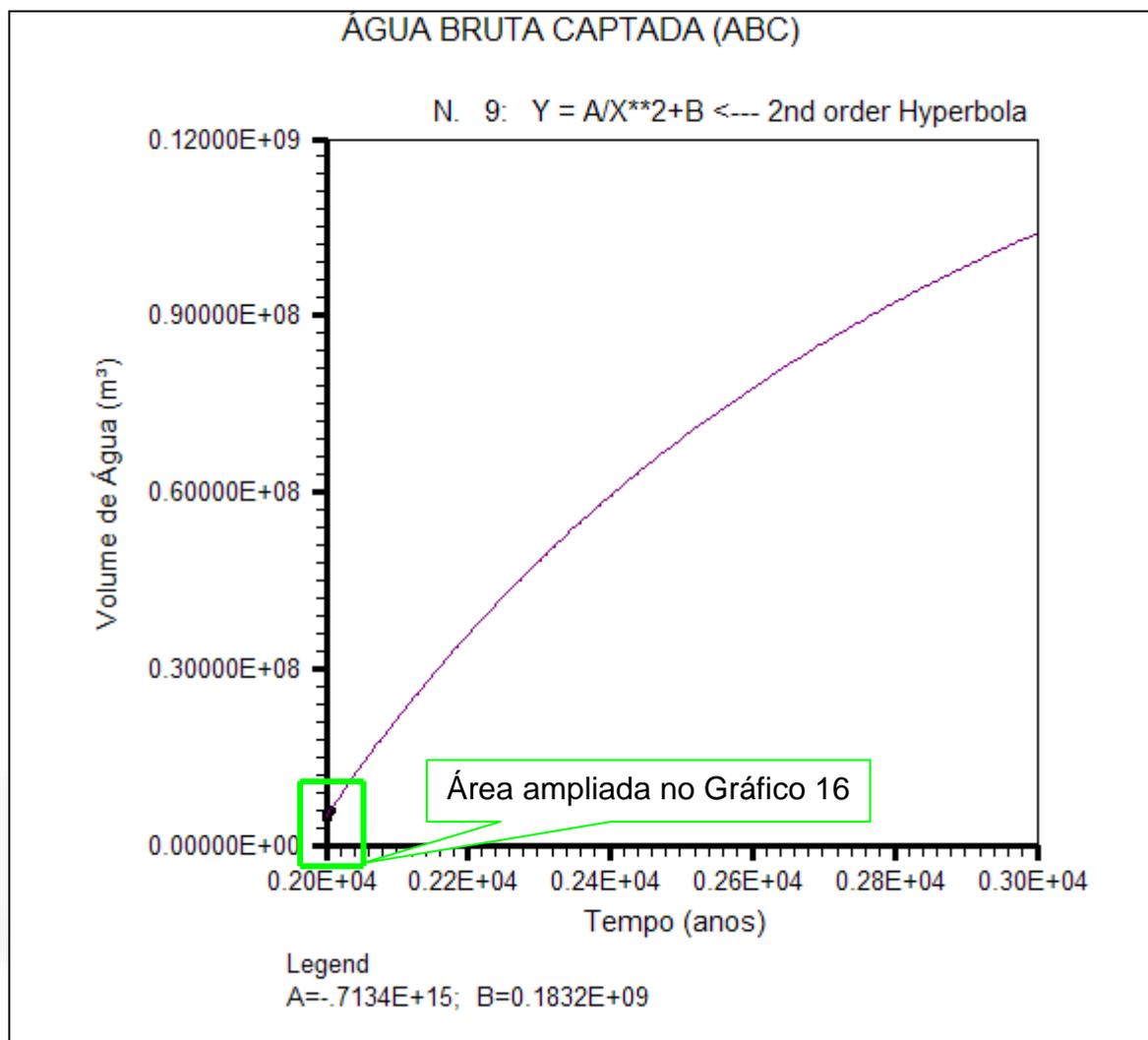


Gráfico 15 – Perfil da curva de ajuste da função número 9 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$ e o valor de $A = -.7134E+15$ e de $B = 0.1832E+09$.

Fonte: Gráfico elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

O coeficiente de correlação determinado pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas é $r = 0,88$, ou seja, afirmar-se que a função indica uma forte correlação de ajuste para previsão do volume de ABC em função do tempo.

Já o coeficiente de determinação indicado pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas é de $r^2 = 0,77$, explicando que 77% do volume de ABC irá variar em função do tempo.

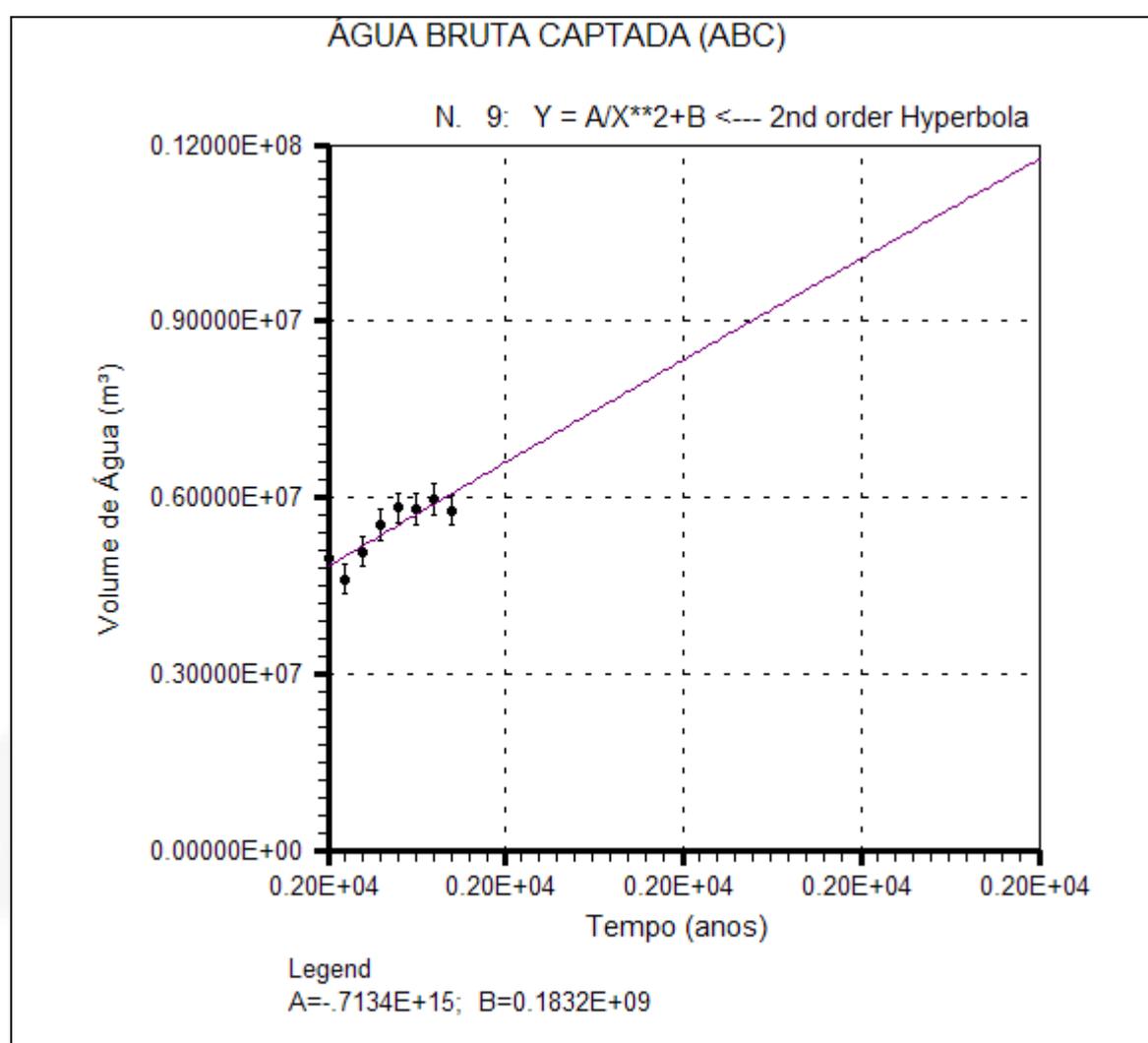


Gráfico 16 - Previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos) através da função número 9 onde sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$ do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, considerando-se a série temporal efetiva de 2000 e 2007, e a previsão a partir destes pontos efetivos a partir de 2008.

Fonte: Gráfico elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

Os coeficientes de correlação e determinação também indicam que a previsão do volume de ABC em função do tempo através da linha de tendência da função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$), a partir de 2008 foi confiável.

O crescimento do volume de ABC na Tabela 15, entre 2008 e 2032, será de 51,59%, representando um crescimento médio anual de 2,15%. Ao comparar-se esta previsão de crescimento médio anual de 2,15% com o efetivo crescimento médio anual, entre 2000 e 2007, de 2,35%, verifica-se que o crescimento médio anual projetado pela função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$), além de ser um percentual aproximado com o crescimento efetivo, ainda é menor.

Tabela 15 – Previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos) efetuado pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função número 9, com a fórmula $y = \frac{A}{X^2} + B$, onde $A = -.7134E+15$ e de $B = 0.1832E+09$.

Tempo (anos)	Previsão do volume de ABC (m ³)	Crescimento Anual (%)
2008	6.240.900	---
2009	6.417.000	2,82
2010	6.592.900	2,74
2011	6.768.500	2,66
2012	6.943.800	2,59
2013	7.118.800	2,52
2014	7.293.600	2,46
2015	7.468.200	2,39
2016	7.642.500	2,33
2017	7.816.500	2,28
2018	7.990.200	2,22
2019	8.163.700	2,17
2020	8.337.000	2,12
2021	8.510.000	2,08
2022	8.682.700	2,03
2023	8.855.200	1,99
2024	9.027.400	1,94
2025	9.199.400	1,91
2026	9.371.100	1,87
2027	9.542.500	1,83
2028	9.713.700	1,79
2029	9.884.700	1,76
2030	10.055.000	1,72

2031	10.226.000	1,70
2032	10.396.000	1,66
Total	---	51,59 %
Média	---	2,15 %

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do *Software Microsoft*® Office Excel 2003.

4.2 Previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos)

Entre as várias funções sugeridas pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, após utilizar-se o critério de a curva apresentar um perfil de crescimento para previsão da série temporal do volume de ATP, a primeira função encontrada foi de número 9 e sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$, onde $A = -.7598E+15$ e de $B = 0.1943E+09$ (Gráfico 17).

A função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) (Gráfico 18) ao ser relacionada com a série temporal do volume de ATP em função do tempo apresentou um valor de $x^2 = 6$ e um x^2 red. = 1, com gl = 6. Ao comparar o valor de $x^2 = 6$, com o valor crítico, num nível de significância de 0,05, ou 5%, de 12,59 (Tabela 03), percebe-se que o $x^2 = 6$ é menor que o valor crítico. Portanto, a previsão da série temporal através da função de número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) não é rejeitada, e sim aceita para realizar a linha de tendência do volume de ATP em função do tempo.

Utilizam-se, também os coeficientes de correlação e de determinação e a comparação do crescimento médio anual efetivo com o crescimento médio anual projetado para comprovar esta aceitação da previsão do volume de ATP em função do tempo através da função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$).

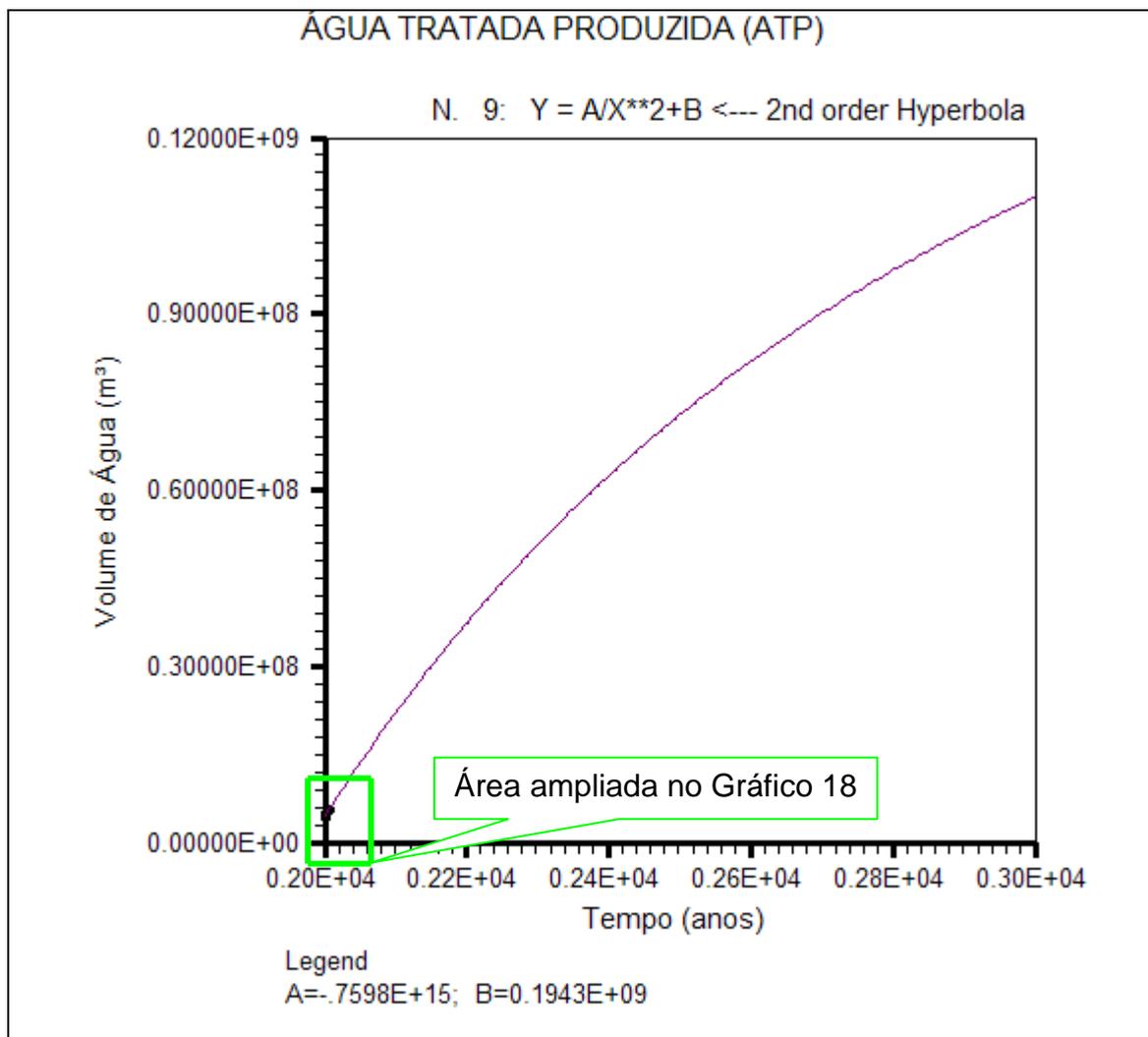


Gráfico 17 – Perfil da curva de ajuste da função número 9 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = \frac{A}{X^2} + B$ e o valor de $A = -.7598E+15$ e de $B = 0.1943E+09$.

Fonte: Gráfico elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

O coeficiente de correlação encontrado pela função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) em relação à série temporal efetiva é $r = 0,93$, ou seja, indica uma correlação muito forte de ajuste da série temporal projetada pela função de número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) com a série temporal efetiva.

