

UTILIZAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO PARA A ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM UM MUNICÍPIO ADJACENTE AO PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU

CONTROL USE STATISTICAL PROCESS FOR WATER QUALITY ANALYSIS IN A CITY ADJACENT TO THE NATIONAL PARK IGUAÇU

Géssica Brum Soares

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Medianeira – Brasil
gessica-brum23@hotmail.com

Professor orientador: Jairo Marlon Corrêa

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Medianeira – Brasil
jairomarlom@hotmail.com

RESUMO

A água é um dos elementos fundamentais à vida na terra e essencial para a humanidade, sua constante verificação e controle da qualidade da água são de extrema importância para a sua potabilidade. O presente trabalho tem como objetivo avaliar três parâmetros físico-químicos da água: cloro residual livre, pH e turbidez. O estudo foi realizado com amostras coletadas entre os anos de 2009 e 2014 em determinados pontos de distribuição, após passarem por todo o processo de tratamento e adequação para o consumo humano. Para as análises estatísticas dos dados foram utilizadas as cartas de controle de média e amplitude. Os resultados obtidos foram avaliados individualmente e comparados com os limites estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 de BRASIL-Ministério da Saúde (MS), utilizando como referência água potável para consumo humano. Os resultados apresentaram conformidade em relação à Portaria contrariando, porém, com os limites estatísticos verificados pelo Controle Estatístico de processo (CEP). Apesar disso, essa variação não indica que a água seja imprópria para consumo humano, já que esta variabilidade não extrapola os limites de especificação impostos pelo sistema de distribuição de água do município e nem com os da Portaria 2.914/2011. Dessa forma, as análises dos parâmetros indicam tendências e padrões de variações em pequenas escalas que permitiram identificar tais causas de variabilidade. Entretanto, é possível afirmar que a água distribuída pelo sistema de abastecimento da sede do município é considerada potável e adequada para o consumo humano, não sendo prejudicial à saúde da população.

Palavras-chave: água potável; parâmetros físico-químicos; padrão de potabilidade

Abstract

Water is one of the fundamental elements to life on Earth and essential for mankind and the constant verification and control of water quality are of utmost importance for its drinking. The present study aims to assess three physico-chemical parameters of the water: turbidity, pH and free residual chlorine. The study was conducted with samples collected between 2009 and 2014 in certain points of distribution, after going through the whole process of treatment and adequacy for human consumption. For the statistical analysis of the data were used letters of medium and amplitude control. The results obtained were evaluated and compared with the limits established by

Portaria number 2,914/2011 from Brazil Health Ministry (MS), using as reference sweet drinking water for human consumption. The variables presented compliance in relation to Portaria, however to the contrary the statistical limit verified by Statics Process Control (SCP) . Nevertheless, this variation does not indicate that the water is unsuitable for human consumption, since this variability does not extrapolate the specification limits imposed by Sanepar and neither Portaria 2,914/2011. Thus, the analysis of the parameters indicate trends and patterns of variations in small scales that identified such causes of variability. However, it is possible to affirm that the water distributed by water supply system Headquarters Matelândia is considered drinkable and of good quality and in sufficient quantity for human consumption, not being harmful to the health of the population.

Keywords: potable water; physico-chemical parameters; potability standards

1 INTRODUÇÃO

Água em quantidade suficiente e de qualidade para consumo humano no mundo, está cada dia se tornando mais escassa e de difícil acesso. A água é um bem público indispensável para a vida, sendo de fundamental importância para a saúde pública. No entanto, mais de um bilhão de pessoas no mundo não têm acesso à água tratada, dentre as quais 19 milhões residem no Brasil (FRAZAO, P; PERES, M. A. e CURY, J. A., 2011).

Com o aumento da população e, conseqüentemente com o crescimento desordenado, o consumo de água aumentou. Contudo, em termos de qualidade e quantidade, se tornou uma preocupação, pois o ser humano está depreciando este bem, contaminando as águas com as mais diversas formas de poluição.

Esta realidade também está associada ao lançamento de mais de 90% de esgotos domésticos e cerca de 70% de efluentes industriais não tratados, o que tem gerado a poluição dos corpos de água doce de superfície em níveis nunca antes imaginados (REBOUÇAS, 1997).

O tratamento da água se torna indispensável para consumo humano, visto que a água pode veicular um elevado número de doenças. Essa transmissão pode ocorrer por diferentes mecanismos, como a ingestão de água contaminada; quantidade insuficiente para os hábitos higiênicos e para a alimentação, além disso, pode se tornar um mecanismo para a proliferação de vetores - como a dengue (BRASIL, 2006).

A água para consumo humano pode ser um veículo de enfermidades, o que torna primordial sua avaliação. Para que seja considerada potável, a água deve adequar-se a parâmetros de qualidade estabelecidos na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

A poluição provocada pelas atividades humanas, o grande aumento da população, o consumo excessivo e o extremo desperdício são fatores que colocam em risco a disponibilidade de água doce (SOUZA, *et al* 2015).

