



## IV-129 - MONITORAMENTO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO DO RIO PIQUIRI UTILIZANDO TÉCNICAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO E COMPARAÇÃO COM PARÂMETROS LEGAIS VIGENTES

**Fabio Orssatto<sup>(1)</sup>**

Tecnólogo Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Prof. Substituto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

**Eliane Hermes<sup>(2)</sup>**

Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).

**Marcio Antonio Vilas Boas<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Agrícola e Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Prof. Adjunto, RHESA/CCET, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR.

**Simone Damasceno Gomes<sup>(4)</sup>**

Engenheira Agrônoma pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Prof. Adjunto, RHESA/CCET, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Universitária 2069 – Jardim Universitário - Cascavel - PR - CEP: 85814-110 - Brasil - Tel: (45) 3220-3262 - e-mail: [fabio@orssatto.com](mailto:fabio@orssatto.com)

### RESUMO

No início do século 21 a humanidade se deparou com o problema da escassez de água como uma ameaça para a saúde humana e a vida do planeta. A escassez ou falta de água afeta mais que 40% da população mundial, por razões políticas, econômicas, e climáticas. O controle estatístico de processo é uma ferramenta que procura manter variáveis dentro de limites ou padrões pré-estabelecidos por normas técnicas, buscando que determinado processo se comporte de forma adequada. Este estudo tem por objetivo avaliar a concentração de oxigênio dissolvido (OD) no Rio Piquiri por meio de técnicas de controle estatístico da qualidade e comparar com os aspectos legais. Os dados utilizados para a determinação do oxigênio dissolvido (OD) foram coletados no Rio Piquiri, um rio perene de ambiente lótico considerado pelo Instituto Ambiental do Paraná como classe II conforme classificação da resolução CONAMA 357. O período de coleta dos dados foi de novembro de 1984 a julho de 2006 correspondendo a um total de 51 amostras coletadas. O banco de dados utilizado pertence à Agência Nacional das Águas (ANA). Procedeu-se a utilização de ferramentas estatísticas como as técnicas de controle (gráfico individual Shewart) e posterior determinação da capacidade do processo para analisar os resultados obtidos com ênfase na gestão da qualidade ambiental. O valor encontrado para a capacidade do processo foi de 1,63, ou seja, o processo é capaz, o qual em termos práticos significa que com relação ao parâmetro de OD, o rio enquadra-se na classe II segundo a Resolução CONAMA 357. Todos os dados encontram-se acima do limite mínimo estabelecido pelo CONAMA 357 e as técnicas estatísticas de controle de qualidade são eficazes para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, haja visto, que através do cálculo da capacidade do processo, verificou-se que o processo é capaz ou adequado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle de Qualidade, Qualidade de Água, CONAMA 357.

### INTRODUÇÃO

No início do século 21 a humanidade se deparou com o problema da escassez de água como uma ameaça para a saúde humana e a vida do planeta. A escassez ou falta de água afeta mais que 40% da população mundial, por razões políticas, econômicas, e climáticas (BRITTO & RANGEL, 2008).

A água potável, superficial ou subterrânea, está cada vez mais escassa em decorrência do aumento da população mundial e da intervenção ativa do homem nos ambientes urbano e rural (AMARAL et al., 2006).



O oxigênio dissolvido (OD) é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas (PINHEIRO et al, 2007) e sua ausência pode afetar significativamente a biota aquática. A Resolução Federal CONAMA 357/2005 descreve o valor permitido de 5 mg. L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> para corpos hídricos classe II.