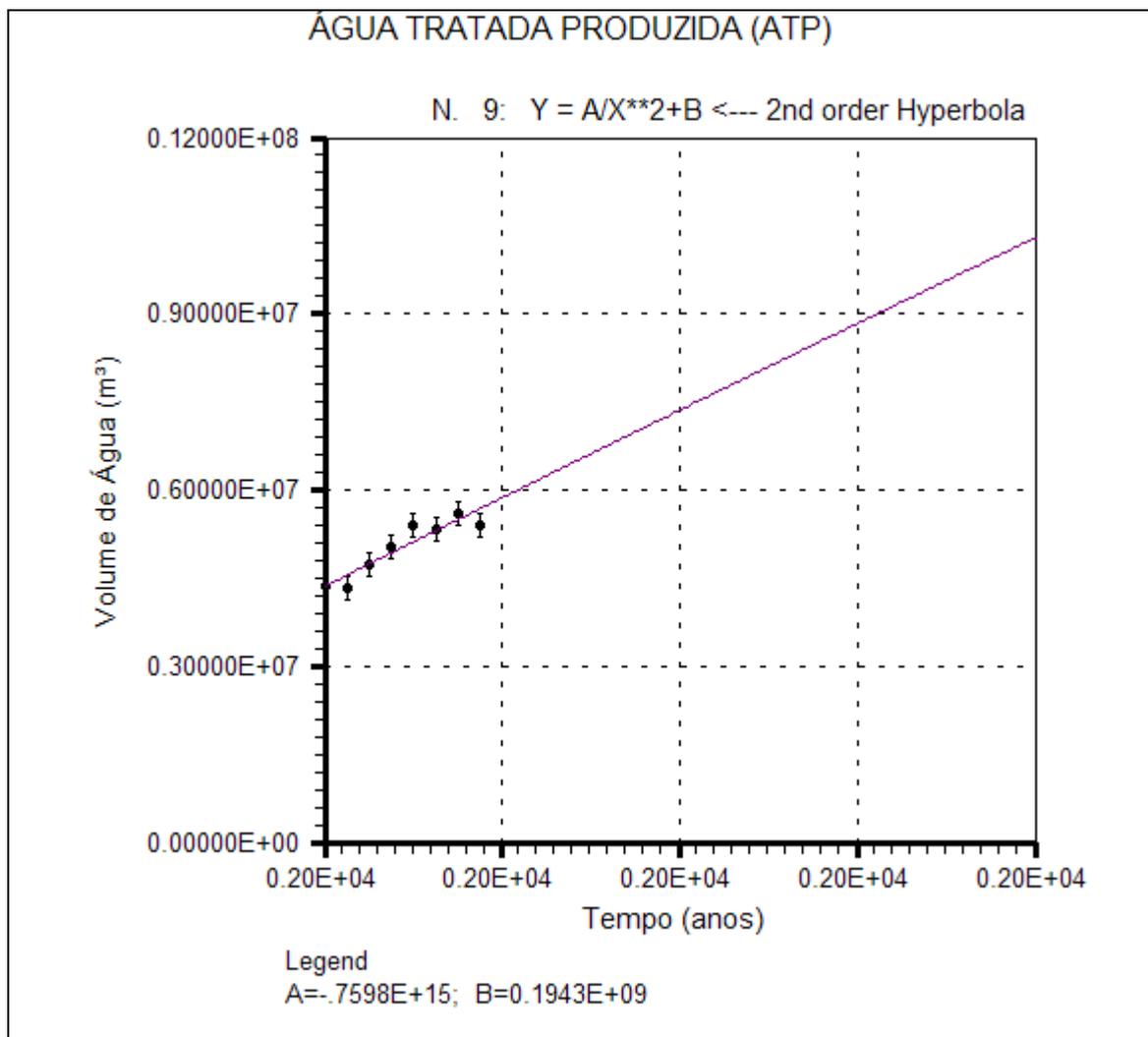


Gráfico 18 – Previsão do volume de ATP (m³) em função do Tempo (anos) através da função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, considerando-se a série temporal efetiva de 2000 e 2007, e a previsão a partir destes pontos efetivos a partir de 2008.

Fonte: Gráfico elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

O coeficiente de determinação encontrado na relação da série temporal efetiva e a projetada através da função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) é $r^2 = 0,87$, ou seja, 87% da variável dependente explica-se pela variável independente.

A série temporal projetada entre 2008 e 2032 irá ter um crescimento de 56,88%, que corresponde a um crescimento médio anual de 2,37% (Tabela 16).

Comparando o crescimento médio anual do volume efetivo de ATP entre 2000 e 2007 (de 3,22%) com o crescimento médio anual da previsão do volume de

ATP entre 2008 e 2032 (de 2,37%), percebe-se que o crescimento do volume projetado de ATP é menor que o crescimento médio do volume efetivo de ATP.

Conclui-se, com os valores de r^2 , os coeficientes de correlação e determinação e o crescimento médio anual, que a previsão do volume de ATP em função do tempo através da função número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$) foi confiável.

Tabela 16 – Previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos) efetuado pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função número 9, com a fórmula $y = \frac{A}{X^2} + B$, onde $A = -.7598E+15$ e de $B = 0.1943E+09$.

Tempo (anos)	Volume projetado de ATP (m ³)	Crescimento Anual (%)
2008	5.867.100	---
2009	6.054.700	3,20
2010	6.241.900	3,09
2011	6.428.900	3,00
2012	6.615.600	2,90
2013	6.802.000	2,82
2014	6.988.200	2,74
2015	7.174.000	2,66
2016	7.359.600	2,59
2017	7.545.000	2,52
2018	7.730.000	2,45
2019	7.914.800	2,39
2020	8.099.300	2,33
2021	8.283.500	2,27
2022	8.467.400	2,22
2023	8.651.100	2,17
2024	8.834.500	2,12
2025	9.017.600	2,07
2026	9.200.500	2,03
2027	9.383.100	1,98
2028	9.565.400	1,94
2029	9.747.400	1,90
2030	9.929.200	1,87
2031	10.111.000	1,83
2032	10.292.000	1,79
Total	---	56,88 %
Média	---	2,37 %

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

4.3 Previsão do volume de C (m³) em função do tempo (anos)

Entre as várias funções de estimativa da linha de tendência do volume de C em função do tempo sugeridas pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, após analisá-las em função do critério de a curva apresentar um perfil de crescimento, a primeira função encontrada foi a função de número 33 e sua fórmula é $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$, onde $A = 0.2790E+11$, $B = -.1115E-15$ e $C = 0.1114E+18$ (Gráfico 19).

A linha de tendência estimada por esta função (Gráfico 20) em relação à série temporal efetiva revela valores de $x^2 = 5$ e $x^2 \text{ red.} = 1$, com $gl = 5$. O valor crítico de x^2 com $gl = 5$ e com um nível de significância de 5% é de 11,07 (Tabela 03). O valor de $x^2 = 5$ é menor quando comparado com o valor crítico de $x^2 = 11,07$, portanto, a função de número 33 ($y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$) não é rejeitada e sim seus valores da série temporal são confiáveis para efetuar a previsão do volume de C em função do tempo.

A função de número 33 ($y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$) apresenta um coeficiente de correlação $r = 0,99$, isto é, este coeficiente indica uma correlação muito forte da relação de precisão de ajuste entre a série temporal efetiva e a série temporal projetada no período de 2000 a 2007, portanto a função de número 33 ($y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$) foi confiável.

O coeficiente de determinação para esta mesma função de número 33 é $r^2 = 0,98$, ou seja, indica forte correlação que o ajuste da série temporal projetada pela função de número 33 ($y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$) foi confiável.

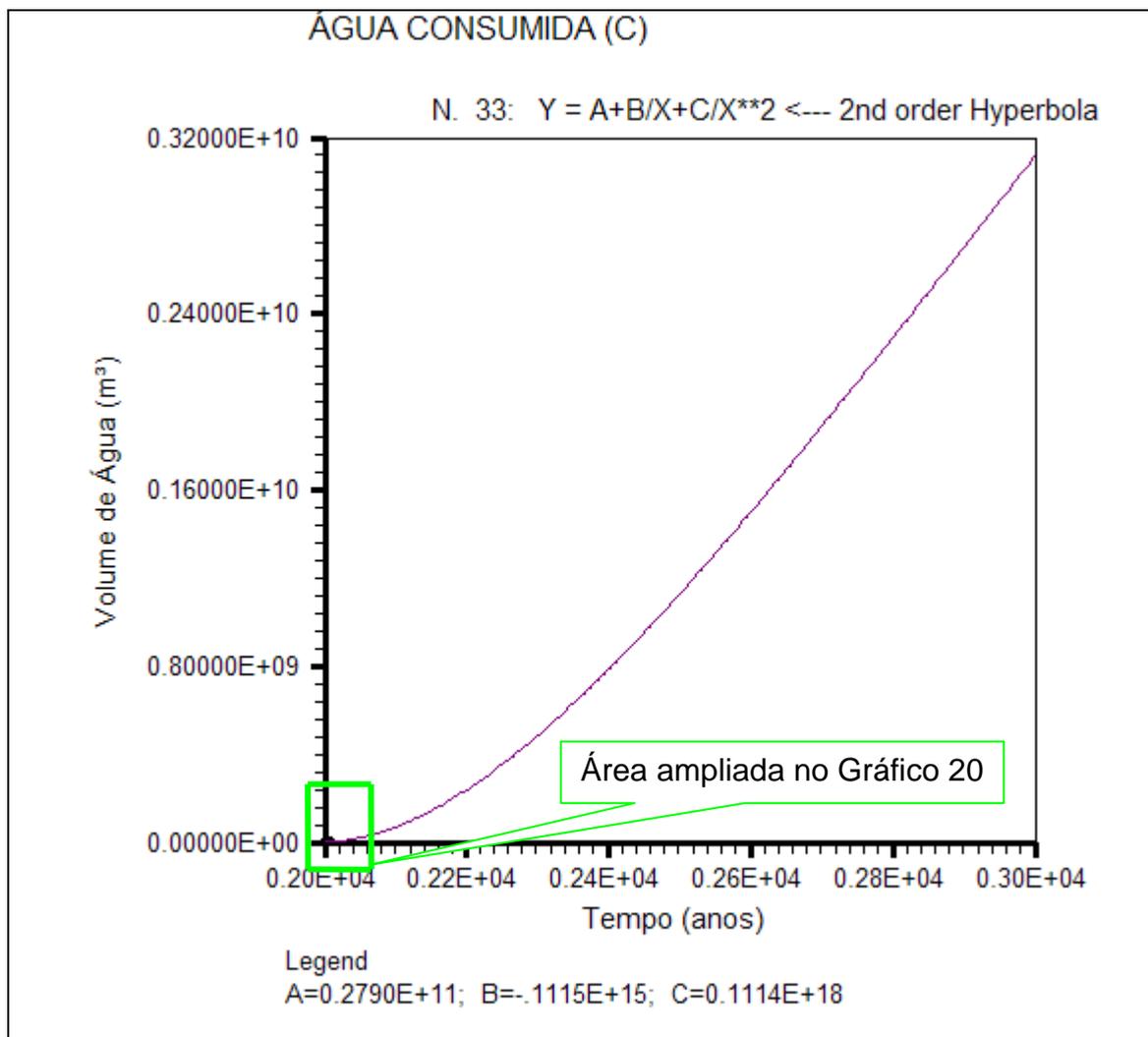


Gráfico 19 – Perfil da curva de ajuste da função número 33 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$, onde $A = 0.2790E+11$, $B = -.1115E-15$ e $C = 0.1114E+18$.

Fonte: Gráfico elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

O crescimento do volume projetado de C entre 2008 e 2032 será de 118,96%, representando um crescimento médio anual de 4,96% (Tabela 17).

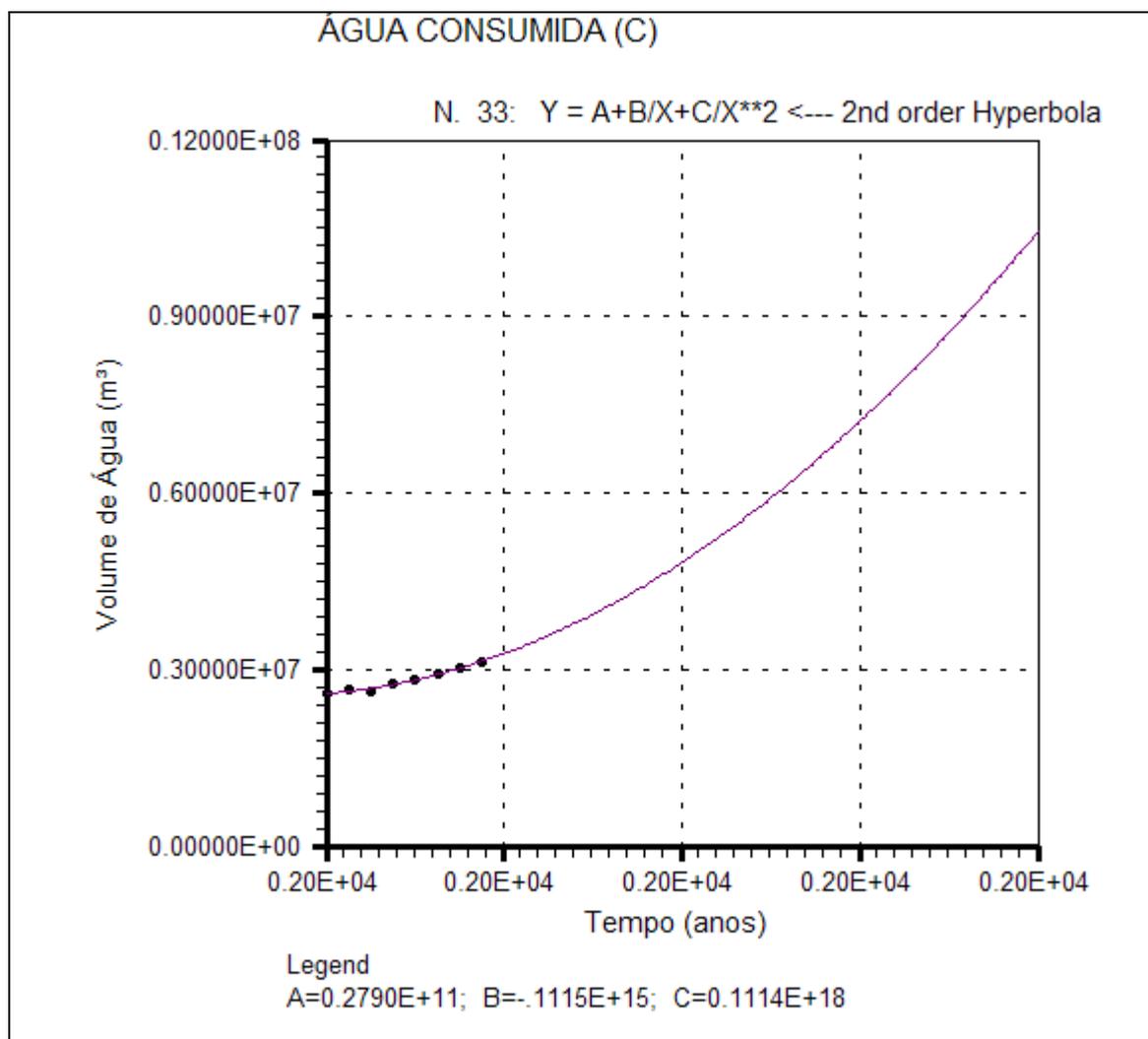


Gráfico 20 – Previsão do volume de C (m³) em função do tempo (anos) através da função número 33 onde sua fórmula é $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$ do software LAB Fit Ajuste de Curvas, considerando-se a série temporal efetiva de 2000 e 2007, e a linha de regressão entre 2008 e 2032.

Fonte: Gráfico elaborado pelo autor através do software LAB Fit Ajuste de Curvas.

Tabela 17 – Previsão do volume de C (m³) em função do tempo (anos) pelo software LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função número 33, sua fórmula é $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$, onde $A = 0.2790E+11$, $B = -.1115E-15$ e $C = 0.1114E+18$.

Tempo (anos)	Previsão do Volume de C (m ³)	Crescimento Anual (%)
2008	3.267.800	---
2009	3.414.300	4,48
2010	3.574.300	4,69
2011	3.747.800	4,85
2012	3.934.700	4,99
2013	4.135.000	5,09
2014	4.348.700	5,17
2015	4.575.700	5,22
2016	4.816.000	5,25
2017	5.069.500	5,26
2018	5.336.200	5,26
2019	5.616.000	5,24
2020	5.909.000	5,22
2021	6.215.100	5,18
2022	6.534.200	5,13
2023	6.866.300	5,08
2024	7.211.300	5,02
2025	7.569.300	4,96
2026	7.940.200	4,90
2027	8.323.900	4,83
2028	8.720.400	4,76
2029	9.129.700	4,69
2030	9.551.700	4,62
2031	9.986.400	4,55
2032	10.434.000	4,48
Total	---	118,96 %
Média	---	4,96 %

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do Software Microsoft® Office Excel 2003

Comparando-se esta previsão de crescimento médio anual de 4,96% com o efetivo crescimento médio anual entre 2000 e 2007 de 2,71%, verifica-se que o crescimento médio anual projetado pela função número 33 ($y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$) é mais elevado, em comparação com o crescimento médio anual efetivo. Enquanto que o crescimento do volume de C entre 2008 a 2032 aumenta, os crescimentos dos volumes de ABC e de ATP se mantêm praticamente os mesmos percentuais dos crescimentos dos volumes efetivos de ABC e de ATP. Este aumento do

crescimento do volume de C em função do tempo percebe-se no Gráfico 21, em relação ao ABC e ao ATP em função do tempo.