De acordo com Brasil (2006), a maior parte das doenças transmitidas para o ser humano é causada por microorganismos, particularmente vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Pode-se citar a diarreia e a leptospirose, as quais são transmitidas através da via feco-oral (alimentos contaminados por fezes). As formas de prevenção são dadas por meio da proteção e tratamento da água para o abastecimento, impedimento de uso de fontes contaminadas e fornecimento de água em quantidade adequada e promoção da higiene pessoal, doméstica e dos alimentos.

De acordo com a legislação vigente da qualidade da água Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, a vigilância da qualidade da água para consumo humano é o conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública. Tal finalidade é a de verificar se a água consumida pela população atende a esta norma e avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana.

A vigilância da qualidade da água para consumo humano só foi implementada no Brasil como um programa, a partir da criação do Sistema Nacional de Vigilância Ambiental em Saúde. Este programa possui um sistema de informação de vigilância e controle da qualidade da água de consumo humano (Sisagua). Esse sistema contém as informações que dizem respeito aos aspectos físico-químicos, químicos e microbiológicos e dados sobre a qualidade, vazão, população abastecida e localização das formas de abastecimento da água.

Aliado a todas as necessidades no que diz respeito à qualidade da água tratada, que envolvem questões ambientais e de saúde, é possível fazer uso de diversos estudos sobre controle estatístico da qualidade e/ou criação de modelos matemáticos que evidenciam comportamentos de padrão de variabilidade das características físico-químicos da água no sistema de distribuição.

A ênfase para buscar melhorias da qualidade deve ser concentrada em melhoramentos contínuos, atitudes que, promovidas continuamente, permitam reconhecer os problemas, priorizar ações corretivas, implantá-las e dar sequência a postura proativa, agindo corretamente (SILVA, 1999).

O conceito de qualidade que se tem atualmente só se obteve após a Segunda Guerra Mundial. Desde então, já havia a preocupação de garantir a qualidade dos produtos evitando conformidades por um procedimento de verificar produto por produto (ROSA, J.I.L.; SILVA, L.L.M.; BARBOSA, D.B.M., 2013). Com isso, o físico Walter Andrew Shewarth, conhecido como “pai do controle estatístico da qualidade”, substituiu esse método de verificação de item por item criando técnicas estatísticas de controle (PINTO, 2010).

O Controle Estatístico do Processo (CEP) chega como uma ferramenta desenvolvida, que contribuiu na aplicação de técnicas para viabilizar e padronizar a qualidade, dessa forma detectar defeitos nos

produtos finais (ALMEIDA, *et al* 2011). Ele possibilita padronizar para que não ocorram desperdícios, e assim o processo produtivo se torna eficaz e de alta qualidade.

Para ser de boa qualidade a água que chega a nossas residências, deve passar por tratamentos e, no final, os parâmetros físico-químicos devem estar conforme a Portaria 2.914/2011. Diante disso, este artigo tem por objetivo verificar, através do controle estatístico do processo (CEP), se as condições dos parâmetros físico-químicos da água: cloro residual livre, pH e turbidez da água no sistema de distribuição da unidade de tratamento Sede do município de uma cidade do oeste paranaense lindeiro ao Parque Nacional Do Iguaçu, estão de acordo com os padrões de potabilidade da Portaria 2.914/2011. Para tal, utilizaremos o CEP empregando as cartas de controle como ferramenta da qualidade para realizar as avaliações das características que compõem a água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo a OMS (1999), há uma relação direta entre saneamento e saúde e a água constitui o principal elo nesta interdependência. A água constitui o principal deles, pois pode afetar a saúde humana de várias maneiras, seja por ingestão direta ou na preparação de alimento, ou pelo seu uso na higiene pessoal ou na agricultura, indústria ou lazer (HARDOIM, 2010).

O mecanismo de transmissão de doenças mais comum e que está ligado diretamente à qualidade da água é o da ingestão. Ocorre quando um indivíduo sadio ingere certa quantidade de água que contenha componente nocivo à saúde e a presença desse elemento no organismo humano provoca o aparecimento de doença. Outro mecanismo refere-se à quantidade insuficiente de água como para realizar os hábitos higiênicos ou a falta dela pode contribuir para o aparecimento de escabiose. A situação no ambiente físico, proporcionando condições propícias à vida e à reprodução de vetores ou reservatórios de doenças também é considerada um mecanismo de transmissão de doenças (BRASIL, 2006).

Conforme Brasil, 2006 é importante informar que todo o processo de tratamento que a água passa desde, o tratamento, a reservação, a distribuição e o consumo, não garante a condição de potabilidade da mesma. Cabe destacar que são várias as substâncias, como metais pesados e agrotóxicos que não são efetivamente removidas em processos convencionais de tratamento. Por isso, a importância de se manter um sistema com mais enfoque no controle e na vigilância da qualidade da água para consumo humano, considerando a dinâmica da água desde o manancial até o consumo.