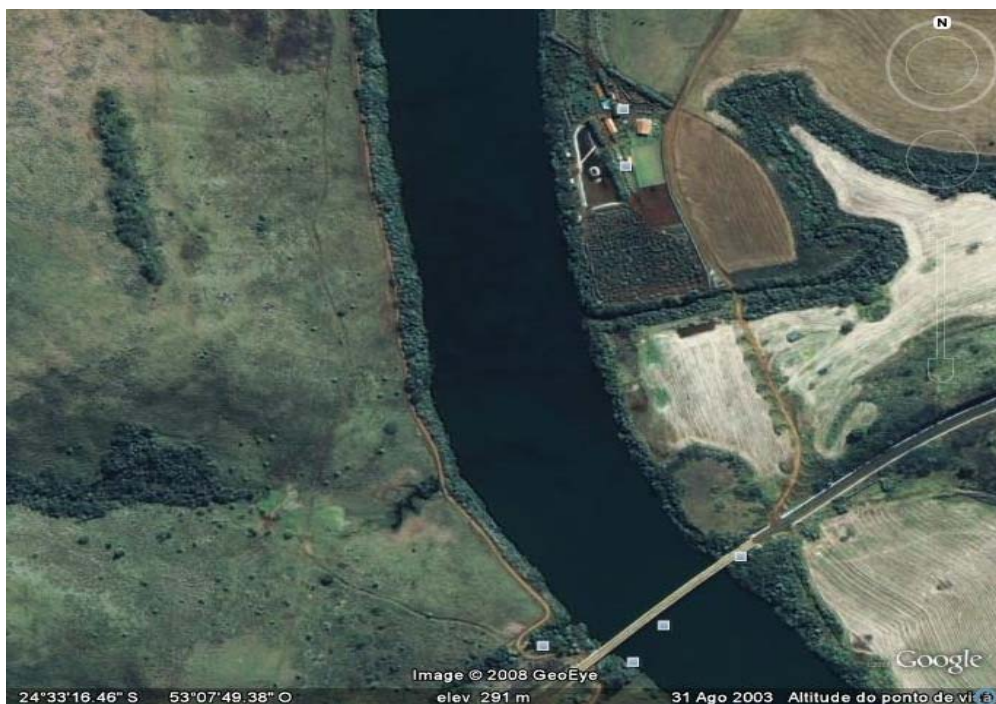
O controle estatístico de processo é uma ferramenta que procura manter variáveis dentro de limites ou padrões pré-estabelecidos por normas técnicas, buscando que determinado processo se comporte de forma adequada (TRINDADE et al., 2000). Os mesmos autores afirmam ainda que um processo está sob controle estatístico quando a única fonte de variação são as causas comuns (aleatórias) e foram eliminadas por meio de um esforço determinado, todas as causas especiais de variação.

MONTGOMERY (2004) descreve que o gráfico de controle é uma técnica de monitoramento do processo, sendo muito útil, pois quando fontes não usuais de variabilidade estão presentes, as médias amostrais serão plotadas fora dos limites de controle. A análise da capacidade de um processo foi desenvolvida para avaliar a variabilidade ao longo do tempo (ciclo) do processo.

Este estudo tem por objetivo avaliar a concentração de oxigênio dissolvido (OD) no Rio Piquiri por meio de técnicas de controle estatístico da qualidade e comparar com os aspectos legais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados para a determinação do oxigênio dissolvido (OD) foram coletados no Rio Piquiri, um rio perene de ambiente lótico considerado pelo Instituto Ambiental do Paraná como classe II conforme classificação da resolução CONAMA 357/2005 pertencente à Bacia do Rio Paraná localizado na cidade de Ubatã – Paraná. A sua bacia hidrográfica é a terceira maior em área física do estado do Paraná, apresentando uma área total de 24.731 Km<sup>2</sup>. Os solos predominantes da bacia são: latossolo, argilossolo e nitossolo vermelhos, e a leste, porções mais significativas de neossolos. Ao norte as texturas variam pouco entre arenosa e média arenosa, prevalecendo texturas mais argilosas nas demais regiões. O ponto de coleta escolhido localiza-se à 24°33'08"S 53°07'48"O, próximo a ponte da rodovia federal BR-369. O período de coleta dos dados foi de novembro de 1984 a julho de 2006 correspondendo a um total de 51 amostras coletadas. O banco de dados utilizado pertence à Agência Nacional das Águas (ANA). A Figura 1 ilustra o ponto de coleta no Rio Piquiri.



**Figura 1: Rio Piquiri, ponto de coleta.**

Fonte: GOOGLE EARTH (2008).