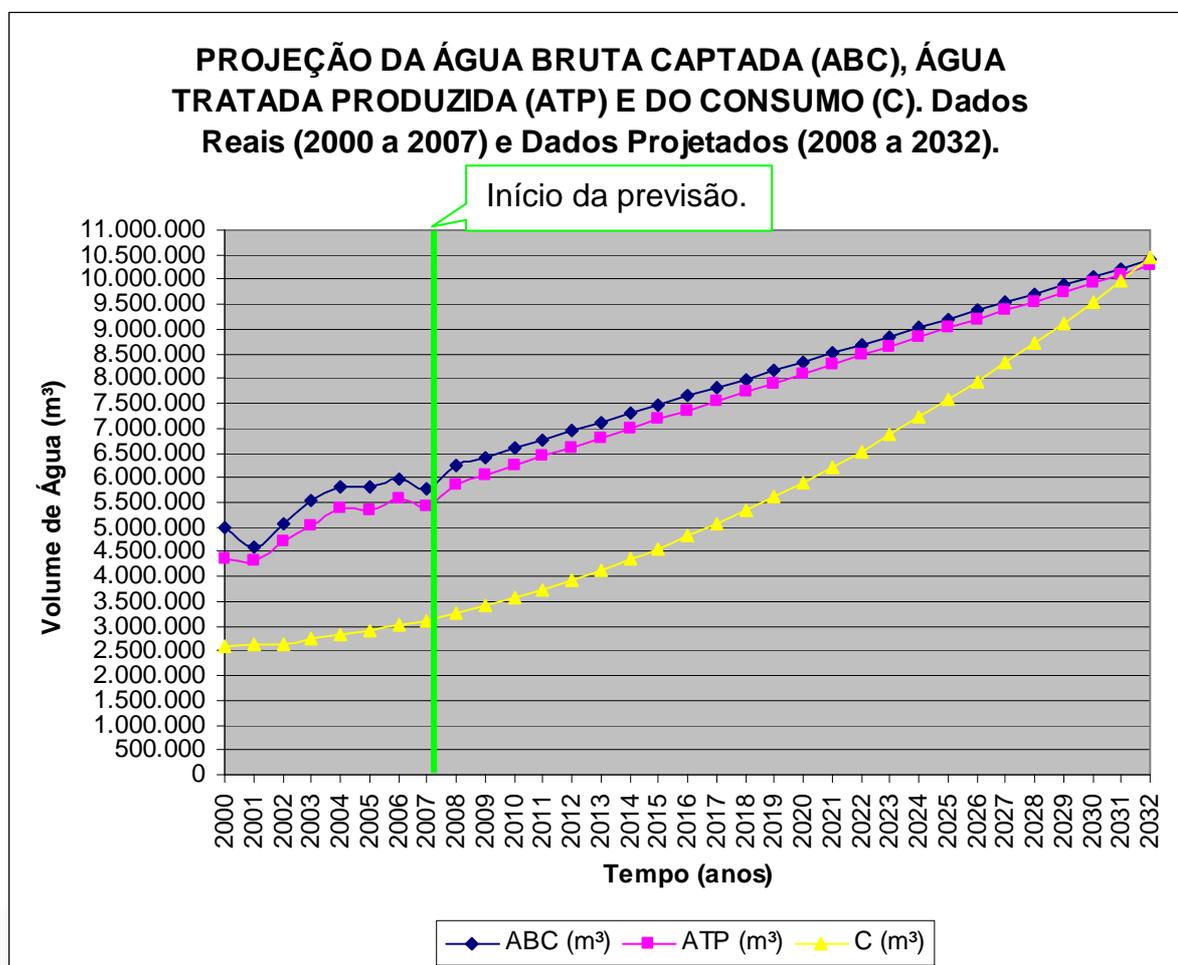


Gráfico 21 – Série temporal efetiva do volume de ABC, ATP e do C, entre 2000 e 2007, e a previsão da série temporal pela função de números 9 onde sua fórmula é

$$y = \frac{A}{X^2} + B, \text{ pela função de número 9 onde sua fórmula é } y = \frac{A}{X^2} + B \text{ e pela}$$

função de número 33 onde sua fórmula é $y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$, respectivamente, pelo software LAB Fit Ajuste de Curvas dos mesmos volumes, entre 2008 e 2032.

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do software Microsoft® Excel 2003.

A diferença do volume projetado de ABC e ATP entre 2008 e 2032 irá decrescer em 2,86%, representando um decréscimo desta diferença média anual de 0,11% (Tabela 17). Esta diferença do volume efetivo de ABC e ATP entre 2000 a 2007 era um decréscimo de 7,82% e representava um decréscimo médio anual

desta diferença de 0,98% (Tabela 18). Quando se analisa a diferença entre o período efetivo e o projetado, verifica-se um decréscimo nos dois momentos, mas para o período projetado a diferença decresce, mas num percentual menor, ou seja, a diferença apresenta uma tendência de se estabilizar no decorrer dos anos. No entanto, a previsão do volume de C pela função número 33 ($y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$) foi favorável, pois esta projetou uma diminuição de perda do volume de água no momento do tratamento de água e da limpeza da ETA de 28,03 m³ médios por dia.

Tabela 18 – Percentual de decréscimo da diferença entre o volume de ABC e ATP no período efetivo de 2000 a 2007 e do período projetado de 2008 a 2032 e a diferença entre o volume de ATP e C no período efetivo de 2000 a 2007 e do período projetado de 2008 a 2032.

Descrição	Volume efetivo do período de 2000 a 2007	Volume efetivo do período de 2008 a 2032
Volume de ABC (m ³)	43.555.895	208.257.300
Volume de ATP (m ³)	40.151.764	202.303.800
Decréscimo Total (%)	-7,82	-2,86
Decréscimo médio anual (%)	-0,98	-0,11
Volume de ATP (m ³)	40.151.764	202.303.800
Volume de C (m ³)	22.505.154	156.227.500
Decréscimo Total (%)	-43,95	-22,78
Decréscimo médio anual (%)	-5,49	-0,91

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do Software Microsoft[®] Office Excel 2003.

Na diferença entre o volume efetivo de ATP e de C entre 2000 e 2007, ocorreu um decréscimo de 43,95%, representando um decréscimo médio anual de 5,49% (Tabela 18). Já a diferença entre o volume projetado de ATP e de C entre 2008 e 2032 terá um decréscimo de 22,78%, representando um decréscimo na média anual projetada de 0,91%. Portanto, as perdas de água por vazamentos diminuem do período efetivo para o projetado.

4.4 Previsão da população total (habitantes) em função do tempo (anos)

Entre as várias funções para previsão da série temporal da população total em função do tempo de 2000 a 2007 sugeridas pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas para determinar a função ideal, utilizou-se o critério de a curva apresentar um perfil de crescimento e a primeira encontrada é a de número 140, e sua fórmula

é $y = A.e^{\frac{(x-B)^2}{C}} + D$, onde $A = 0.7907E+06$, $B = 0.2075E+04$, $C = -.1042E+04$ e $D = 0.5839E+05$ (Gráfico 22).

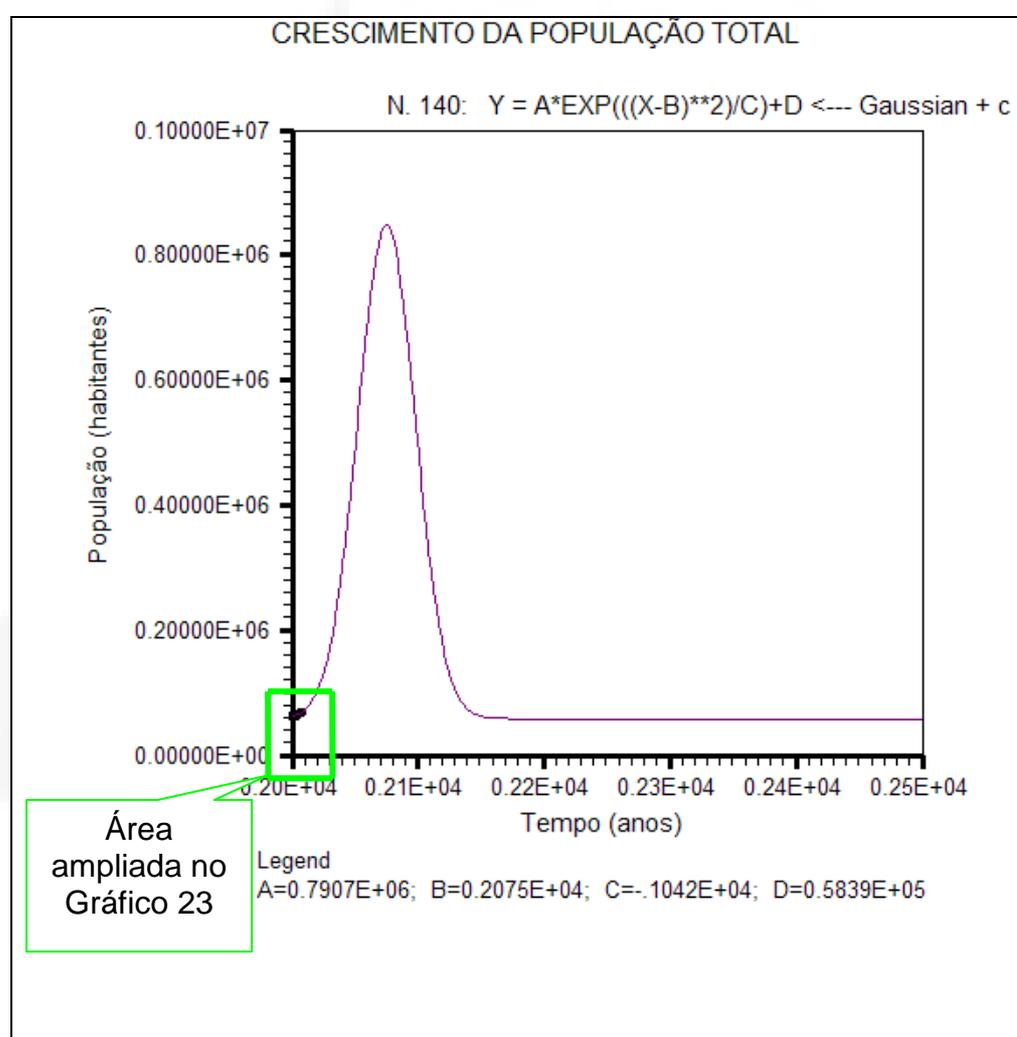


Gráfico 22 – Perfil da curva de ajuste da função número 140 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ATP (m³) em função do

tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A.e^{\frac{(x-B)^2}{C}} + D$, onde $A = 0.7907E+06$, $B = 0.2075E+04$, $C = -.1042E+04$ e $D = 0.5839E+05$.

Fonte: Gráfico elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

Entre a previsão da série temporal e a série temporal efetiva (Gráfico 23), o valor resultante de χ^2 é igual a 4 e o valor de χ^2 red. é igual a 1, correspondendo a $gl = 4$. O valor crítico, num nível de significância de 0,05 ou 5% e com 4 graus de liberdade, corresponde a 9,49 (Tabela 03). O valor de $\chi^2 = 4$ se encontra na área não rejeitada, ou seja, valor de $\chi^2 = 4$ é menor que o valor crítico = 9,49. Portanto, a função de número 140 é $(y = A.e^{\frac{(X-B)^2}{C}} + D)$ utilizada para realizar a previsão da série temporal foi considerada confiável.

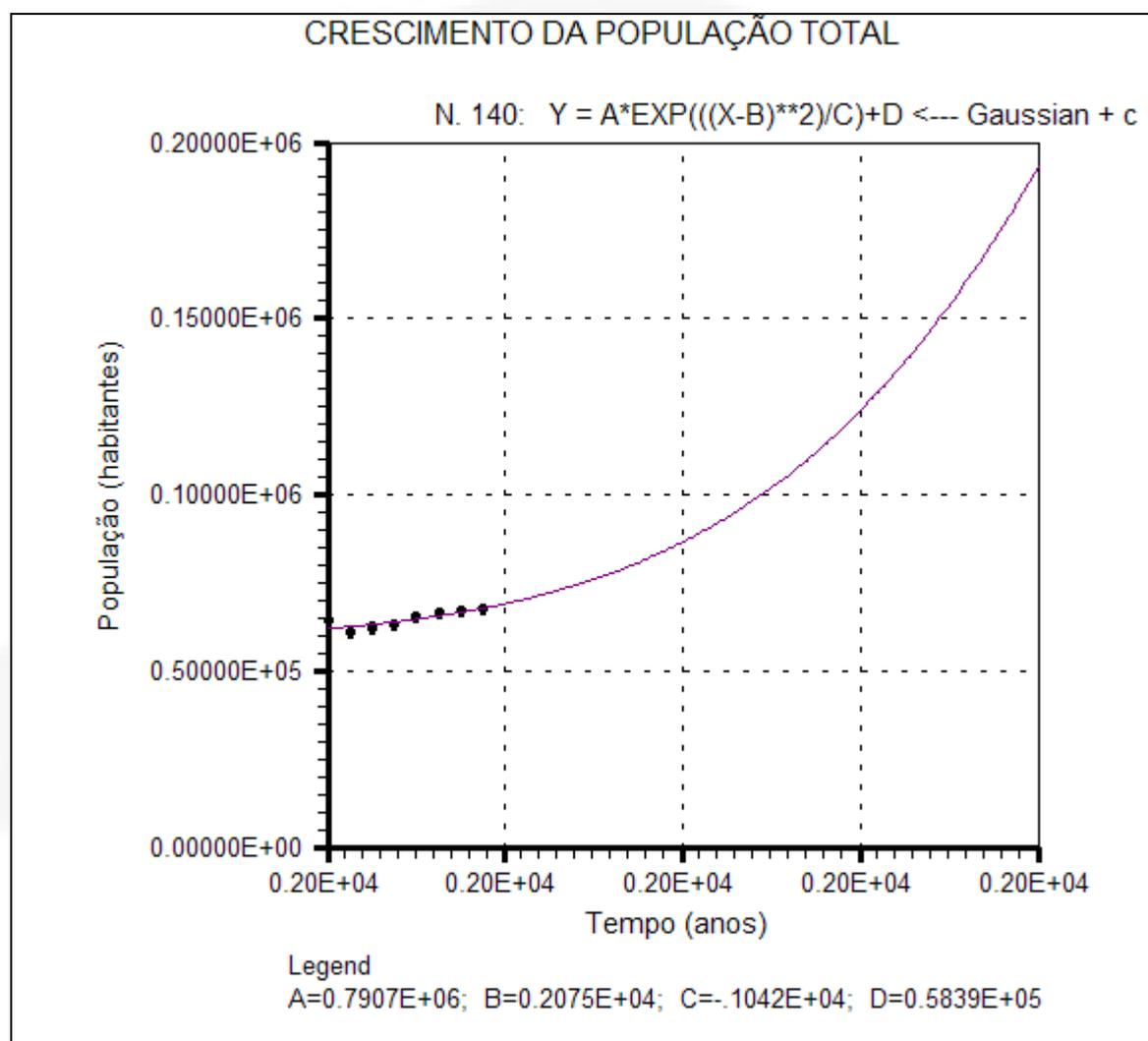


Gráfico 23 – Previsão da população total (habitantes) em função do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas onde a função é de número 140

$(y = A.e^{\frac{(X-B)^2}{C}} + D)$. Os pontos são da série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva é formada pela previsão da série temporal entre 2008 a 2032.

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

Na tentativa de certificar-se desta previsão ser confiável, foram utilizados os coeficientes de correlação e determinação e a comparação do crescimento médio anual entre as séries temporais efetivas e as de previsão.

Ao comparar a série temporal efetiva com a série temporal de previsão, o coeficiente de correlação resultante é $r = 0,86$. Este coeficiente indica que a previsão da série temporal tem uma alta confiabilidade. O coeficiente de determinação, entre a série temporal efetiva e de previsão, é $r^2 = 0,75$.