O padrão de potabilidade brasileiro está descrito no Quadro 1:

<ul style="list-style-type: none">• Padrão microbiológico;
<ul style="list-style-type: none">• Padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção;
<ul style="list-style-type: none">• Padrão para substâncias químicas que representam riscos á saúde (inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção);
<ul style="list-style-type: none">• Padrão de radiatividade;
<ul style="list-style-type: none">• Padrão de aceitação para consumo humano;

Fonte: retirado BRASIL, 2006.

O CEP fornece uma radiografia do processo identificando sua variabilidade e possibilitando o controle dessa variabilidade ao longo do tempo através da coleta de dados continuada, análise e bloqueio de possíveis causas que estejam tornando o sistema instável (RIBEIRO, 2012).

O controle estatístico do processo (CEP) é uma técnica estatística aplicada à produção que permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzida (RIBEIRO, 2012).

O principal objetivo do CEP é possibilitar um controle eficaz da qualidade, feito pelo próprio operador em tempo real, assim, monitorando as características de interesse, assegurando que elas se mantêm dentro de limites preestabelecidos e indicando correção e melhorias (RIBEIRO, 2012).

Segundo (BONDUELLE, 2013), cartas de controle são gráficos de análise e ajuste da variação de um processo em função do tempo, através de duas características básicas: sua centralização e sua dispersão. O emprego dos gráficos de controle possibilita o controle de qualidade no sistema, ou seja, exibem um enfoque na detecção dos defeitos e ação corretiva imediata (DEMING, 1990).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados obtidos em um município limdeiro ao Parque Nacional Do Iguaçu, juntamente com um laboratório credenciado no município de Cascavel, a qual opera com certificação ISO 9001 para o Sistema de Tratamento de Água e Esgoto. As informações utilizadas para o desenvolvimento do presente estudo são da rede de distribuição da unidade de tratamento Sede. O município concentra um número de habitantes de 17.340 em uma área de aproximadamente de 639.746 km² (IBGE, 2015).

3.1 PARÂMETROS ANALISADOS

No processo de tratamento da água potável são analisados vários parâmetros para o controle da qualidade da água para consumo humano. A Portaria Ministerial prevê parâmetros de análise para cada forma de abastecimento de água. O cloro residual livre, o pH e a turbidez são fundamentais para o controle da qualidade da água. Neste sentido, foram definidas as especificações para estes três parâmetros de potabilidade: cloro residual livre, o pH e a turbidez, tendo como principais características na sequência.

3.1.1 PARÂMETRO CLORO RESIDUAL LIVRE

O cloro é um produto químico utilizado no tratamento da água. Sua medição é importante e serve para controlar a dosagem que está sendo aplicada na água e também para acompanhar sua evolução durante o tratamento. A portaria 2.914/2011 determina a obrigatoriedade de se mantêm no mínimo um padrão de 0,2 mg/L de cloro residual livre ou até 2,0 mg/L de cloro residual em toda extensão do sistema de distribuição. Os principais produtos utilizados são: hipoclorito de cálcio, cal clorada, hipoclorito de sódio e cloro gasoso. A aplicação de cloro como meio de desinfecção pode garantir a manutenção da qualidade da água desde que a cloração seja feita de maneira controlada (FUNASA, 2013).

3.1.2 PARÂMETRO PH

O pH representa a concentração de íons de hidrogênio H^+ na água, indicando condições de acidez, neutralidade e basicidade da água. O pH é um parâmetro de caráter operacional importante e sempre deve ser acompanhado para otimizar em qualquer processo de tratamento, sendo de fundamental importância na qualidade da água (BAIRD, 2004).

A coagulação e a floculação que a água sofre de início é um processo unitário e dependente do pH, há uma condição denominada “pH ótimo” de floculação, que corresponde à situação em que as partículas coloidais apresentam menor quantidade de carga eletrostática superficial. Há também outro processo para desinfecção que é através do cloro. Em meio ácido, a dissociação do ácido hipocloroso formando hipoclorito é menor, sendo o processo mais eficiente. Reconhecendo-se que as águas ácidas são corrosivas, ao passo que as alcalinas são incrustantes. Portanto, o pH da água final deve ser controlado, para que assim os carbonatos presentes sejam equilibrados e não ocorra nenhum dos dois efeitos indesejados mencionados (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

Na rotina dos laboratórios das estações de tratamento de água o pH é medido e ajustado para melhorar o processo de coagulação/floculação da água e também no controle da desinfecção. A Portaria vigente recomenda que o pH da água seja mantido de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição da água, sendo ideal principalmente para a ação de desinfecção do cloro na água. Os resultados de pH devem estar dentro da faixa estabelecida dos padrões de potabilidade (FUNASA, 2013).