Procedeu-se a utilização de ferramentas estatísticas como as técnicas de controle (gráfico individual Shewart) e posterior determinação da capacidade do processo para analisar os resultados obtidos com ênfase na gestão da qualidade ambiental.

Os gráficos de controle de medidas individuais consistem em limites inferior e superior de controle e uma linha média (ALBERS & KALLENBERG, 2004). A construção desse gráfico baseia-se no modelo que MONTGOMERY & RUNGER (2003) apresentam. Supondo que a média ( $\mu$ ) do processo seja conhecida e assumindo que os dados possuem distribuição normal, usa-se a média como linha central, e três vezes a média das amplitudes móveis ( $\overline{AM}$ ) nos limites de controle como pode ser observado nas Eqs. 1, 2 e 3:

$$LSC = \mu + 3 \frac{\overline{AM}}{d_2} \quad \text{equação (1)}$$

$$LC = \mu \quad \text{equação (2)}$$

$$LIC = \mu - 3 \frac{\overline{AM}}{d_2} \quad \text{equação (3)}$$

Onde LSC é o limite superior de controle, LIC é o limite inferior de controle, LC é a linha central e  $d_2$  é um fator para construção de gráficos de controle para variáveis encontrado em MONTGOMERY (2004).

Processos unilaterais, ou seja, que possuem apenas um limite de especificação, seja ele superior ou inferior, aplica-se os índices de capacidade unilaterais. No presente trabalho, aplicou-se o índice de capacidade unilateral inferior  $C_{pi}$ , pois o parâmetro utilizado apresenta limite mínimo (inferior) igual a 5 mg. L<sup>-1</sup> de concentração de OD em corpos d'água classe II (CONAMA 357, 2005).

Sonooch et al (2007) representa o  $C_{pi}$  pela seguinte equação:

$$C_{pi} = \frac{\mu - LSI}{3\sigma} \quad \text{equação (4)}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 descreve a análise estatística do parâmetro OD.

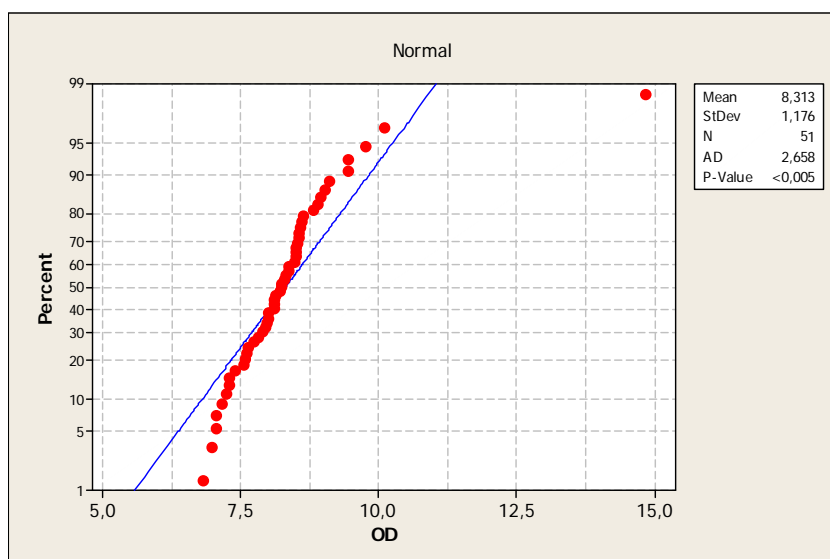
**Tabela 1: Análise descritiva dos dados.**

PARÂMETROS	OD
Número de amostras	51
Média	8,313
Desvio Padrão	1,176
Coefficiente de Variação	14,14
Mínimo	6,8
Máximo	14,82

Houve uma variação muito pequena dos valores de OD em todas as coletas realizadas, havendo apenas a ocorrência de um valor elevado em comparação aos demais que foi 14,82 mg. L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>, que de acordo com SARDINHA et al. (2008) indica a ocorrência de boa oxigenação no local na data de coleta desta. A menor concentração foi de 6,8 mg L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>, valor que não apresenta danos ao desenvolvimento das espécies. Estas altas concentrações segundo GASTALDINI et al. (2002) podem ser resultantes das baixas cargas orgânicas afluentes em toda a bacia.