O crescimento da população total prevista entre 2008 e 2032 foi de 105,08%, representando um crescimento médio anual de 4,38% (Tabela 19). Ao comparar este com o crescimento médio anual efetivo de 0,76% entre 2000 e 2007, verifica-se que o crescimento médio anual previsto é 5,76 vezes maior que o crescimento médio anual efetivo.

Tabela 19 – Previsão da população total (habitantes) em função do tempo (anos) pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função ajustada número 140 e sua fórmula é $y = A.e^{\frac{(x-B)^2}{C}} + D$, onde $A = 0.7907E+06$, $B = 0.2075E+04$, $C = -.1042E+04$ e $D = 0.5839E+05$.

Tempo (anos)	Previsão da população total (habitantes)	Crescimento anual (%)
2008	69.074	---
2009	70.528	2,10
2010	72.154	2,31
2011	73.968	2,51
2012	75.987	2,73
2013	78.229	2,95
2014	80.714	3,18
2015	83.462	3,40
2016	86.494	3,63
2017	89.832	3,86
2018	93.499	4,08
2019	97.519	4,30
2020	101.920	4,51
2021	106.710	4,70
2022	111.940	4,90
2023	117.610	5,07
2024	123.760	5,23
2025	130.410	5,37
2026	137.580	5,50
2027	145.310	5,62

2028	153.600	5,71
2029	162.480	5,78
2030	171.970	5,84
2031	182.090	5,88
2032	192.860	5,91
Total	---	105,08 %
Média	---	4,38 %

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do *Software Microsoft*® Office Excel 2003.

O crescimento médio anual de 0,76% efetivo por ser um percentual baixo é perfeitamente entendível, pois no ano de 2000 ocorreram as emancipações de alguns distritos da cidade de Lajeado/RS, sendo estas emancipações responsáveis por este percentual baixo.

Após definir a linha de regressão do crescimento da população total entre 2000 e 2032, foi verificado o comportamento do crescimento do volume de C em função do crescimento da população total e do tempo.

5.5 Previsão do volume de C (m³) em função do crescimento da população total (habitantes) e do tempo (anos)

Entre as funções sugeridas pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas para previsão das séries temporais do volume de C em função da população total e do tempo entre 2000 e 2007, utilizou-se o critério da curva apresentar um perfil de crescimento e a primeira função encontrada foi a função de número 382 e sua fórmula é $y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$, onde $A = 0.3200E+01$, $B = -.1278E+05$, $C = 0.1277E+08$, $D = 0.3092E+01$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Total (habitantes) (Gráfico 24).

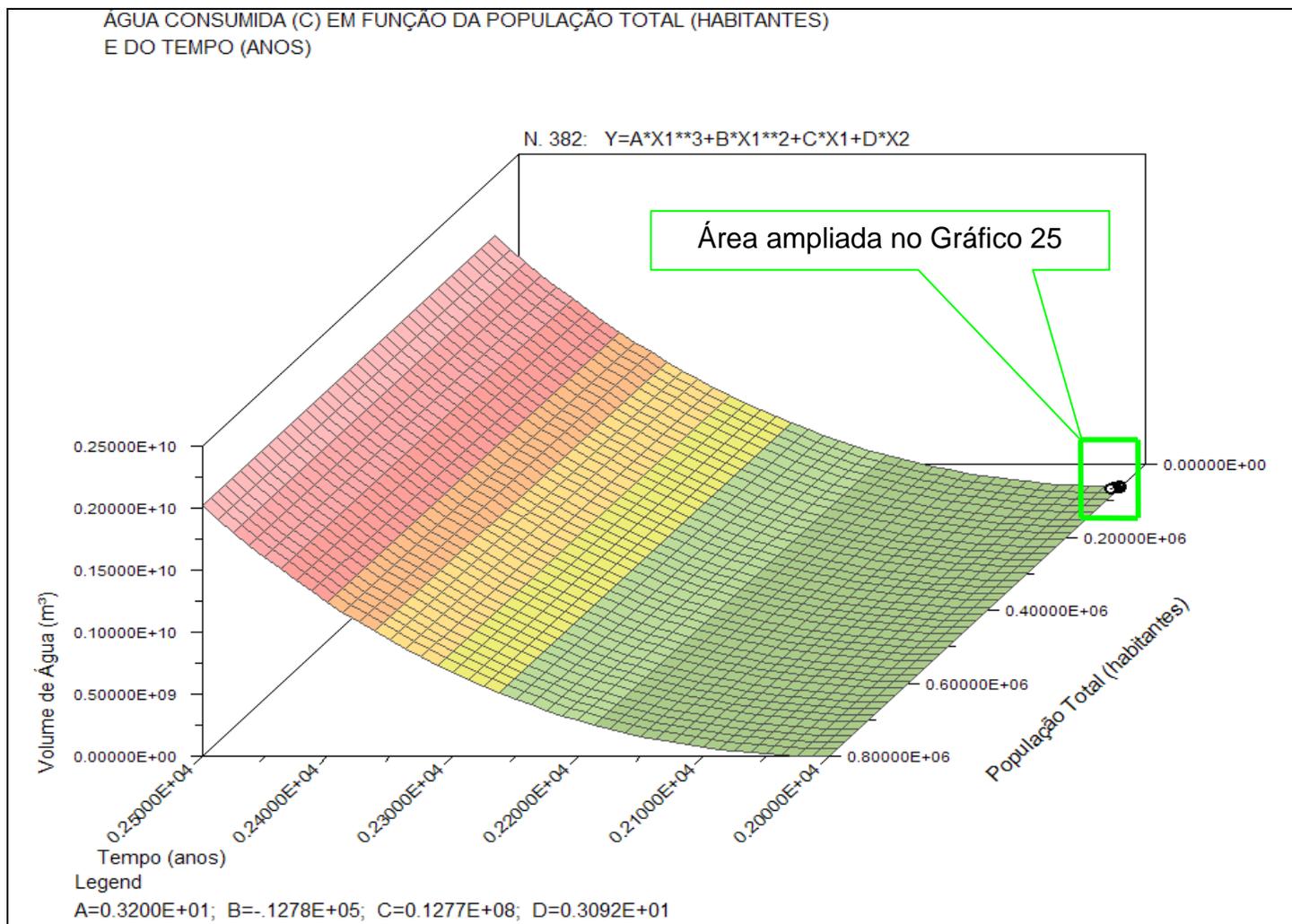


Gráfico 24 - Perfil da curva de ajuste da função número 382 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão do volume de ATP (m³) em função do tempo (anos), sua fórmula é $y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$, onde $A = 0.3200E+01$, $B = -.1278E+05$, $C = 0.1277E+08$, $D = 0.3092E+01$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Total (habitantes).

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

A diferença entre a previsão da série temporal pela função de número 382, e a série temporal efetiva, entre 2000 e 2007 (Gráfico 25), resultou num valor de $\chi^2 = 4$ e um χ^2 red. = 1, com gl = 4. O valor crítico num nível de significância de 0,05 ou 5% com 4 graus de liberdade é $\chi^2 = 9,48$ (Tabela 03). O valor de $\chi^2 = 4$ é menor que o valor crítico de $\chi^2 = 9,48$, portanto a previsão da série temporal em função da fórmula de número 382 ($y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$) não foi rejeitada, ou seja, o erro entre a previsão da série temporal e a série temporal efetiva não foi suficientemente grande para refugar a função de número 382 ($y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$), tornando-se confiável a previsão com esta função.

A linha de tendência dada pela função de número 382 ($y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$) em função da série temporal efetiva apresentou um coeficiente de correlação $r = 0,99$. Este coeficiente indica uma ótima confiabilidade da previsão da série temporal se ajustar a série temporal efetiva.

O coeficiente de determinação encontrado pela função de número 382 ($y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$) é $r^2 = 0,98$, o que corrobora para a precisão do ajuste.

A previsão do volume de C em função do tempo para o ano de 2032 foi de 10.434.000 m³ (Tabela 16), já a previsão do volume de C em função da população total e do tempo para o ano de 2032 foi de 10.645.000 m³ (Tabela 20). Portanto, apesar de usar duas diferentes fórmulas para previsão do volume de C, uma em função somente do tempo e a outra em função da população total e do tempo, as previsões do volume de C apresentaram um erro insignificante na previsão até o ano de 2032.

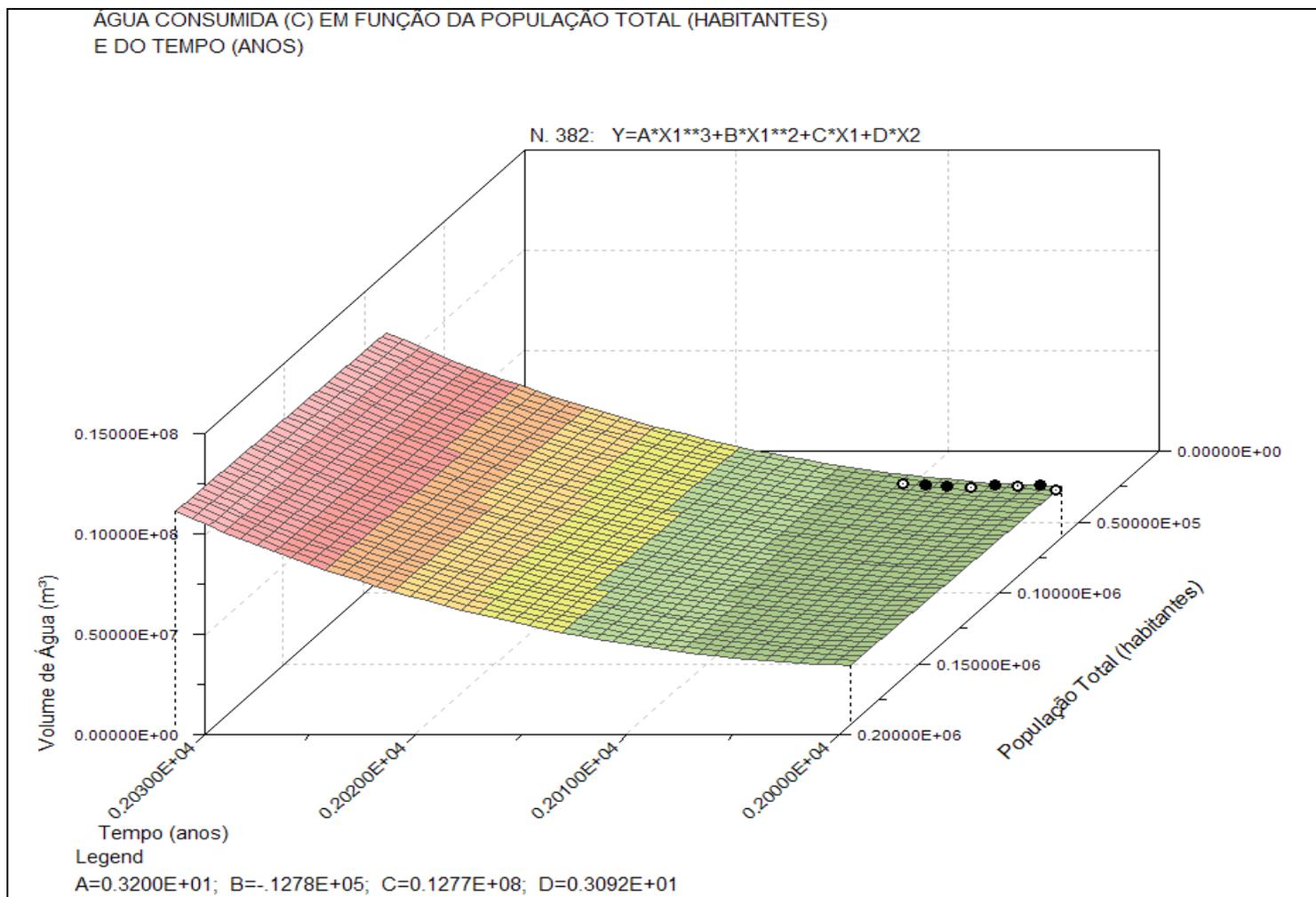


Gráfico 25 – Previsão do volume de C (m³) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Os pontos são da série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva de regressão 3D é formada pela série temporal de 2000 a 2032.

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

Tabela 20 – Previsão do volume de C (m³) em função do crescimento da população total (habitantes) e do tempo (anos) pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função de número 382, sua fórmula é $y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$, onde $A = 0.3200E+01$, $B = -.1278E+05$, $C = 0.1277E+08$, $D = 0.3092E+01$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Total (habitantes).

Tempo (anos)	Previsão do volume de C (m ³)	Crescimento Anual (%)
2008	3.342.200	---
2009	3.495.400	4,58
2010	3.661.500	4,75
2011	3.840.600	4,89
2012	4.032.800	5,00
2013	4.238.100	5,09
2014	4.456.400	5,15
2015	4.687.900	5,19
2016	4.932.400	5,22
2017	5.190.100	5,22
2018	5.460.900	5,22
2019	5.745.000	5,20
2020	6.042.200	5,17
2021	6.352.600	5,14
2022	6.676.200	5,09
2023	7.013.200	5,05
2024	7.363.300	4,99
2025	7.726.800	4,94
2026	8.103.600	4,88
2027	8.493.700	4,81
2028	8.897.100	4,75
2029	9.314.000	4,69
2030	9.744.200	4,62
2031	10.188.000	4,55
2032	10.645.000	4,49
Total	---	118,69 %
Média	---	4,94 %

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft[®] Office Excel 2003.

4.6 Previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos)

Na determinação da curva de regressão utilizada na previsão da população abastecida em função da população total e do tempo, entre as várias funções sugeridas pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, utilizou-se o critério da curva apresentar um perfil de crescimento e a primeira função encontrada foi a de número 304, e sua fórmula é $y = A.X_2^{B.X_1}$, onde $A = 0.1656E+02$, $B = 0,3645E-03$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Total (habitantes) (Gráfico 26).

A linha de regressão da série temporal da população abastecida em função da população total e do tempo através da função de número 304 ($y = A.X_2^{B.X_1}$), entre 2000 e 2007, comparada com a série temporal efetiva do mesmo período, apresentou um $x^2 = 6$ e x^2 red. = 1, com 6 graus de liberdade. O valor crítico do x^2 com um nível de significância de 0,05 ou 5% e 6 graus de liberdade foi $x^2 = 12,59$ (Tabela 03). O valor do $x^2 = 6$, apresentado pela função de número 304 ($y = A.X_2^{B.X_1}$), é menor que o valor crítico $x^2 = 12,59$, portanto esta função não está na área de rejeição (Tabela 03), sendo confiável para efetuar a previsão. No intuito de confirmar estes resultados recorreu-se aos coeficientes de correlação e determinação e o crescimento médio das séries temporais efetivas e previsões.

A linha de regressão da série temporal, através da função de número 304 ($y = A.X_2^{B.X_1}$), se ajustou com precisão na série temporal efetiva, o que foi medido pelo coeficiente de correlação de $r = 0,72$. Portanto, este coeficiente de correlação indica que a previsão da série temporal através da função de número 304 ($y = A.X_2^{B.X_1}$) se ajusta com um grau médio de confiabilidade.

O coeficiente de determinação resultante da relação entre a previsão da série temporal da função de número 304 ($y = A.X_2^{B.X_1}$) e a série temporal efetiva foi $r^2 = 0,52$. Este coeficiente indica que a qualidade do ajuste da série temporal projetada na série temporal efetiva representa 52%. Portanto, este percentual indica uma qualidade média de ajuste da função.