3.1.3 PARÂMETRO TURBIDEZ

De acordo com a portaria da potabilidade da água, a turbidez é um parâmetro físico da água é gerada até mesmo pela apresentação de algas, plâncton, matéria orgânica e outras substâncias, como o zinco, ferro, manganês e areia, que muitas vezes se resulta de erosões ou vazantes domésticos e industriais. A turbidez tem sua importância no processo de tratamento da água, pois a água com turbidez elevada forma flocos pesados que decantam mais rapidamente que a turbidez baixa. No entanto, tem suas desvantagens sendo que, no processo de desinfecção da água a turbidez alta aliada ao hipoclorito de sódio pode formar uma substância tóxica ao organismo humano. A Portaria estabelece o valor máximo permitido de 5,0 UT (unidade turbidez) em qualquer ponto da rede de distribuição (BRASIL, 2013).

A turbidez de água bruta é um dos principais parâmetros que influencia em inovações tecnológicas nos processos de tratamento. Águas represadas normalmente apresentam turbidez reduzida, sendo influenciada pela sedimentação das partículas em suspensão (BRASIL, 2013).

Na água filtrada, a turbidez tem como função de indicador sanitário e não somente de aparência. A retirada de turbidez por meio da filtração indica a remoção de partículas em suspensão, incluindo cistos e oocistos de protozoários. Os critérios reconhecidos internacionalmente como indicadores da remoção de protozoários é (USEPA, 2001 *apud* BRASIL, 2013).

A turbidez da água pré-desinfecção, precedida ou não de filtração, é considerado também um parâmetro de controle de eficiência da desinfecção, compreende-se de que partículas em suspensão podem abrigar os micro-organismos da ação do desinfetante (OMS, 1995 *apud* BRASIL, 2013).

Diante do exposto, entende-se que o padrão de turbidez da água pós-filtração é um componente do padrão microbiológico de potabilidade da água (Quadro 2).

Quadro 2 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção, Portaria MS nº 2.914/2011.

TRATAMENTO DA ÁGUA	VALOR MÁXIMO PERMITIDO
Desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 UT ² em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 ³ UT ² em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 ³ UT ² em 95% das amostras

2 Unidade de turbidez

3 Este valor deve atender de acordo como especificado no § 2º do art. 30, (Portaria MS nº 2.914/2011).

3.2 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DE QUALIDADE

Conforme MONTGOMERY (2004), as cartas de controle estatístico são as principais ferramentas do CEP, que visa à estabilidade do processo em função da redução da variabilidade e consequente aumento da capacidade da produção.

A carta de controle é simplesmente um gráfico de acompanhamento com uma linha superior (LSC) e uma linha inferior (LIC) em cada lado da linha central (LC) do processo, todos estatisticamente determinados (TUBINO, 2013), seguem figura 1 e figura 2.

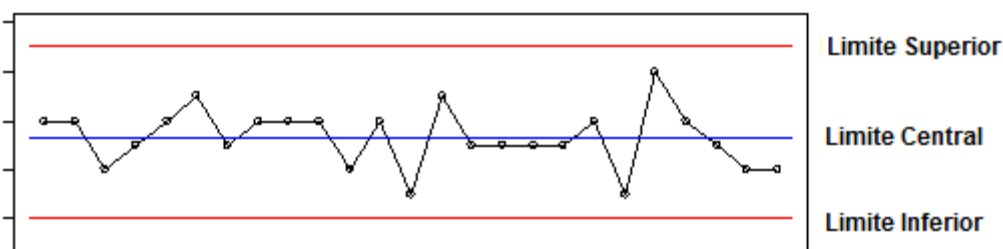


Figura 1: Exemplo de cartas de controle “Sob controle estatístico”.

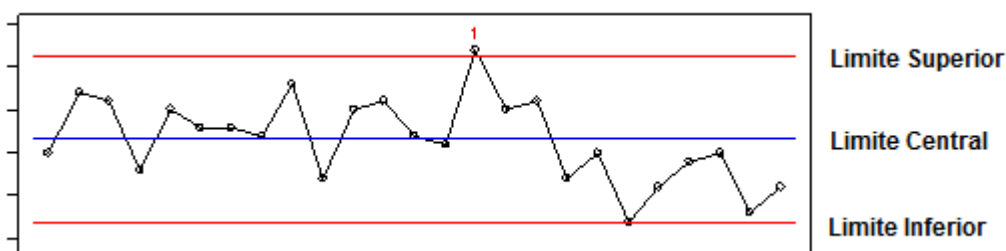


Figura 2: Exemplo de cartas de controle “Fora de controle estatístico”.

Fonte: (Figura 1 e 2) OLIVEIRA, 2013.

Quando todos os pontos amostrais estiverem dispostos dentro dos limites de controle de forma aleatória, considera-se que o processo está “sob controle” (figura 1). No entanto, se um (ou mais) ponto(s) estiver(em) disposto(s) fora dos limites de controle, há evidência de que o processo está

“fora de controle” (figura 2), e que ações corretivas são necessárias para detectar e eliminar o que está causando essa descentralização.

