

I-123 - ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB) PELA ANÁLISE DE RISCO

Bárbara Gitana Alves Vieira⁽¹⁾

Engenheira sanitarista e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande

Igor Souza Ogata⁽²⁾

Engenheiro sanitarista e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestrando em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

Celeide Maria Belmont Sabino Meira⁽³⁾

Arquiteta e engenheira civil pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em engenharia civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutora em recursos naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora doutora da Universidade Estadual da Paraíba.

Mônica de Amorim Coura⁽⁴⁾

Licenciatura plena em química pela Fundação Universidade Regional do Nordeste. Mestre em engenharia civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutora em recursos naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora doutora da Universidade Federal de Campina Grande.

Rui de Oliveira⁽⁵⁾

Engenheiro civil pela Escola de Engenharia do Maranhão. Mestre em engenharia civil pela Universidade Federal da Paraíba. PhD em engenharia civil pela Universidade de Leeds. Professor doutor da Universidade Estadual da Paraíba.

Endereço⁽¹⁾: Rua João Tavares, 331 - Centro – Campina Grande - Paraíba - CEP: 58400-248 - Brasil - Tel: +55 (83) 8837-7421 - e-mail: **barbaragitana29@yahoo.com.br**.

RESUMO

Para evitar os efeitos nocivos da contaminação à saúde humana é necessária a vigilância e o controle da qualidade da água com vista à demonstração da sua conformidade com a Portaria 2914/11 do MS. O objetivo deste trabalho foi avaliar a degradação da qualidade da água em um sistema de abastecimento de porte médio, utilizando um tipo de análise de risco. Nos sete meses de análise foram averiguados a qualidade da água dos oito pontos de amostragem localizados a partir da Estação de Tratamento de Água e os outros no sistema de adução e distribuição de água de CG – PB, sendo feitas as análises físico-químicas *in loco* e a bacteriológica no laboratório de Análise de Água da Universidade Federal de Campina Grande. Foi aplicada a metodologia FMEA para as bactérias heterotróficas e para os indicadores sentinelas (cloro residual livre (CRL) e turbidez). Os pontos do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R5) foram categorizados como de risco moderado, com exceção do AD800 que apresentou baixo risco. Os pontos Bloco 2 (P6, P8 e P12) foram categorizados de risco moderado. Após a classificação do risco, foi feito a construção dos mapas de risco referentes à qualidade da água de acordo com os pontos de amostragem. Portanto, em relação ao levantamento dos dados revelaram que nos pontos estudados todas as variáveis apresentaram não conformidade. Foi observada uma relação inversa entre CRL e a contagem de BHF em todos os pontos amostrados, com exceção do ponto P8. A metodologia FMEA foi eficiente para a categorização de riscos em todos os pontos monitorados.

PALAVRAS-CHAVE: Degradação da qualidade da água, Sistema de abastecimento de água, Análise de risco, FMEA, Mapa de Risco, Sistema adutor.

INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos indispensáveis à vida, sendo uma das principais substâncias ingeridas pelo ser humano. Devido a este fato, é necessário que haja a conservação e proteção dos recursos hídricos, para garantir a disponibilidade adequada, quantitativamente e qualitativamente.

Com a finalidade de garantir a potabilidade da água consumida pela população durante todo o percurso do sistema de abastecimento de água (SAA), segundo a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (MS) foi criado o plano de segurança de água (PSA). O PSA objetiva a garantia da qualidade da água destinada para o

consumo humano empregando manobras em todo o sistema de abastecimento (SOUZA, 2008), dentre outras ações temos o controle e a vigilância da qualidade da água.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde o controle da qualidade da água para consumo humano é visto como o conjunto de atividades, exercidas de forma contínua pelos responsáveis pela operação do sistema de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição; já a vigilância da qualidade da água é o conjunto de ações exercidas pela autoridade de saúde pública para constatar se a água que a população está consumindo obedece à norma e avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água trazem para a saúde humana (BRASIL, 2006).