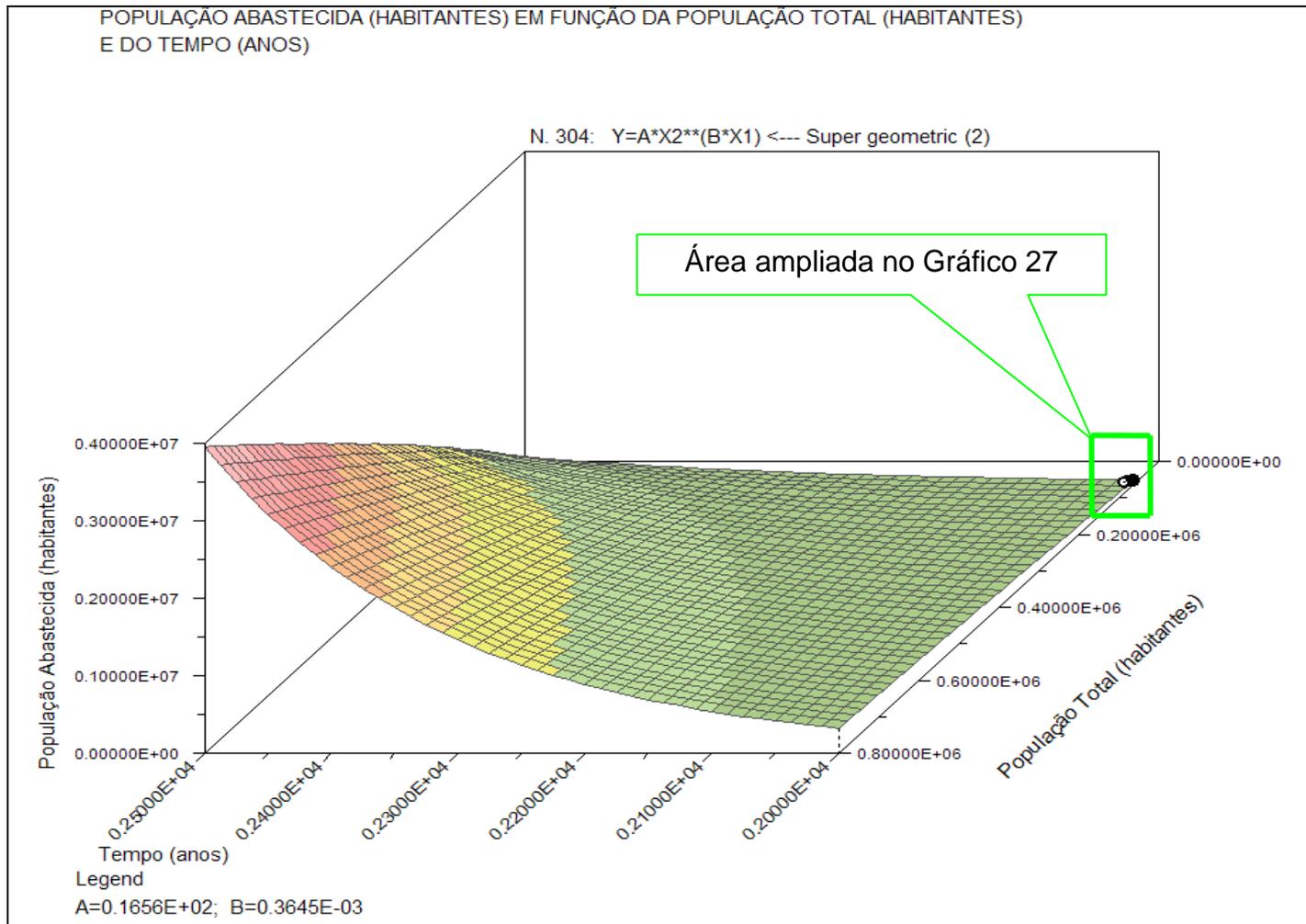


Gráfico 26 - Perfil da curva de ajuste da função número 304 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A.X_2^{B.X_1}$, onde $A = 0.1656E+02$, $B = 0.3645E-03$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Total (habitantes) elaborada para melhor visualizar seu comportamento.

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

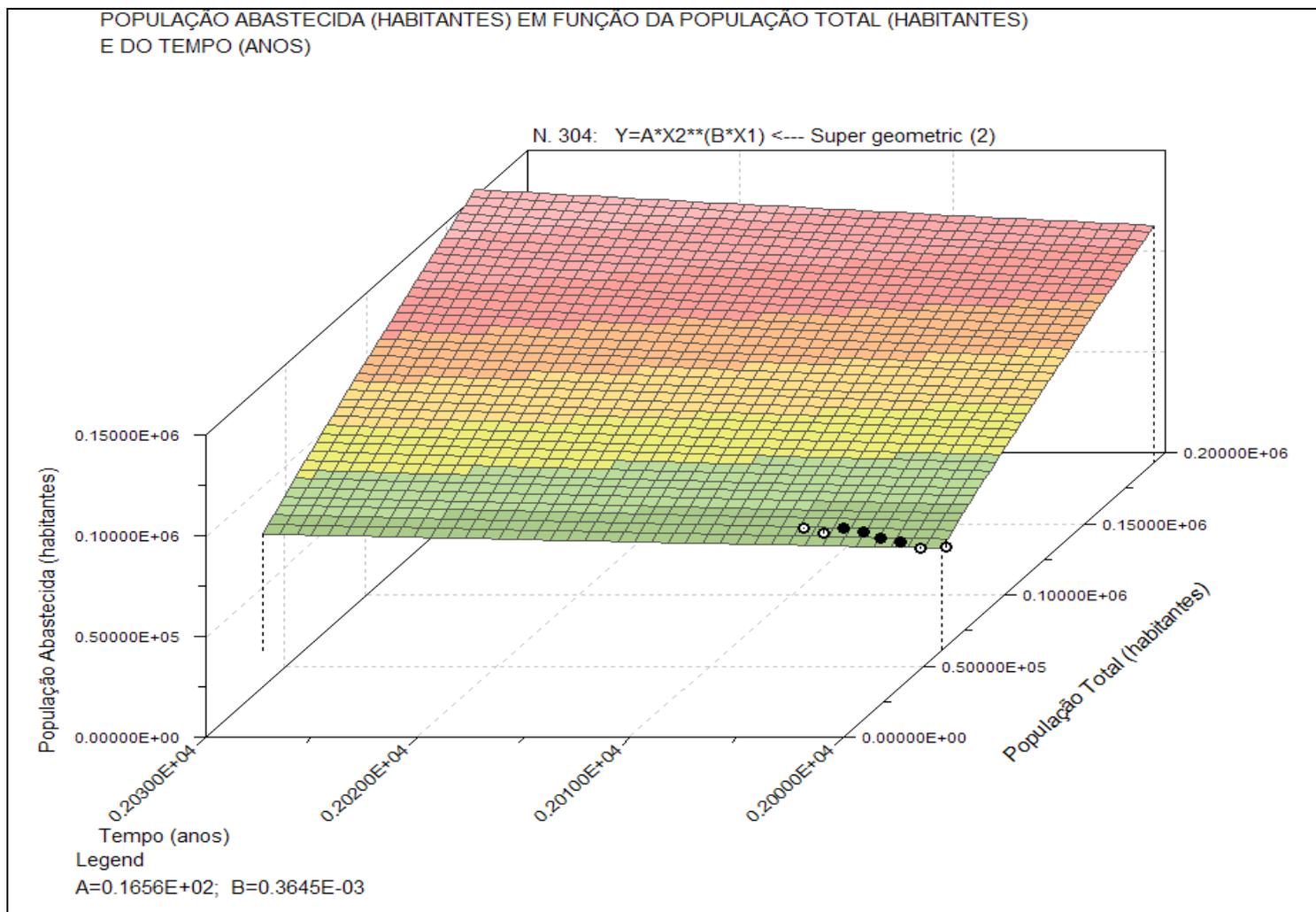


Gráfico 27 – Previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Os pontos são da série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva de regressão 3D é formada pela série temporal de 2000 a 2032.

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

O crescimento da população abastecida entre 2008 e 2032 será de 63,55%, representando um crescimento médio anual de 2,65% (Tabela 21).

Tabela 21 – Previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função de número 304 com a fórmula $y = A.X_2^{B.X_1}$, onde $A = 0.1656E+02$, $B = 0,3645E-03$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Total (habitantes).

Tempo (anos)	Previsão da população abastecida (habitantes)	Crescimento anual (%)
2008	72.616	---
2009	75.213	3,58
2010	77.807	3,45
2011	80.400	3,33
2012	82.993	3,23
2013	85.586	3,12
2014	88.181	3,03
2015	90.779	2,95
2016	93.379	2,86
2017	95.984	2,79
2018	98.593	2,72
2019	101.210	2,65
2020	103.830	2,59
2021	106.460	2,53
2022	109.090	2,47
2023	111.730	2,42
2024	114.380	2,37
2025	117.040	2,33
2026	119.710	2,28
2027	122.390	2,24
2028	125.080	2,20
2029	127.780	2,16
2030	130.480	2,11
2031	133.200	2,08
2032	135.940	2,06
Total	---	63,55 %
Média	---	2,65 %

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

Ao comparar a previsão de crescimento médio anual de 2,65% com o efetivo crescimento médio anual, entre 2000 e 2007, de 1,92%, verificou-se que o crescimento

médio anual projetado pela função ajustada é maior. Portanto, este resultado através desta análise é confiável na utilização da função de número 304 ($y = A.X_2^{B.X_1}$) para efetuar a previsão do crescimento da população abastecida em função da população total e do tempo.

4.7 A previsão do consumo *per capita* de água $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função do tempo (anos)

Dentre as várias funções sugeridas pelo software LAB Fit Ajuste de Curvas para efetuar a previsão do consumo *per capita* em função do tempo, utilizou-se o critério da curva apresentar um perfil de crescimento e a primeira função encontrada foi a de número 181 e sua fórmula é $y = A.s \frac{i}{h} (B.X) + C.X^2$, onde $A = -.3773E+02$, $B = -.2022E-02$ e $C = -.2341E-03$ (Gráfico 29).

O ajuste da curva de regressão na série temporal efetiva do consumo *per capita* em função do tempo utilizando a função de número 181 (Gráfico 30) obteve um valor de $\chi^2 = 5$ e um χ^2 red. = 1, com gl = 5. O valor crítico χ^2 com um nível de significância de 0,05 ou 5% e 5 graus de liberdade foi $\chi^2 = 11,07$ (Tabela 03). O valor de $\chi^2 = 5$ que resultou do ajuste da linha de regressão na série temporal efetiva é menor que o valor crítico de $\chi^2 = 11,07$, ficando dentro da área de não rejeição. Portanto, este resultado considerou confiável efetuar a previsão pela função de número 181 ($y = A.s \frac{i}{h} (B.X) + C.X^2$).

Na tentativa de aumentar a confiabilidade deste resultado, recorreu-se aos coeficientes de correlação e determinação e do crescimento médio anual da série temporal efetiva e da previsão da série temporal.

A função de número 181 ($y = A.s \frac{i}{h} (B.X) + C.X^2$) utilizada para previsão da série temporal apresentou uma precisão de ajuste em relação à série temporal efetiva, correspondendo a um coeficiente de correlação de $r = 0,56$. Portanto, este coeficiente indica que a precisão do ajuste da linha de regressão na série temporal efetiva representou uma precisão média de ajuste, ou seja, para efetuar a previsão

do consumo *per capita* em função do tempo através da função de número 181 ($y = A \cdot s_i (B \cdot X) + C \cdot X^2$), a confiabilidade é média.

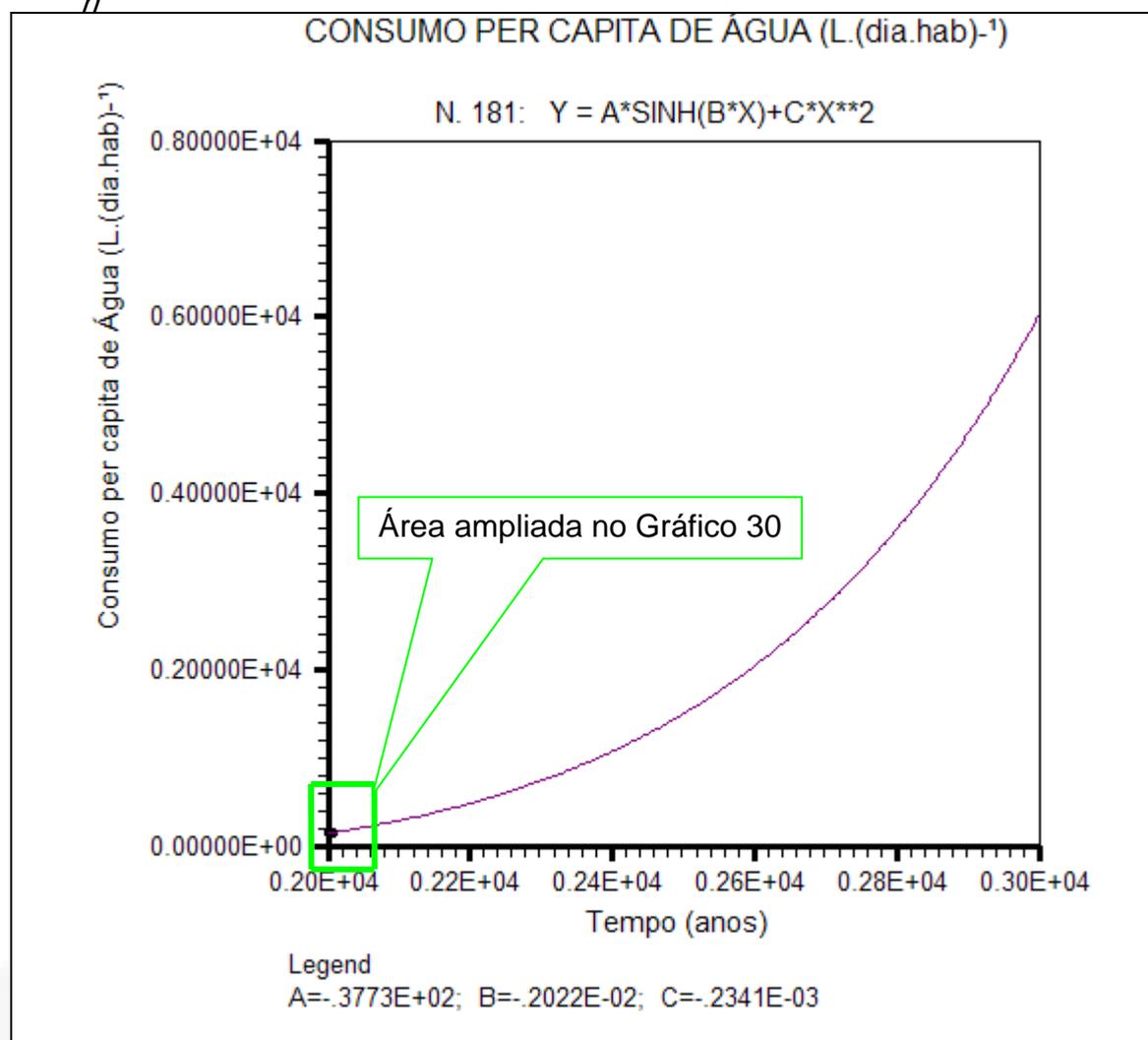


Gráfico 29 - Perfil da curva de ajuste da função número 181 do software LAB Fit

Ajuste de Curvas utilizado para previsão do consumo *per capita* de água $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$

em função do tempo (anos), onde sua fórmula é $y = A \cdot s_i (B \cdot X) + C \cdot X^2$, onde $A = -.3773E+02$, $B = -.2022E-02$ e $C = -.2341E-03$.

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do software LAB Fit Ajuste de Curvas.

O valor do coeficiente de determinação, entre a série temporal da linha de regressão e a série temporal efetiva, foi de $r^2 = 0,31$. Este coeficiente indica que a qualidade de ajuste, ou seja, que a exatidão da previsão do ajuste representou 31%. Portanto, o coeficiente de determinação apresentou uma baixa qualidade de ajuste da linha de regressão nos pontos da série temporal efetiva, ou seja, de baixa confiabilidade de previsão.