Seja W uma distribuição normal dos resultados das medições com média μ_w e desvio padrão σ_w conhecidos. Então os limites serão dados por meio da Equação 1:

$$\begin{aligned}LSC &= \mu_w + L \sigma_w \\LC &= \mu_w \\LIC &= \mu_w - L \sigma_w\end{aligned}\tag{Equação 1}$$

Onde L é a distância dos limites de controle à linha central, expressa em unidades de desvio padrão, (OLIVEIRA, 2013).

Existem vários tipos de cartas de controle que visam assegurar a qualidade de um processo de produção, que pode ser divididas em cartas de controle por variáveis:

- Cartas \bar{X} e R (média e amplitude);
- Cartas \bar{X} e S (média e desvio padrão);
- Cartas I e MR (valores individuais e amplitude móvel);
- CUSUM (soma cumulativa);

E as cartas de controle para atributos:

- Cartas p (para controlar a proporção de unidades não conformes)
- Cartas np (para controlar o número de unidades não conformes)
- Cartas c (para controlar o número de não conformidades por unidade)
- Cartas u (para controlar a taxa de não conformidades por unidade)

Para a elaboração do presente artigo, foram utilizadas as cartas de controle para variáveis \bar{X} e R (média e amplitude), no qual são empregadas variáveis quantitativas contínuas, sendo necessário controlar/monitorar tanto o valor médio quanto a variabilidade do processo.

Na prática μ e σ não são conhecidos e precisam ser estimados a partir de amostras ou subgrupos preliminares, retirados quando o processo supostamente estava sob controle. Estas estimativas iniciais no planejamento da carta devem ser baseadas em 20 ou 25 amostras, segundo MONTGOMERY (2004). Limites de controle para a carta \bar{X} são:

$$\begin{aligned}LSC &= \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\Linha\ Central &= \mu \\LIC &= \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\end{aligned}\tag{Equação 2}$$

Substituindo $\frac{3}{\sqrt{n}}$ por A na Equação 2, os limites se reduzem à Equação 3:

$$\begin{aligned}
 LIC &= \mu + A\sigma \\
 LC &= \mu \\
 LIC &= \mu - A\sigma
 \end{aligned}
 \tag{Equação 3}$$

onde A são valores tabelados que dependem de N (Anexo A).

Limites de controle para a carta R:

$$\begin{aligned}
 LSC &= d_2\sigma + 3d_3\sigma \\
 LC &= d_2\sigma \\
 LIC &= d_2\sigma - 3d_3\sigma
 \end{aligned}
 \tag{Equação 4}$$

Fatorando a Equação 4 e considerando $d_2\sigma + 3d_3 = D_2$ e $d_2\sigma - 3d_3 = D_1$, os limites de controle se reduzem à equação 5:

$$\begin{aligned}
 LSC &= D_2\sigma \\
 LC &= d_2\sigma \\
 LIC &= D_1\sigma
 \end{aligned}
 \tag{Equação 5}$$

Onde D_1 e D_2 são valores tabelados que dependem de n (Anexo A), (OLIVEIRA, 2013).

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Os dados utilizados foram fornecidos por um laboratório credenciado no município de Cascavel, a qual opera com certificação ISO 9001 para o Sistema de Tratamento de Água e Esgoto; o programa Microsoft Excel 2010 e o Software Estatístico *Statghapics Centurion* e pesquisas de artigos relacionados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 LIMITES DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA

Para cálculo dos índices de capacidade do processo, foram considerados os limites superior e inferior, definidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, conforme os gráficos 1 e 2 na sequência.

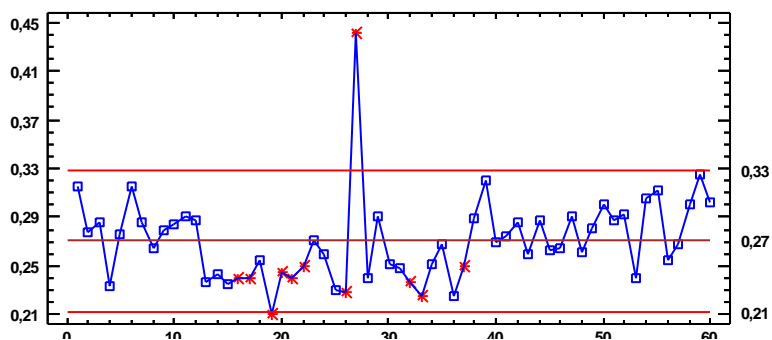


Gráfico 1: Apresenta a média das amostras coletadas no sistema de distribuição de turbidez.