Todas as amostras a encontram-se acima do limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 tanto no inciso I do Artigo 14 que determina o padrão mínimo de 6 mg L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> para águas doces classe I, quanto no inciso VI do Artigo 15 que delimita o padrão de 5 mg L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> para a classe II.

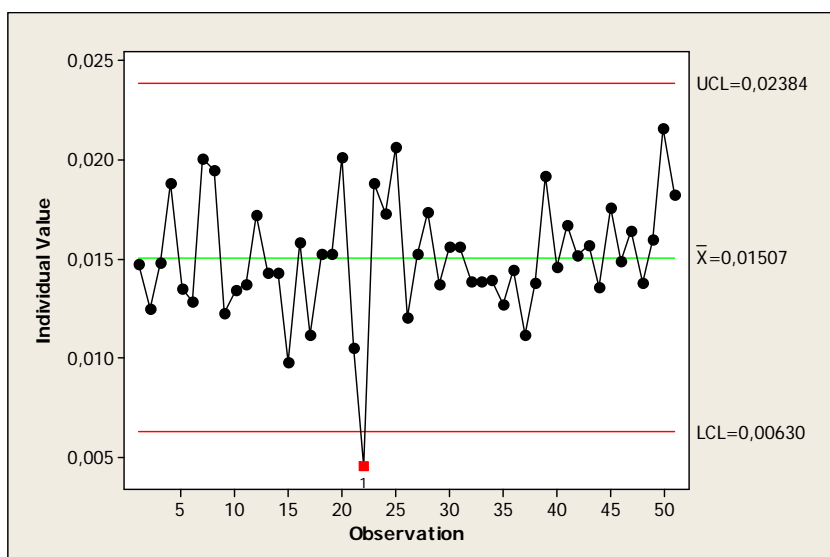
Para a aplicação dos gráficos de controle é necessário que os dados apresentem normalidade e esta pode ser verificada por meio do gráfico de probabilidade normal demonstrado na Figura 2, onde os dados devem estar localizados, aproximadamente ao longo de uma linha reta.



**Figura 2: Gráfico de probabilidade normal.**

Não há normalidade dos dados, pois alguns valores não encontram-se próximos da linha traçada e além disso outro indicativo de não normalidade é que o p-value < 0,05 como pode ser observado nas informações contidas no gráfico.

Aplicou-se então a transformação do tipo box-cox nos dados para que ocorresse a normalidade dos valores, possibilitando a utilização dos gráficos de controle. A Figura 3 apresenta os resultados de OD coletados após a transformação.



**Figura 3: Oxigênio Dissolvido.**

Verificando o gráfico de controle, observa-se que apenas o ponto 22 está fora de controle estatístico. Isso pode se dar ao fato de algum erro analítico, já que valores elevados são encontrados apenas em locais com elevada pressão atmosférica e baixa temperatura, o que não ocorre na região onde foram coletados os dados. Retirando este ponto, o gráfico se comporta de maneira diferente, como pode ser visualizado na Figura 4.