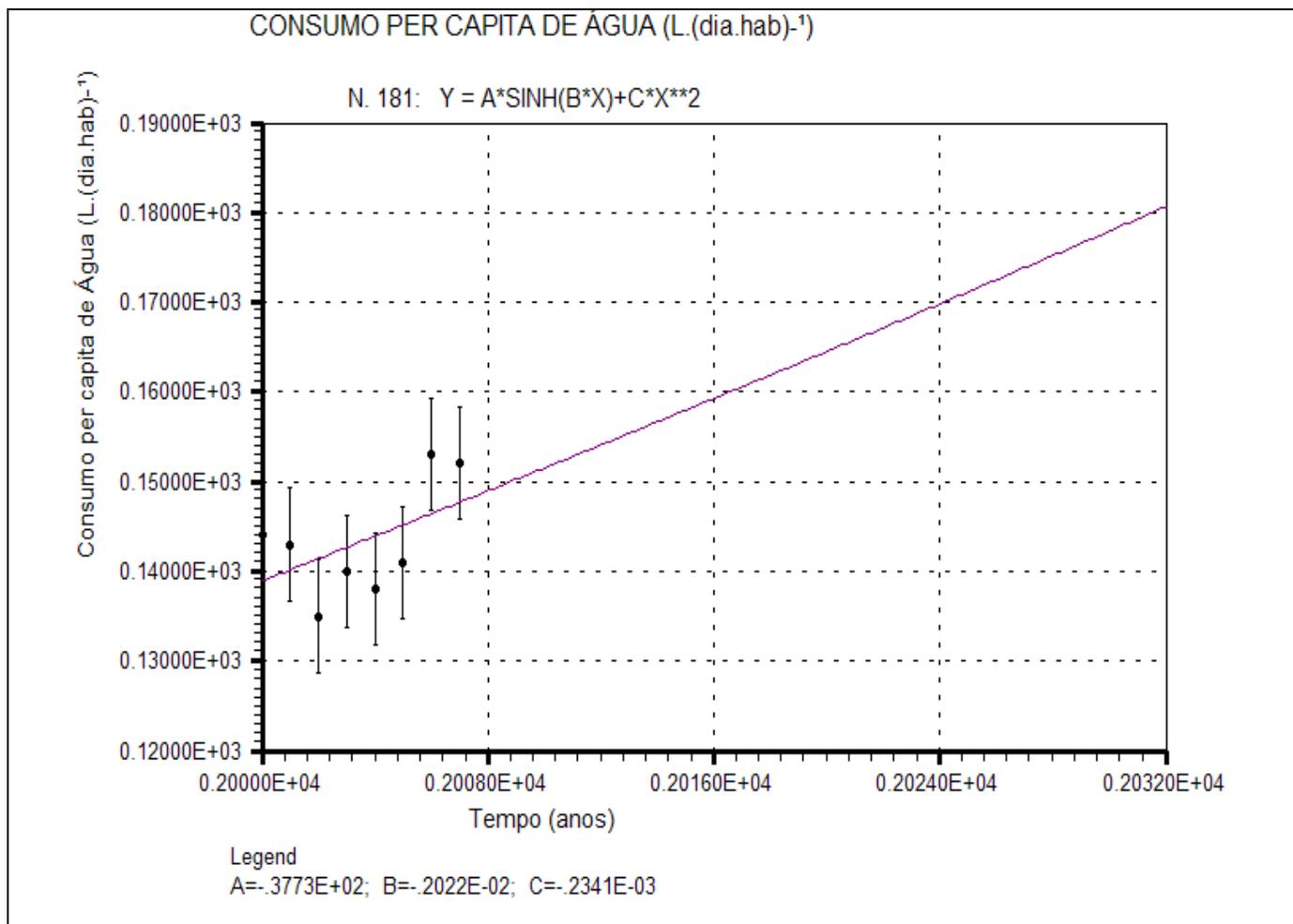


Gráfico 30 – Previsão do consumo *per capita* $\left(\frac{L}{\text{hab.dia}}\right)$ em função do tempo (anos) através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Os pontos são da série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva de regressão 3D é formada pela série temporal de 2000 a 2032.

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

O crescimento do volume *per capita* projetado em função do tempo entre 2008 e 2032 será de 19,36%, que corresponde a um crescimento médio anual de 0,81% (Tabela 22).

Tabela 22 – Previsão do volume de consumo *per capita* $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função do tempo (anos) pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função de número 181 é $y = A.s^i (B.X) + C.X^2$, onde $A = -.3773E+02$, $B = -.2022E-02$ e $C = -.2341E-03$.

Tempo (anos)	Previsão do consumo <i>per capita</i> $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$	Crescimento anual (%)
2008	149	---
2009	150	0,85
2010	152	0,85
2011	153	0,84
2012	154	0,84
2013	155	0,84
2014	157	0,83
2015	158	0,83
2016	159	0,82
2017	161	0,82
2018	162	0,82
2019	163	0,81
2020	165	0,81
2021	166	0,80
2022	167	0,80
2023	168	0,80
2024	170	0,80
2025	171	0,79
2026	172	0,78
2027	174	0,78
2028	175	0,78
2029	177	0,78
2030	178	0,77
2031	179	0,76
2032	181	0,76
Totais de crescimento	32 $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$	19,36 %
Médias anuais	1,28 $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$	0,81 %

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

Comparando o crescimento médio anual do volume *per capita* efetivo entre 2000 e 2007 de 1,02%, com o crescimento médio anual da previsão do volume *per capita*, verificou-se que o crescimento anual da previsão do volume *per capita* apresentou um percentual menor de crescimento anual.

Os coeficientes de correlação e determinação indicam que a função de número 181 ($y = A + B.X + C.X^2$) para efetuar a previsão do consumo *per capita* não apresentou um resultado confiável, entretanto, para verificar se existe uma maior confiabilidade na previsão do consumo *per capita*, efetuou-se uma linha de regressão do consumo *per capita* em função da população abastecida e do tempo.

4.8 Previsão do consumo *per capita* $\left(\frac{L}{\text{hab.dia}}\right)$ em função da população abastecida (habitantes) e do tempo (anos)

O software LAB Fit Ajuste de Curvas sugeriu várias funções e dentre estas se utilizou o critério da curva apresentar um perfil de crescimento para determinar a função para efetuar a previsão do consumo *per capita* em função do crescimento da população abastecida e do tempo, e esta função foi a de número 343, e sua fórmula

é $y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right)$, onde $A = -.1003E+05$, $B = -.5027E+01$, $C =$

$0.2868E+12$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Abastecida (habitantes) (Gráfico 31).

A previsão da série temporal através da função número 343 ($y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right)$), ao comparar com a série temporal efetiva entre 2000 a 2007, obteve um valor de $x^2 = 5$ e um x^2 red. = 1, com gl = 5. O valor crítico de x^2 com nível de significância de 0,05 ou 5% e com 5 graus de liberdade foi de $x^2 = 11,07$ (Tabela 03). Comparando o valor $x^2 = 5$ com o valor crítico de $x^2 = 11,07$, percebe-se que o valor $x^2 = 5$ da função de número 318 é menor que o valor crítico de $x^2 = 11,07$ (Tabela 03), ou seja, ficou na área de não rejeição, portanto a

hipótese da função de número 343 $(y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right))$ realizar a previsão foi confiável.

Na eminência de aumentar a qualidade da confiança desta linha de previsão, recorreu-se aos coeficientes de correlação e de determinação e ao crescimento médio anual entre a série temporal efetiva e a previsão da série temporal.

A previsão da série temporal em comparação com a série temporal efetiva de 2000 a 2007 indicou uma precisão de ajuste através do valor do coeficiente de correlação de $r = 0,98$, ou seja, o ajuste da curva de regressão se ajusta à série temporal efetiva numa alta precisão. Portanto, este resultado do coeficiente de correlação foi confiável para efetuar a previsão pela função de número 343 $(y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right))$.

O valor do coeficiente de determinação $r^2 = 0,97$ foi encontrado no ajuste da previsão da série temporal na série temporal efetiva. Este coeficiente de determinação indica que a previsão da série temporal se ajusta com uma exatidão de precisão de 97% na série temporal efetiva. Portanto, o resultado deste coeficiente foi confiável na utilização da função de número 343 $(y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right))$ para efetuar a previsão.

O crescimento do volume *per capita* projetado em função do crescimento da população abastecida e do tempo entre 2008 e 2032 será de 50,12% que corresponde a um crescimento médio anual de 2,09% (Tabela 23).

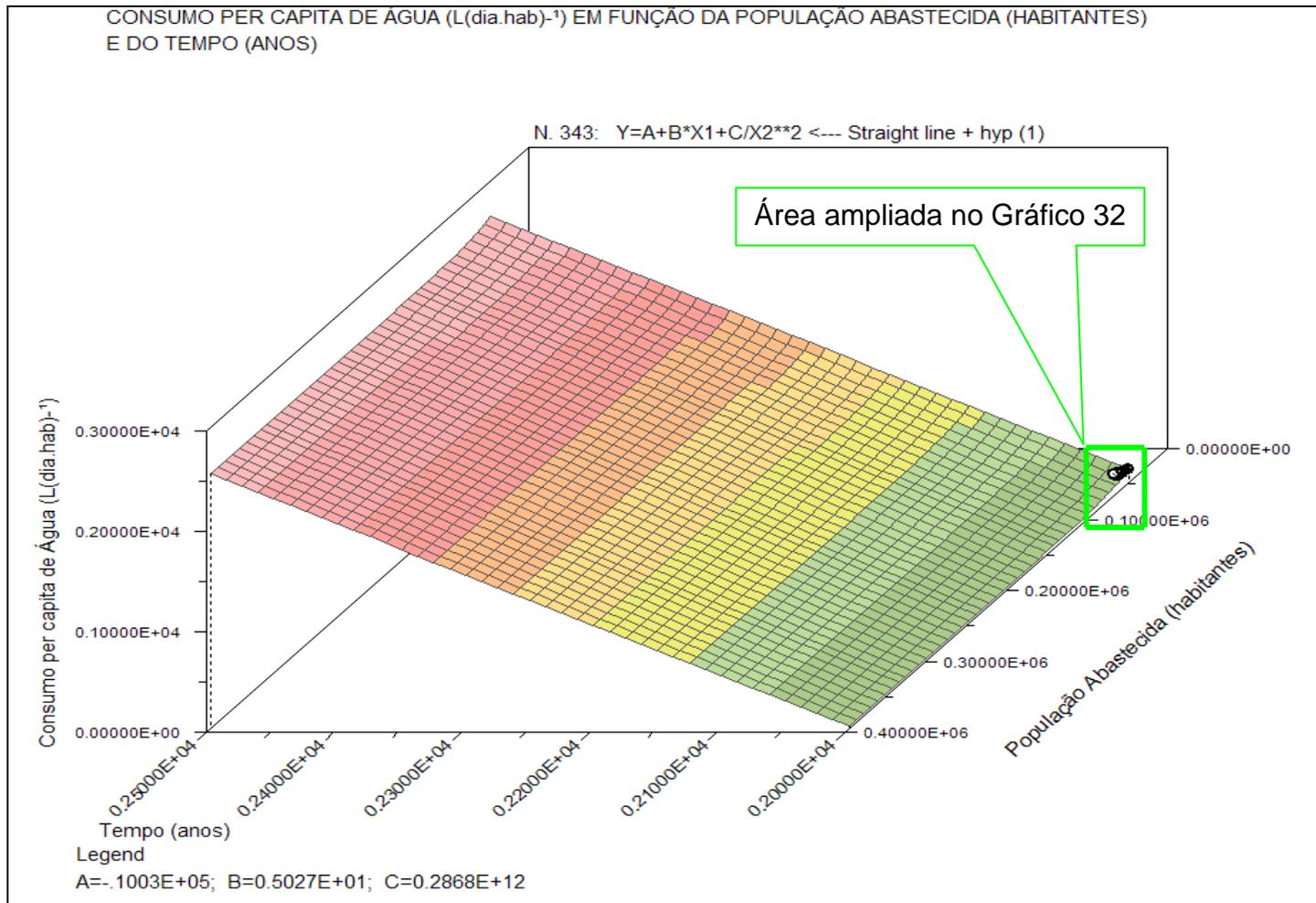


Gráfico 31 - Perfil da curva de ajuste da função número 343 do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizado para previsão da população abastecida (habitantes) em função da população total (habitantes) e do tempo (anos), onde sua fórmula é

$$y = A + (B \cdot X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2} \right), \text{ onde } A = -.1003E+05, B = .5027E+01, C = 0.2868E+12, X_1 = \text{Tempo (anos)} \text{ e } X_2 = \text{População Abastecida (habitantes)}.$$

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

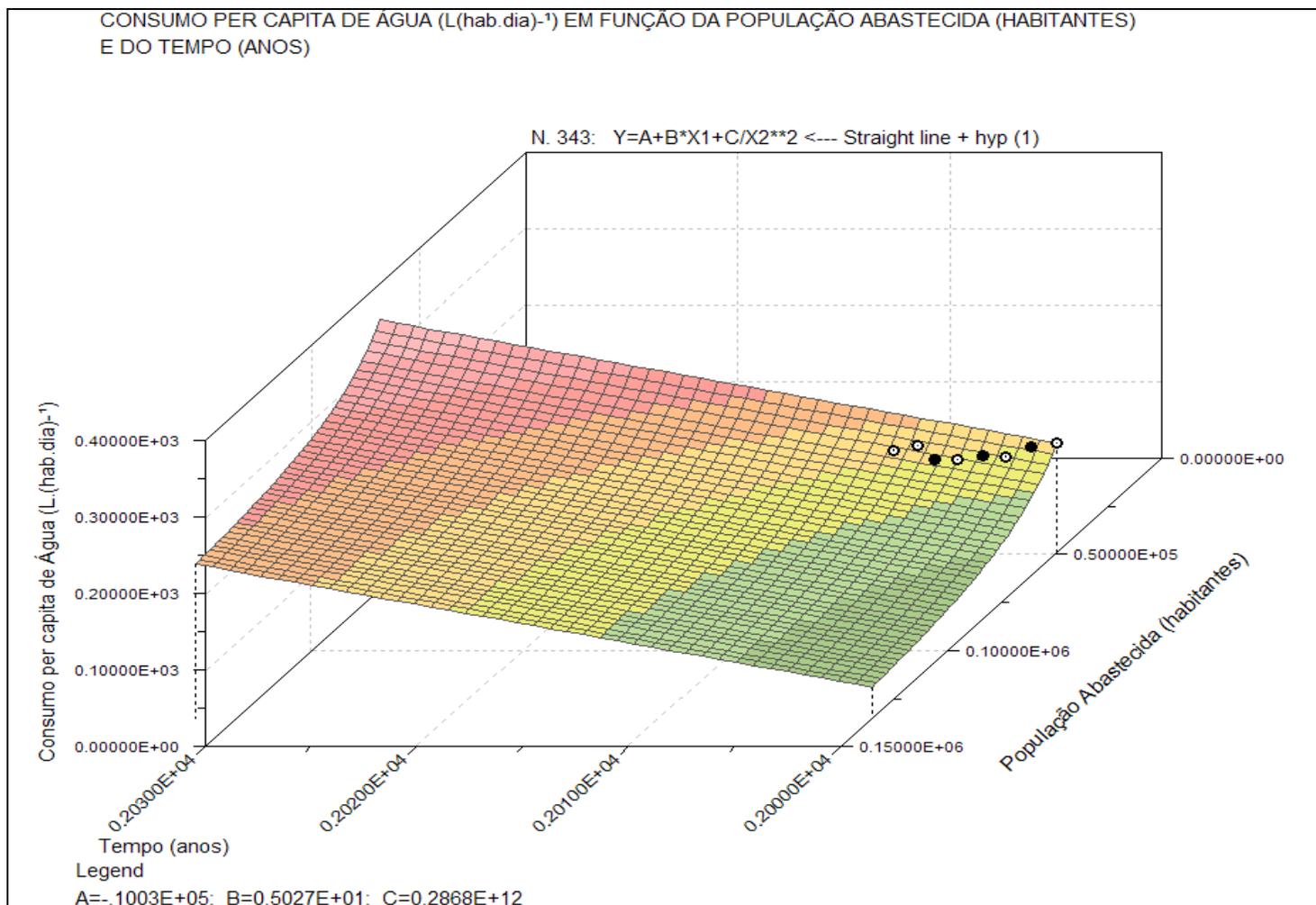


Gráfico 32 – Previsão do consumo *per capita* $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ em função do crescimento da população abastecida (habitantes) e do tempo (anos), através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Os pontos são a série temporal efetiva de 2000 a 2007 e a curva de regressão 3D é formada pela série temporal de 2000 a 2032.
 Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas.

Tabela 23 – Volume de consumo *per capita* $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$ projetado em função do crescimento da população abastecida (habitantes) e do tempo (anos) pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas utilizando a função ajustada número 343, onde a fórmula é $y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right)$, onde $A = -.1003E+05$, $B = -.5027E+01$, $C = 0.2868E+12$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Abastecida (habitantes).