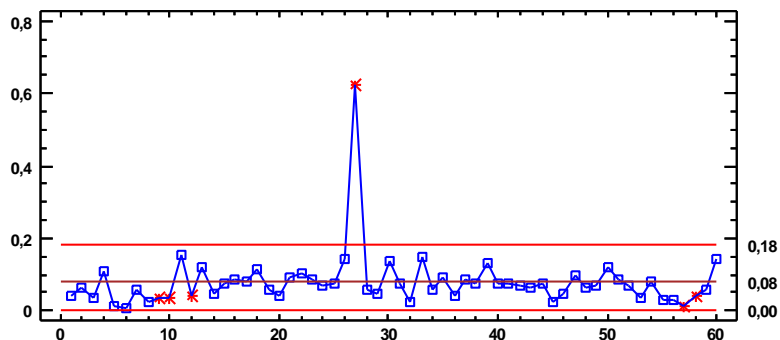


Gráfico 2: Apresenta a amplitude das amostras coletadas no sistema de distribuição de turbidez.

Em resumo, foram analisadas 1200 amostras, totalizando 20 amostras mensais consecutivas em relação à turbidez. O ponto médio da faixa da operação foi 0,08 UT, estatisticamente viável, mas conforme gráfico 1 e 2 o processo esteve descentrado. Como os limites impostos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde tem faixa de operação mais ampla que a apresentada no gráfico 1, a empresa reguladora utiliza estes como referência, uma vez que são limites aceitáveis para a segurança e não apresenta riscos à saúde da população.

4.2 LIMITES DE CONTROLE PARA O PH DA ÁGUA TRATADA

Os valores obtidos para o parâmetro pH através das cartas de controle \bar{X} e R, estão apresentados nos gráficos 3 e 4 respectivamente.

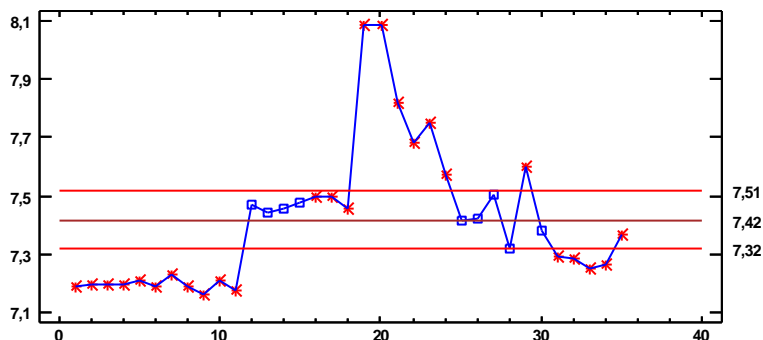


Gráfico 3: Apresenta a média das amostras coletadas no sistema de distribuição de PH.

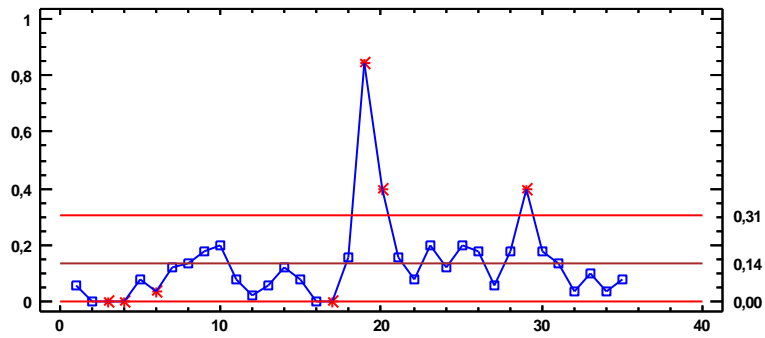


Gráfico 4: Apresenta a amplitude das amostras coletadas no sistema de distribuição de PH.

Foram analisadas 700 amostras, totalizando 20 amostras consecutivas em relação ao pH da água tratada. O ponto médio da faixa de operação é de 7,42. Estatisticamente, de acordo com os gráficos 3 e 4, a aplicação detectou que o pH encontra-se descentralizado, mas em relação aos limites da Portaria ainda está entre a faixa exigida. Ainda foi possível observar a ocorrência de valores consecutivos abaixo da linha central e também acima da linha central, indicando um padrão de comportamento não aleatório em torno da média. Vale salientar que este comportamento se deve a causas especiais de variação (externas), como por exemplo, existentes no processo, porém estas características não trazem riscos à saúde da população ao ser consumida.

4.3 LIMITES DE CONTROLE PARA O CLORO RESIDUAL LIVRE DA ÁGUA TRATADA

Os valores obtidos com amostras, para o parâmetro pH através das cartas de controle \bar{X} e R teste, estão apresentados nos gráficos 5 e 6 respectivamente.