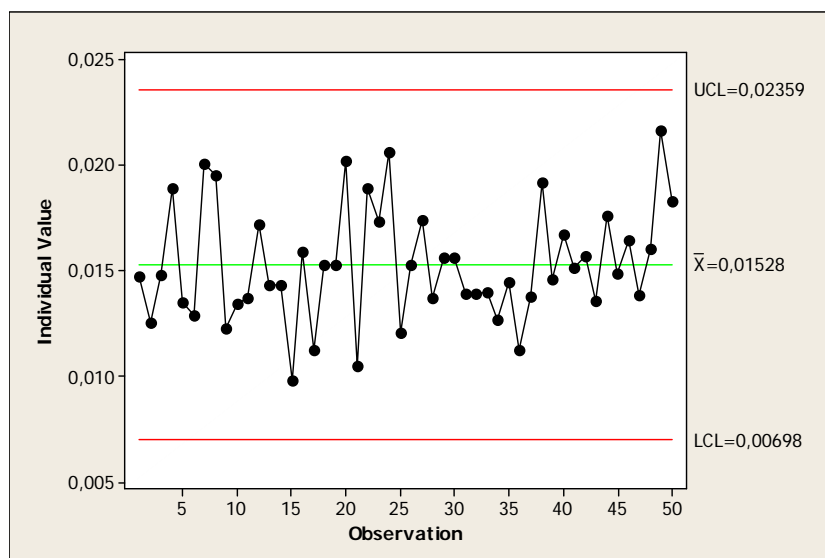


Figura 4: Gráfico de controle.

Com a remoção do ponto 22, o gráfico encontra-se sob controle estatístico, sendo que dessa maneira pode ser determinada a capacidade do processo.

MONTGOMERY (2004) cita que se o valor da capacidade do processo for maior ou igual a 1,33 o processo é capaz ou adequado segundo as especificações, se a capacidade do processo estiver entre 1 e 1,33 o processo é aceitável e se a capacidade do processo for menor do que 1 o processo é incapaz ou inadequado. O valor encontrado para a capacidade do processo foi de 1,63, ou seja, o processo é capaz, o qual em termos práticos significa que com relação ao parâmetro de OD, o rio enquadra-se na classe II segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

## CONCLUSÕES

Todos os dados encontram-se acima do limite mínimo estabelecido pelo CONAMA 357/2005 e as técnicas estatísticas de controle de qualidade são eficazes para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, haja visto, que através do cálculo da capacidade do processo, verificou-se que o processo é capaz ou adequado.

## AGRADECIMENTOS

Ao PGEAGRI-UNIOESTE pelo apoio financeiro e infra-estrutura. A CAPES e ao CNPq pela concessão das bolsas de mestrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBERS, W., KALLENBERG, W. C. M. Estimation in Shewart control charts: effects and corrections. *Metrika*. v. 59, 207 – 234p. 2004.
2. AMARAL, L. A., ROSSI, J. O. D., FILHO, A. N., BARROS, L. S. S., PRISCILA M. S. Água utilizada em propriedades rurais para o consumo humano e na produção de leite como veículo da bactéria do gênero *Aeromonas*. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*. v.101, nº 557-558, 103 – 107p. 2006.
3. BRITTO, J. M., RANGEL, M. C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. *Química Nova*. v. 31, n. 1, 114-122p. 2008.
4. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução 357, de 17 de março de 2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 18 set. 2007.
5. GASTALDINI, M. C. C., SEFFRIN, G. F. F., PAZ, M. F. Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do rio Ibicuí utilizando o modelo QUAL2E. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol.7, n.3, p.129-138. 2002.
6. GOOGLE EARTH. Rio Piquiri. Disponível em: <<http://earth.google.com>> Acesso em: 05 out. 2008.



7. MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2004.
8. MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. Applied Statistics and Probability for Engineers. 3. ed. New York, EUA: John Willey & Sons Inc, 2003.
9. PINHEIRO, J. A. ESTEVES, N. M. Dias, H. C.T. Análise temporal e espacial da qualidade da água na bacia hidrográfica do Zerede, Timóteo-MG. 2007. Anais...Taubaté.
10. SARDINHA, D.S.; ET AL. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do ribeirão do meio, Leme (SP). Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.13, n.3. p. 329-338. 2008.
11. SONOCH, S., KIATCHAROENPOL, T. LAOSIRIHONGTHONG, T. An approach to comparing measurement system analysis with process capability study for prioritizing improvement. In: 9<sup>th</sup> Conference of the International Decision Sciences Institute, Bangkok, Thailand. Anais... 2007.
12. TRINDADE, C.; REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; SARTÓRIO, M. L. Ferramentas da qualidade: Aplicação na atividade florestal. Viçosa: UFV, 124 p. 2000.