Tempo (anos)	Previsão do consumo <i>per capita</i> $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$	Crescimento anual (%)
2008	123	---
2009	124	0,74
2010	126	1,08
2011	127	1,37
2012	129	1,59
2013	132	1,79
2014	134	1,95
2015	137	2,08
2016	140	2,17
2017	143	2,26
2018	146	2,30
2019	150	2,36
2020	153	2,37
2021	157	2,40
2022	161	2,40
2023	165	2,40
2024	169	2,40
2025	173	2,38
2026	177	2,37
2027	181	2,35
2028	185	2,33
2029	189	2,29
2030	194	2,27
2031	198	2,24
2032	203	2,22
Totais de crescimento	80 $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$	50,12 %
Médias anuais	3,20 $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$	2,09 %

Fonte: A Tabela foi elaborada pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

Ao comparar o crescimento médio anual do volume *per capita* efetivo entre 2000 e 2007, que foi de 1,02%, com o crescimento médio anual do volume de

previsão do consumo *per capita*, verificou-se que o crescimento médio anual da previsão do consumo *per capita* foi maior.

4.9 Volume da vazão média e o volume da vazão máxima, em m³ por segundo da captação do volume de ABC do Rio Taquari.

O volume médio da vazão de ABC no ano de 2007 utilizada para abastecer a demanda do volume de C foi de 0,245 m³ por segundo, e seu volume máximo da vazão era de 0,365 m³ por segundo.

Transformando o volume médio da vazão de m³ por segundo em m³ anuais tem-se um volume de 6.350.400 m³ e no caso da vazão máxima tem-se 9.357.120 m³ por ano.

O volume médio da vazão de ABC captada do rio Taquari ficou obsoleto a partir do ano de 2008, ou seja, o volume médio da vazão de ABC referente ao ano de 2007 num volume total de 6.350.400 m³ não manteve o volume de ABC necessário para abastecer o consumo, desta forma cada ano aumentando o volume médio da vazão. Este aumento é necessário para suportar o volume de C que foi projetado em função do crescimento da população total e do tempo (Tabela 24).

Nos anos subsequentes, a partir de 2008, o volume da vazão média sairá da zona de conforto, tendo por destino o volume da vazão aumentar até o volume máximo de vazão instalado no SAA da CORSAN de Lajeado/RS.

O volume de perda de água durante o tratamento da água (ABC – ATP) apresenta uma diminuição gradual (Tabela 24). As perdas de volume de água nas tubulações que ocorrem na etapa da distribuição (ATP – C) também diminuem gradualmente (Tabela 24).

Para determinar o momento em que o volume da vazão máxima tivesse seu auge, foi necessária uma previsão do volume de ABC em função do tempo, do ATP em função do tempo e do C em função do crescimento da população total e do tempo até o ano de 2032 (Tabela 24).

A capacidade de volume máximo de vazão de captação de ABC do rio Taquari torna-se obsoleta no ano de 2026, conforme texto explicativo na Tabela 23. E para os anos subsequentes a 2026, o SAA de água da CORSAN de Lajeado, terá a necessidade de ampliar a vazão de captação de ABC (Gráfico 33).

Tabela 24 – Volumes projetados de ABC (m³), ATP (m³) e de C (m³) em função do tempo (anos), com o percentual de perdas de água no tratamento (ABC – ATP) e o percentual de perdas de água por vazamento nas tubulações (ATP – C), comparando com os volumes de vazão média e máxima.

Tempo (Anos)	Projeção do ABC (m ³)	Previsão do ATP (m ³)	Previsão do C (m ³)	Percentual de Perdas (ABC - ATP)	Percentual de Perdas (ATP - C)	Volume Vazão Média (m ³)	Volume Vazão Máxima (m ³)
2008	6.240.900	5.867.100	3.283.200	6%	40%	3.415.854	5.033.156
2009	6.417.000	6.054.700	3.429.100	6%	40%	3.463.321	5.103.098
2010	6.592.900	6.241.900	3.588.000	5%	39%	3.512.805	5.176.011
2011	6.768.500	6.428.900	3.759.900	5%	39%	3.564.773	5.252.584
2012	6.943.800	6.615.600	3.944.600	5%	38%	3.618.980	5.332.456
2013	7.118.800	6.802.000	4.142.200	4%	38%	3.675.612	5.415.902
2014	7.293.600	6.988.200	4.352.700	4%	37%	3.734.695	5.502.959
2015	7.468.200	7.174.000	4.575.900	4%	36%	3.796.245	5.593.650
2016	7.642.500	7.359.600	4.811.800	4%	36%	3.860.556	5.688.411
2017	7.816.500	7.545.000	5.060.400	3%	35%	3.927.763	5.787.438
2018	7.990.200	7.730.000	5.321.700	3%	31%	4.222.966	6.222.412
2019	8.163.700	7.914.800	5.595.700	3%	29%	4.355.734	6.418.041
2020	8.337.000	8.099.300	5.882.200	3%	27%	4.492.526	6.619.599
2021	8.510.000	8.283.500	6.181.300	3%	25%	4.633.234	6.826.928
2022	8.682.700	8.467.400	6.492.800	2%	23%	4.777.462	7.039.445
2023	8.855.200	8.651.100	6.816.900	2%	21%	4.925.092	7.256.972
2024	9.027.400	8.834.500	7.153.400	2%	19%	5.075.829	7.479.079
2025	9.199.400	9.017.600	7.502.300	2%	17%	5.229.430	7.705.404
2026	9.371.100	9.200.500	7.863.600	2%	15%	5.385.810	7.935.826
2027	9.542.500	9.383.100	8.237.100	2%	12%	5.544.673	8.169.906
2028	9.713.700	9.565.400	8.623.000	2%	10%	5.705.959	8.407.556
2029	9.884.700	9.747.400	9.021.100	1%	7%	5.869.413	8.648.400
2030	10.055.000	9.929.200	9.431.500	1%	5%	6.035.311	8.892.847
2031	10.226.000	10.111.000	9.854.000	1%	3%	6.202.537	9.139.248
2032	10.396.000	10.292.000	10.289.000	1%	0%	6.372.312	9.389.407

Ano de 2008 onde a vazão média do ano de 2007 ficou obsoleta.

Ano de 2026 onde a vazão máxima ficará obsoleta.

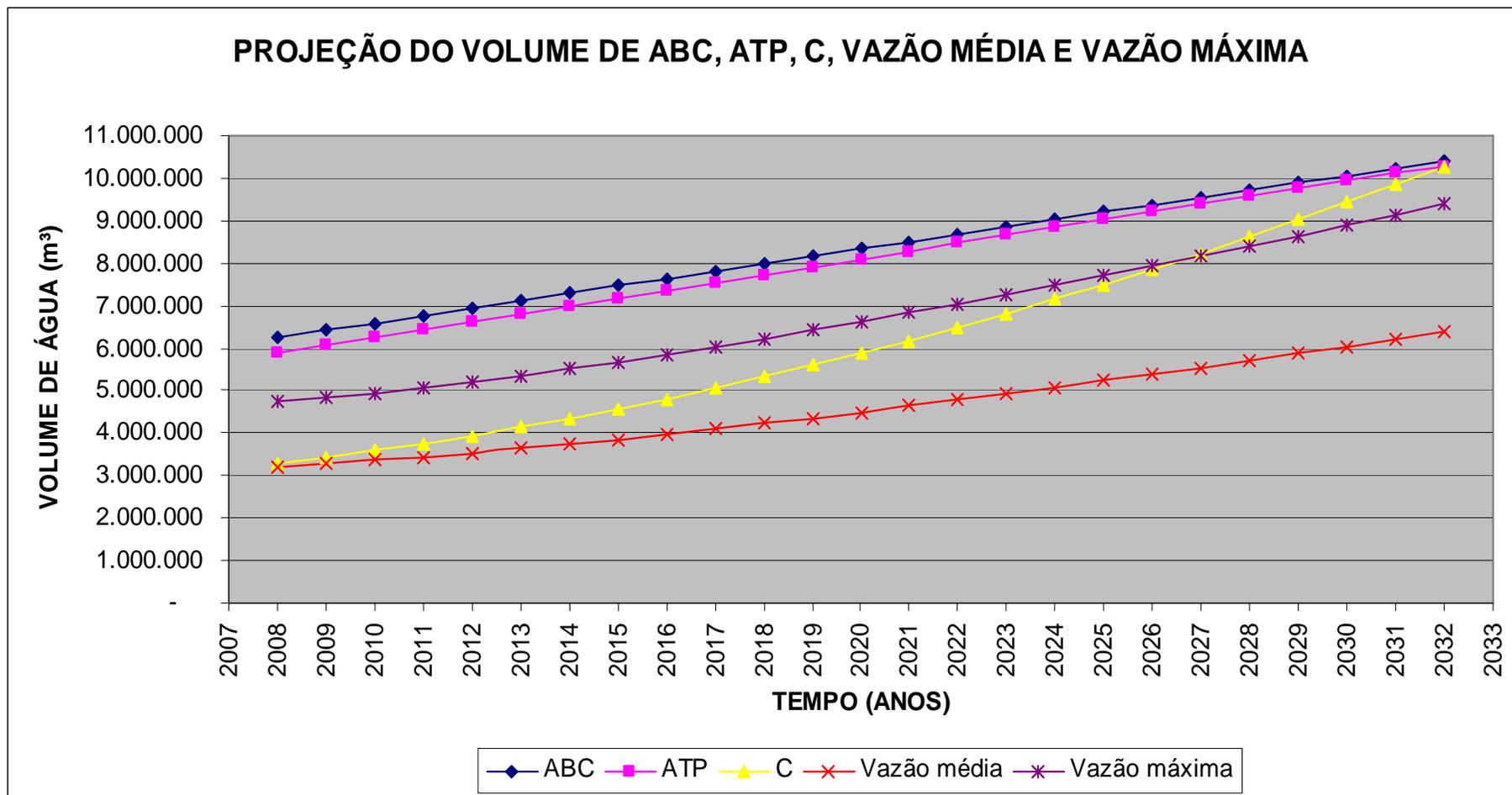


Gráfico 33 – Previsão do volume de ABC (m³) em função do tempo (anos), ATP (m³) em função do tempo (anos) e do C (m³) em função do crescimento populacional total (habitantes) e do tempo (anos), através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. A série temporal de 2008 a 2032 são projetada.

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

O ano em que haverá um colapso de falta de água neste SAA em função do crescimento populacional será o de 2026 (Gráfico 33). É recomendável não deixarmos chegar em 2026 para aumentar a capacidade de vazão, pois neste ano o SAA estará no funcionamento máximo, podendo as instalações não aguentarem esta capacidade máxima e podendo apresentar problemas de estrutura física antes deste ano.

UNIVATES

5 CONCLUSÃO

Os dados coletados junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2009) entre janeiro de 2000 e dezembro de 2007 são do volume anual de Água Bruta Captada (ABC), do volume anual de Água Tratada Produzida (ATP), da extensão da rede de distribuição de água, e da população total abastecida de água. Os dados coletados entre janeiro de 2001 e dezembro de 2007 junto ao SNIS (2009) são da quantidade de ligações de economias. A coleta de dados junto ao SNIS (2009) entre janeiro de 2002 e dezembro de 2007 é da tarifa média por m³.

A coleta dos dados junto à Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN (2009) entre janeiro de 2000 e dezembro de 2007 é do volume anual de Consumo (C). O volume anual de água consumida por setores compreende somente o ano de 2007 e foi adquirido junto à CORSAN (2009).

Os dados da população total foram coletados junto a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2009) entre janeiro de 2000 e dezembro de 2007.

As variáveis intervenientes, tais como, a umidade relativa do ar (dados coletados entre janeiro de 2003 e dezembro de 2006), a precipitação pluviométrica (dados coletados entre janeiro 2003 e dezembro de 2007) e dados da temperatura (entre janeiro de 2003 e dezembro de 2007), foram coletados junto ao Centro de Informações Hidrometeorológicas da UNIVATES - CIH (2009).

Os dados coletados descritos acima foram os únicos que tivemos acesso junto ao Banco de Dados do SNIS (2009), CORSAN (2009), IBGE (2009) e do CIH (2009). E como houve a necessidade de trabalharmos com dados pareados entre variáveis, foi preciso reduzir o período das amostras em alguns casos, mas somente na etapa da caracterização. Na etapa da regressão as variáveis intervenientes não foram utilizadas devido à redução do período da amostra.

Esta pesquisa apresentou duas etapas de análises e discussões das séries temporais do Sistema de Abastecimento de Água - SAA de água da CORSAN de Lajeado/RS: a caracterização e a regressão.

Na etapa da caracterização do SAA de água da CORSAN de Lajeado/RS concluiu-se que:

- ✓ o crescimento médio anual do volume de ABC foi de 2,35% do ATP foi de 3,22% e do C foi de 2,71%, entre 2000 e 2007, este crescimento médio anual foi menor quando comparado com estudos de Herrera (1996) e Ayres (2000).
- ✓ os coeficientes de correlação e determinação indicam que o crescimento do volume de ABC, de ATP e de C, entre 2000 e 2007, possuem um alto grau de dependência. O volume de C quando correlacionado com a temperatura média anual e o percentual de umidade do ar médio anual indica um médio grau de dependência. E quando correlacionado com a precipitação pluviométrica anual indica um baixo grau de dependência. O volume de C além destas variáveis estudadas que influenciam em seu comportamento, ainda possui outras, mas que fogem do escopo desta pesquisa.
- ✓ em relação às perdas durante o processo de limpeza da Estação de Tratamento de Água – (ETA), entre 2000 a 2007, as perdas totais deste período no SAA da CORSAN foram de 7,82%, sendo maior que os percentuais encontrados por Herrera (1996) e de Ayres (2000).
- ✓ o crescimento médio anual das perdas durante a distribuição foi de 3,64%. E a média total das perdas neste período foi de 43,75%.

- ✓ o aumento médio por ano da extensão da rede de distribuição foi de 2,86 Km, entre 2000 e 2007, e o número médio de ligações de água foi de 354 por ano.
- ✓ sobre os setores, em 2007, o setor com maior consumo do volume de C de água foi o setor residencial com 84% do volume total, seguidos pelo setor comercial com 13%, pelo setor público com 2% e pelo setor industrial com 1%.
- ✓ o crescimento médio da população abastecida entre 2000 e 2007 apresentou um crescimento 2,53 vezes maior em relação ao crescimento da população total. O coeficiente de correlação (0,76) e determinação (0,56) entre o volume de C e a população abastecida indicaram uma média dependência.
- ✓ em relação ao volume de consumo *per capita* na cidade de Lajeado/RS no ano de 2007 foi de $152 \left(\frac{L}{hab.dia} \right)$. O coeficiente de correlação e determinação do consumo *per capita* em função da variável percentual de umidade do ar indicou uma forte dependência; em função da variável população total, temperatura média anual e tarifa média indicaram uma média dependência; e em função da variável população abastecida e precipitação pluviométrica anual indicaram uma fraca dependência.

Na etapa da previsão das séries temporais do SAA da CORSAN de Lajeado/RS concluiu-se que:

- ✓ a curva de regressão do volume de ABC é a função de número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$), onde o valor de $A = -.7134E+15$ e de $B = 0.1832E+09$, e a curva de regressão do volume de ATP também é a função de número 9 ($y = \frac{A}{X^2} + B$), onde o valor de $A = -.7598E+15$ e de $B = 0.1943E+09$, definidas pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas. Na

análise do x^2 e dos coeficientes de correlação e determinação a previsão foi confiável, projetando para 2032 um volume de ABC de 10.396.000 m³ e um volume de ATP de 10.292.000 m³.

- ✓ a curva de regressão do volume de C encontrada através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas, foi a função de número 33 ($y = A + \frac{B}{X} + \frac{C}{X^2}$), onde o valor de $A = 0.2790E+11$, $B = -.1115E-15$ e $C = 0.1114E+18$. Na análise do x^2 e dos coeficientes de correlação e determinação a previsão foi ainda mais confiável que a previsão do volume de ABC e do ATP, projetando para 2032 um volume de C de 10.434.000 m³.
- ✓ na curva de regressão da população total em função do tempo o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas encontrou a função número 140 ($y = A.e^{\frac{(x-B)^2}{C}} + D$), onde o valor de $A = 0.7907E+06$, $B = 0.2075E+04$, $C = -.1042E+04$ e $D = 0.5839E+05$. e a previsão para 2032 foi de 192.860 habitantes. Na hipótese de haver influência da população total em relação ao volume de C, este foi projetado em função da população total e do tempo pelo *software* LAB Fit Ajuste de Curvas que encontrou a função de número 382 ($y = A.X_1^3 + B.X_2^2 + C.X_1 + D.X_2$), onde o valor de $A = 0.3200E+01$, $B = -.1278E+05$, $C = 0.1277E+08$, $D = 0.3092E+01$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Total (habitantes), projetando para 2032 um volume de C de 10.645.000 m³. Na análise do x^2 e dos coeficientes de correlação e determinação e da comparação do volume de C encontrado na previsão em função do tempo, a previsão é confiável.
- ✓ a curva de regressão da população abastecida em função do tempo onde o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas encontrou a função de número 304 ($y = A.X_2^{B.X_1}$), onde o valor de $A = 0.1656E+02$, $B = 0,3645E-03$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Total (habitantes),

que efetuou a previsão para 2032 que a população abastecida fosse 135.940 habitantes. Na análise do x^2 e dos coeficientes de correlação e determinação e do crescimento médio anual dão sustentação que a previsão é aceitável.