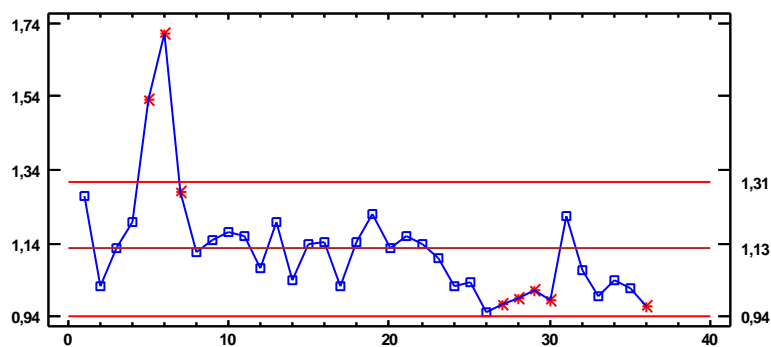


Gráfico 5: Apresenta a média das amostras coletadas no sistema de distribuição de cloro residual livre.

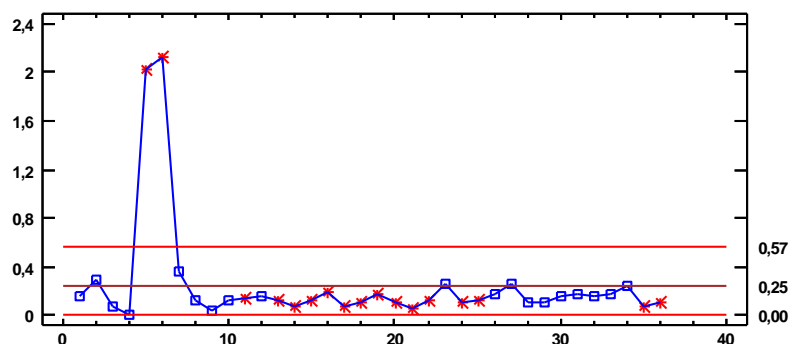


Gráfico 6: Apresenta a amplitude das amostras coletadas no sistema de distribuição de cloro residual livre.

Foram analisadas 720 amostras, totalizando 20 amostras consecutivas em relação ao cloro residual livre da água tratada. Conforme os gráficos 5 e 6 demonstram, o cloro residual livre apresenta o ponto médio de operação de 1,13 mg/L. O processo permaneceu estatisticamente descentralizado no período. Além disso, houve ocorrência de padrões de comportamento abaixo da média apresentados na forma de sequência de valores consecutivos abaixo da linha central, o que indica que houve alguma causa externa afetando o comportamento desta variável. Em todo caso, as medições não extrapolaram os limites de especificação impostos pelo laboratório credenciado, muito menos violam os limites impostos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Portanto, a água potável não apresenta risco à saúde ao ser consumida pela população.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que, apesar dos problemas relativos à periodicidade de coleta e número reduzido de amostras para avaliação de algumas variáveis, os resultados obtidos fornecem um quadro da qualidade da água consumida na área de estudo nos períodos analisados. Os resultados demonstram, além de descentralizações estatísticas, diversos padrões de comportamento não aleatórios em torno da média, oriundos de mecanismos externos ao processo durante o tratamento da água. É importante salientar que, apesar destes padrões de comportamento, a água tratada no município em estudo, não compromete a qualidade da água potável e descarta qualquer possibilidade de riscos à saúde da população. Isso ocorre porque os parâmetros analisados ainda se encontram na faixa aceitável pela Portaria 2.914/2011, tanto para o parâmetro de cloro residual livre assim como para os parâmetros pH e turbidez.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, *et al.* **Controle Estatístico do Processo (CEP)**. Itu – SP, 2011.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 622p.

BONDUELLE, Ghislaine. **Ferramentas de Controle.** Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/portal12/downloads/ghislaine/cep.pdf> Acesso em 15 novembro 2015.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água** / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2013

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212p. – (Série B.Textos Básicos de Saúde).

BRASIL. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011.** Ministério da Saúde, p. 38D Disponível em: http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/kit_arsesp_portaria2914.pdf acesso em 10 Novembro 2014

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Qualidade da água.** Disponível em: <http://www.sabesp.com.br/Calandraweb/CalandraRedirect/?Proj=sabesp&Pub=T&Temp=0>. Acesso em: 15 novembro 2015.

DEMING, W. E. **Qualidade a revolução da administração.** Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990

FRAZAO, P.; PERES, M. A. e CURY, J. A. **Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto.** *Rev. Saúde Pública* [online]. 2011, vol.45, n.5, pp. 964-973. Epub 22-Jul-2011. ISSN 0034-8910. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102011005000046>.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **3º Caderno de pesquisa de engenharia de saúde pública** – Brasília: Funasa, 2013

HARDOIM, E. L.; *et al* . **Indicadores biológicos de qualidade da água (coliformes totais, *Escherichia coli* e *Cryptosporidium*) e impacto das doenças de veiculação hídrica: Estudo de caso** – Parque Cuiabá, Cuiabá/MT.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística,** disponível em:< <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=411560&search=||infogr%Elficos:-informa%E7%F5es-completas>> acesso em : 25 set 2015.

OLIVEIRA, C. C. *et al*. **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio.** 1ª edição. São Paulo – SES/SP, 2013.