Uma das atividades que podem ser exercidas no controle e na vigilância da qualidade da água é a análise de risco. A análise de risco abrange três etapas: avaliação do risco, gerenciamento de risco e comunicação do risco (BASTOS, BEVILACQUA E MIERZWA, 2009; CARMO, BEVILACQUA E BASTOS, 2008), sendo esse trabalho limitado a avaliação de risco pelo fato de que no gerenciamento de risco e na comunicação de risco, necessita de uma intervenção direta no SAA pela concessionária responsável.

Uma metodologia muito interessante de avaliação de risco, devido à simplicidade e flexibilidade, é a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) (STAMATIS, 2003), que é baseada nos modos e nos efeitos de falhas potenciais. Segundo Toledo e Amaral (2006) in Ogata (2011) para a utilização do FMEA é necessário uma pequena equipe multidisciplinar composta por especialistas em diferentes áreas do conhecimento, para discutir os perigos de um determinado processo e preencher um formulário contendo os efeitos, as causas, as medidas mitigadoras e a quantificação desse perigo. A quantificação é feita através de quatro critérios, a severidade (que indica o quão problemático pode ser o perigo caso ele ocorra), a ocorrência (é a frequência de acontecimento desse perigo no processo atual), a detecção (é a probabilidade de perceber o perigo preventivamente) e a abrangência (o quanto o perigo se difunde em função da área), finalmente os critérios são multiplicados gerando um resultado que caracteriza o risco total do processo avaliado.

Este trabalho expõe os resultados de uma avaliação de risco da qualidade da água do SAA da cidade de Campina Grande. Foram selecionados pontos de amostragem localizados da ETA até o sistema de distribuição de água, sendo suas águas analisadas para a determinação dos indicadores bactérias heterotróficas (BHF), cloro residual livre (CRL) e turbidez com a finalidade de verificar o efeito da degradação da qualidade da água de abastecimento.

METODOLOGIA

O SAA de Campina Grande abastece a própria cidade e a região circunvizinha, somando uma população em torno de 400.000 habitantes. O Açude Epitácio Pessoa é o manancial do SAA distando 44 km de Campina Grande. A água bruta é transportada por duas adutoras, uma de 800 mm e outra de 900 mm, até a estação de tratamento de água (ETA) de Gravatá que realiza o tratamento convencional para potabilização. Da ETA Gravatá até a rede de distribuição a água tratada é aduzida por três tubulações de 500, 700 e 800 mm que culminam nos dois principais reservatórios o R-5 e o R-9. A rede de distribuição é dividida em quatro zonas de pressão (A, B, C, D) sendo as zonas A e D abastecidas pelo R-9 e as zonas B e C pelo R-5 (MENESES, 2011). Durante o período de março a novembro de 2011 foram amostrados oito pontos (Tabela 1) considerados estratégicos em conformidade com a “Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2006).

Estudando as características dos pontos e o comportamento dos indicadores foi concluído que os mesmos formavam dois blocos distintos: um bloco dos pontos referentes a pontos da adução e reservação e o outro correspondente à distribuição. Desta forma o Bloco 1 foi formado pelos pontos P0, AD500, AD700, AD800 e R5 e o Bloco 2 foi constituído pelos pontos P6, P8 e P12.

As metodologias analíticas utilizadas na pesquisa seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WPCF, 2012). Todas as análises foram realizadas em triplicatas. As análises de BHF foram realizadas em laboratório e as análises de CRL e turbidez foram realizadas *in loco*.

Tabela 1: Pontos de coleta, localização, reservatório de distribuição, área de abrangência e coordenadas geográficas.