- ✓ em relação a curva de regressão do consumo *per capita* em função da população abastecida e do tempo o *software* LAB Fit Ajuste de Curvas encontrou a função de número 343 ($y = A + (B.X_1) + \left(\frac{C}{(X_2)^2}\right)$), onde o valor de $A = -.1003E+05$, $B = -.5027E+01$, $C = 0.2868E+12$, $X_1 =$ Tempo (anos) e $X_2 =$ População Abastecida (habitantes), e a previsão para o ano de 2032 foi um consumo *per capita* de 203 $\left(\frac{L}{hab.dia}\right)$. Na análise do x^2 , dos coeficientes de correlação e determinação e do crescimento médio anual a previsão foi aceitável.
- ✓ O volume médio da vazão, em 2007, de 6.350.400 m³ por ano tornou-se insuficiente a partir do ano de 2008. A vazão máxima instalada na ETA do SAA de Lajeado/RS é de 9.357.120 m³ por ano através das previsões tornou-se insuficiente em 2026. Portanto, em 2026 haverá um colapso de falta de água em função do crescimento da população de Lajeado/RS. (Gráfico 34)

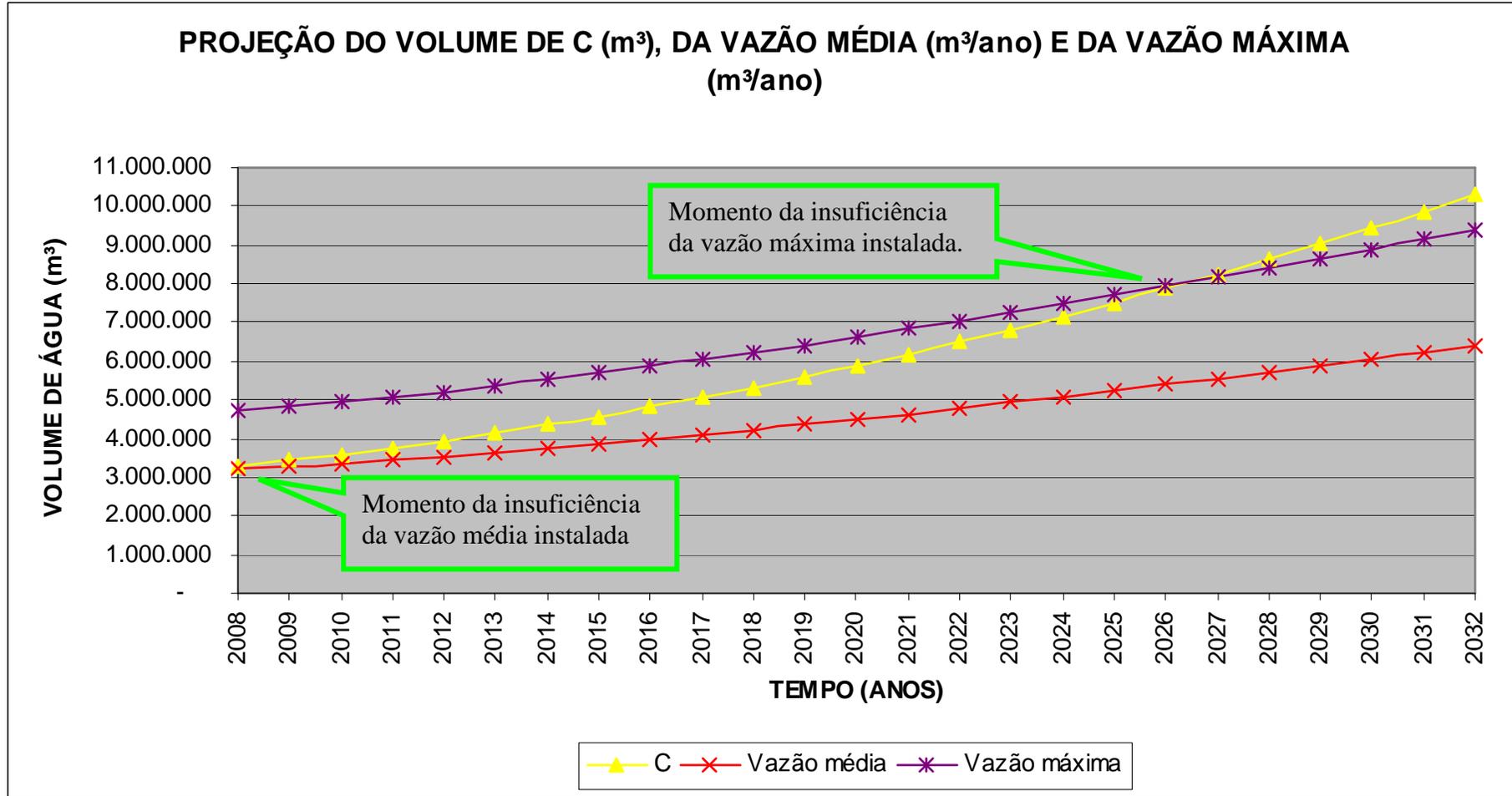


Gráfico 34 – Previsão do volume do C (m³) em função da populacional total (habitantes) e do tempo (anos), através do *software* LAB Fit Ajuste de Curvas e a vazão média e máxima instalada no SAA da CORSAN de Lajeado/RS

Fonte: O gráfico foi elaborado pelo autor através do *Software* Microsoft® Office Excel 2003.

Os projetos para ampliação do SAA deverão ser realizados antes de 2026, pois para qualquer mudança nas instalações, da cultura da população abastecida, clima, tarifação, entre outros, a insuficiência da vazão máxima poderá acontecer antes. Portanto, para quaisquer mudanças ocorridas no SAA ou no comportamento da população exige-se uma reavaliação das previsões efetuadas no capítulo 5 desta dissertação, para evitar erros nas previsões para ampliação do SAA.

5.1 Considerações Finais

Espera-se que este estudo seja usado no gerenciamento do contínuo abastecimento de água para a população abastecida da cidade de Lajeado/RS abastecidos pela rede distribuidora do SAA da CORSAN e que este estudo sirva de base para implantação de projetos de ampliação da estrutura física deste SAA. Na implantação deste estudo num outro SAA, o que pode ser reaproveitado é a estrutura deste estudo, mas as funções utilizadas para projetar as variáveis a curto e longo prazos para cada SAA serão diferentes, não existindo um padrão de funções que possam ser utilizadas para todos os SAA, mesmo com idêntica vazão, população, clima, etc.

As dificuldades encontradas na realização deste estudo foram no momento da coleta de dados, pois o SAA não continha os dados referentes ao volume de ABC e ATP, estes volumes sendo coletados junto ao SNIS. Variáveis intervenientes, tais como a temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, somente têm registros a partir do ano de 2003 e, por este fato, como continha poucos dados à disposição, não foi possível realizar a previsão incluindo estas variáveis.

Há perspectivas de continuar este estudo numa tese de doutorado realizando uma caracterização mais analítica deste SAA, separando o consumo por bairros abastecidos pela malha distribuidora de água da CORSAN, com a inclusão da renda *per capita*, uma variável entre as já caracterizadas neste estudo. Na fase da definição da linha de tendências desta tese de doutorado, analisar as variáveis

intervenientes, que neste estudo não foram utilizados em função dos poucos dados disponíveis, como por exemplo, a temperatura, a precipitação pluviométrica, e a umidade relativa do ar, tarifa média por m³, entre outros.

As variáveis que também influenciam no estabelecimento do C, mas que fugiram do escopo deste estudo, são os comportamentos sociológicos, culturais, a qualidade da água, os avanços, quantidade de malhas de distribuição da PML e os avanços da quantidade de malhas de distribuição particulares da cidade de Lajeado. Estas variáveis merecem estudos que são fundamentais quando integrados às investigações deste estudo, reunindo o maior número de variáveis tornando possível maior segurança na realização de previsões, na tentativa de chegar mais perto da exatidão desta previsão.

UNIVATES

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A. M. P.; SHIROTA, R. Consumo residencial médio de água tratada: uma aplicação de modelos de séries temporais em Piracicaba. **Revista Agrícola**, v. 49, n. 1, p. 55-72, 2000.
- AYRES, M. C. R. **Sistema de abastecimento de água potável no município de Dourados/MS: caracterização de análises**. 2000 78 f. Dissertação (Mestrado Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Est. Paulista Júlio Mesquita Filho, Botucatu, 2000.
- Banco de Dados Regional da Univates. Link: <<http://www.bdr.univates.br/>>, acesso em 21 de março de 2009.
- BIOESTAT 5.0. Disponível em: <http://biocistron.blogspot.com/2008/07/programa-bioestat-50_7617.html>. Acesso em 15 out. 2008.
- BASSANEZI, Rodney C. **Ensino-Aprendizagem com Modelagem Matemática**. 3ªed. São Paulo: Contexto, 2006. 389 p.
- CALLEGARI-JAQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. 1ª ed. Porto Alegre : Artmed, 2003. 255 p.
- CHRYSOSTOMOS, S.; KOSTAS, B. Estimating urban residential water demand determinants and forecasting water demand for Athens metropolitan area, 2000-

2010. **ASECUSouth-Eastern Europe Journal of Economics**, ano 1, p. 47-59, 2006.

CLARKE, R.; KING, J.. **O atlas da água**: O mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta. 1. ed. São Paulo: Publifolha, 2005.

Companhia Riograndese de Saneamento (CORSAN). <Link: <http://www.corsan.com.br>>. Acesso em 14 jan. 2009.

DIEDRICH, V. L.; FERREIRA, E. R. ; ECKHARDT, R. R. . Espacialização das Estimativas das Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas Anuais para o Vale do Taquari - RS - Brasil, pelo Método de Regressão Linear. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis / SC. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2007. v. XIII. p. 153-159.

FALKENBERG, A. V. **Previsão de consumo urbano de água em curto prazo**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2005.

FERNANDES NETO, M.L.; NAGHETTINI, M.; vON SPERLING, M.; LIBÂNIO, M. Avaliação da relevância dos parâmetros intervenientes no consumo *per capita* de água para os municípios de Minas Gerais. **Revista ABES**, v. 9, n. 2, p. 100-107, 2004.

FOSTER, H.; BEATTIE, B. R. Urban residential demand for water in the U.S. **Land Economics**, v. 55, n. 1, p. 43-58, Feb. 1979.

HERRERA, O. M. **Caracterização e análise do sistema de abastecimento de água potável no município de Botucatu, SP**. 1996 100 f. Dissertação (Mestrado Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Botucatu, 2000.

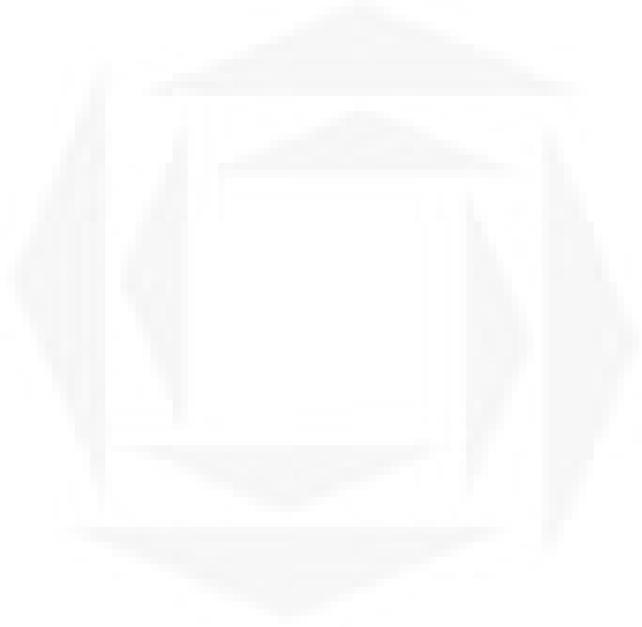
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Link:<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 10 jan. 2009.

- LEVINE, D. M.; STEPHAN, D.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M. L. **Estatística – Teoria e aplicação usando o Microsoft® Excel em português**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 819 p.
- MAGALHÃES, C. A. C.; MORENO, J.; GALVÃO, A. C. G. Estimativa do consumo *per capita* em comunidades atendidas pela unidade de negócio do médio Tietê. In Anais eletrônicos do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001.
- MAKRIDAKIS, S.G. **Forecasting Planning, and Strategy for the 21st Century**. 1. Ed., New York, NY. USA: The Free Press, 1990.
- MOTTA, V. T. **Bioestatística**. 2ª ed. Caxias do Sul, RS: Educs, 2006. 190 p.
- NARCHI, H. A demanda doméstica de água. **Revista Dae**. São Paulo, ano 5, n. 154, p. 01- 07, 1989.
- NUCCI, N. L. R. Avaliação da demanda urbana de água. Aspectos econômicos e urbanísticos. A área edificada como possível explicativa e prospectiva. **Revista Dae**. São Paulo, ano 4, n. 135, p. 22 - 29, 1983.
- PITTOCK, J. A crise da água atinge também os países ricos. **Revista Eco 21**. Ed. 118, Set. 2006. Link:<<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=1413>>. Acesso em 21 set. 2009.
- Prefeitura Municipal de Lajeado/RS (PML). Link:<http://www.lajeado-rs.com.br/internas.php?conteudo=infra_abastec.php>. Acesso em 15 jan. 2009.
- ROCHA, W. S.; SILVA, R. T. **Caracterização da demanda urbana de água: Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)**. Documento técnico de apoio - Presidência da República Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano Secretaria de Política Urbana, p. 49, 1999.
- SACHS, J. D. As guerras pela água. **Revista Eco 21**. Ed. 152, julho 2009. Link:<<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=2021>>. Acesso em 21 set. 2009.

- SADER, E. De olha na crise da água. **Revista Eco 21**. Ano XV. Ed. 101, Março 2005. Link:<<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=1052>. Acesso em 21 set. 2009.
- SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P.S.; CAVALCANTI, C. G. B.; SILVA, D. D. P. S.; SOARES, I. B.; OLIVEIRA, J. A. S.; SILVA, C. D. P. S. "**LAB Fit ajuste de curvas**": um software em português para tratamento de dados experimentais. *Rev. Bras. Ens. Fis.*, Dez 2004, vol.26, no.4, p.419-427.
- SILVA, W. T. P. **Modelagem aplicada à determinação da quota *per capita* de água: um instrumental para gestão de recursos hídricos no município de Cuiabá**. 2008. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. 2008.
- Sistema Nacional de Informações Sanitárias (SNIS). Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em setembro 2008.
- Software Microsoft® Office Excel 2003. Disponível em: <<http://office.microsoft.com/pt-br/default.aspx>> . Acesso em junho de 2008.
- Software LAB Fit Ajuste de Curvas. Disponível em: <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/index_p.htm>. Acesso em setembro de 2008.
- TRAUTWEIN, J. B. **Avaliação de métodos para avaliação de previsão de consumo de água para curtíssimo prazo: um estudo de caso em empresa de saneamento**. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba. 2004.
- WEBSTER, A. L. **Estatística aplicada à Administração e Economia**. 1 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 633 p.
- WITTE, R. S.; WITTE, J. S. **Estatística**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 486.
- WOLMAN, A. Havia regras sobre “Água Pura” há 4.000 anos atrás. **Revista Dae**. São Paulo, ano 1, n. 34, p. 93-94, 1936.

VON SPERLING, M. **Princípio de tratamento biológico de águas Residuárias**. 2 ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996. 243 p.

VON SPERLING, M.; SANTOS, A. S. P.; MELO, M. C.; LIBÂNIO, M. **Investigação de fatores de influência no consumo per capita de água em estados brasileiros e em cidades de Minas Gerais**. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SIBESA), 2002, Vitória. Anais, 2002.



UNIVATES