PINTO, T. J. A.; KANEKO, T. M.; PINTO, A. F. **Controle Biológico de Qualidade de Produtos Farmacêuticos, Correlatos e Cosméticos.** 3º edição. São Paulo: Atheneu Editora, 2010.

REBOUCAS, A. C. Panorama da água doce no Brasil. In: REBOUCAS, Aldo da Cunha (Org.). **Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil.** São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. p. 59-107.

RIBEIRO, J. L. D; CATEN, C. S. T. **Controle Estatístico de Processo.** Porto Alegre - RS, 2012.

ROSA, J.I.L.; SILVA, L.L.L.; BARBOSA, D.B.M. **A importância das Cartas de Controle Estatístico na Revisão Periódica de Produtos.** Goiás, 2013.

SILVA LSCV. **Aplicação do controle estatístico de processos na indústria de laticínios Lacatoplasa: um estudo de caso.** [Dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 1999.

SOUZA, J. A. R. de *et al*. **Análise das condições de potabilidade das águas de surgências em Ubá, MG.** *Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 2015.

TUBINO, R. **Controle estatístico, manutenção e confiabilidade de processos.** Rio Grande do Sul, 2013.

APÊNDICE

Os resultados a seguir foram obtidos através do Software Stactgraphics

TABELA 1, 2 E 3 APRESENTAM OS NÚMEROS DE TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA

\bar{X} e R

Number of subgroups = 60
Average subgroup size = 6,4
0 subgroups excluded

Distribution: Normal
Transformation: none

Carta \bar{X}

Period	#1-60
UCL: +3,0 sigma	0,32894
Centerline	0,270708
LCL: -3,0 sigma	0,212476

Tabela 1: 2 beyond limits

Carta R

Period	#1-60
UCL: +3,0 sigma	0,182352
Centerline	0,0799333
LCL: -3,0 sigma	0,0

Tabela 2: 1 beyond limits

Estimativa

Period	#1-60
Process mean	0,270708
Process sigma	0,0388214
Average range	0,0799333

Tabela 3: Sigma estimated from average

TABELA 4, 5 E 6 APRESENTAM OS NÚMEROS DE PH DA ÁGUA TRATADA

\bar{X} e R

Number of subgroups = 35
Subgroup size = 4,0
0 subgroups excluded

Distribution: Normal
Transformation: none

Carta \bar{X}

Period	#1-35
UCL: +3,0 sigma	7,5148
Centerline	7,41614
LCL: -3,0 sigma	7,31748

Tabela 4: 22 beyond limits

Carta R

Period	#1-35
UCL: +3,0 sigma	0,308953
Centerline	0,135429
LCL: -3,0 sigma	0,0

Tabela 5: 3 beyond limits

Estimativa

Period	#1-35
Process mean	7,41614
Process sigma	0,065774
Average range	0,135429

Tabela 6: Sigma estimated from average ranger

TABELA 7, 8 E 9 APRESENTAM OS NÚMEROS DE CLORO RESIDUAL LIVRE DA ÁGUA TRATADA

\bar{X} e R

Number of subgroups = 36
Subgroup size = 4,0
0 subgroups excluded

Distribution: Normal
Transformation: none

Carta \bar{X}

Period	#1-36
UCL: +3,0 sigma	1,30838
Centerline	1,12625
LCL: -3,0 sigma	0,944123

Tabela 7: 2 beyond limits

Carta R

Period	#1-36
UCL: +3,0 sigma	0,570325
Centerline	0,25
LCL: -3,0 sigma	0,0

Tabela 8: 2 beyond limits

Estimativa

Period	#1-36
Process mean	1,12625
Process sigma	0,121418
Average range	0,25

Tabela 9: Sigma estimated from average ranger

ANEXO A

APÊNDICE VI Fatores para Construção de Gráficos de Controle para Variáveis																
Observações na Amostra, n	Gráfico para Médias			Gráficos para Desvios Padrão						Gráficos para Amplitudes						
	Fatores para Limites de Controle			Fatores para Linha Central		Fatores para Limites de Controle				Fatores para Linha Central		Fatores para Limites de Controle				
	A	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2,121	1,880	2,659	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	1,1284	0	2,568	0	2,276	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,575
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,115
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	1,0510	0,030	1,970	0,029	1,874	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	0,9835	1,0168	0,448	1,552	0,440	1,526	3,532	0,2831	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	0,9845	1,0157	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,2787	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	0,9854	1,0148	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,2747	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,9862	1,0140	0,497	1,503	0,490	1,483	3,689	0,2711	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	1,0133	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,2677	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	0,9876	1,0126	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,2647	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	0,9882	1,0119	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,2618	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	0,9887	1,0114	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,2592	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	0,9892	1,0109	0,555	1,445	0,549	1,429	3,895	0,2567	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	0,9896	1,0105	0,565	1,435	0,559	1,420	3,931	0,2544	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

Para $n > 25$.

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 \approx \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$