PONTOS DE COLETA	LOCALIZAÇÃO(Bairro e/ou cidade)	RESERVATÓRIO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	ÁREA DE ABRANGÊNCIA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
P0 Saída da ETA	Gravatá/ Queimadas	R-0	Gravatá, Queimadas e Caturité.	07°23.074' Sul e 35°58.410' Oeste
AD500 Adutora de 500 mm	Santa Rosa/ Campina Grande	R-9	Santa Rosa, Quarenta, Cruzeiro, Santa Cruz, Dinamérica, Centenário e Bodocongó.	07°14.061' Sul e 35°54.108' Oeste
AD700 Adutora de 700 mm	Santa Rosa/ Campina Grande	R-9	Santa Rosa, Quarenta, Cruzeiro, Santa Cruz, Dinamérica, Centenário e Bodocongó.	07°14.065' Sul e 35°54.106' Oeste
AD800 Adutora de 800mm	Santa Rosa/ Campina Grande	R-9	Santa Rosa, Quarenta, Cruzeiro, Santa Cruz, Dinamérica, Centenário e Bodocongó.	07°14.065' Sul e 35°54.049' Oeste
R-5	Prata/Campina Grande	R-5	Prata, Bela Vista, Monte Santo e Centro.	07°13.399' Sul e 35°53.917' Oeste
P6 E.E.E.F.M. Solon de Lucena	Centro/ Campina Grande	R-5	Centro, Alto Branco, Santo Antônio e Jardim Tavares.	07°12.557' Sul e 35°52.558' Oeste
P8 E.E.E.F.M. Clementino Procópio	São José/ Campina Grande	R-2	São José e Estação Velha.	07°13.303' Sul e 35°53.262' Oeste
P12- Escola Municipal Melo Leitão	Santa Rosa/ Campina Grande	R-9	Santa Rosa, Quarenta, Cruzeiro, Santa Cruz, Dinamérica, Centenário e Bodocongó.	07°13.991' Sul e 35°53.998' Oeste

E.E.E.F.M. = Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio.

Os dados coletados foram traduzidos em medida de tendência central (mediana), para serem classificados em valores de 0 a 5, segundo o padrão de potabilidade de água, com a finalidade de torná-los valores adimensionais e poder dividir, posteriormente, o risco total em cinco classificações de risco: desprezível, baixo, moderado, alto e crítico.

AVALIAÇÃO DE RISCO (MÉTODO FMEA)

As falhas em potencial foram consideradas de acordo com os indicadores estudados em cada ponto de amostragem, considerando também os padrões exigidos na Portaria 518/04 do MS. Desta forma, os perigos para este trabalho foram: baixa concentração de CRL, alta concentração de CRL, alta turbidez e alta concentração de bactérias heterotróficas.

Na elaboração do formulário FMEA, além dos perigos, foram incluídos o tipo de perigo, o efeito, a causa, as medidas mitigadoras e os escores de quantificação do risco. É importante salientar que todos os escores de quantificação (severidade (S), ocorrência (O), detecção (D) e abrangência (A)) variam de 1 a 3 e o produto entre eles resulta no resultado ou risco total (R).

Uma tabela de escore foi construída, para o Bloco 1 e o Bloco 2, com a finalidade de nortear o preenchimento do formulário FMEA.

A reunião FMEA foi marcada após todas as análises em campo serem realizadas, para ter o melhor conhecimento possível do sistema estudado. Houve o preenchimento do formulário a partir dos valores pré-determinados pela tabela de escore (adaptação do trabalho de Zambrano e Martins (2007)), sendo debatido cada aspecto de cada perigo com muito cuidado e atenção aos dados coletados, as causas, os efeitos e a mitigação destes, até que um consenso fosse encontrado.

Um método de soma ponderada foi utilizado para apresentar a importância percentual de cada risco no risco total do Bloco 1 e do Bloco 2.

O cálculo do risco em cada ponto de amostragem foi dado pela multiplicação entre a importância percentual de cada risco pela classificação do indicador correspondente a este risco, depois foi somado os produtos para CRL, turbidez e BHF.

Os mapas de risco para os indicadores analisados foram elaborados no ARC GIS, usando o perímetro municipal de Campina Grande e de Queimadas para a locação dos pontos, demonstrando suas localizações nas imagens de satélite obtidas no Google Earth (15/02/2012), com os respectivos riscos avaliados referentes a qualidade da água dos pontos amostrais.

RESULTADOS

Na Tabela 2 está o formulário FMEA, para o Bloco 1, preenchido. Sendo importante ressaltar que o escore de severidade para alta concentração de BHF e turbidez foi máximo, pelo fato de que a alta concentração desses indicadores na rede adutora pode acarretar problemas à saúde dos consumidores, e o escore de severidade para alto CRL foi considerado mínimo, pois altos valores desse indicador na rede adutora não afeta a saúde da população, pois ninguém é abastecido por essa água e isto é uma manobra para garantir a concentração necessária na rede de distribuição.

Tabela 2: Formulário do FMEA para o Bloco 1 (P0, P500, P700, P800 e R5).

Perigo	Tipo de poluente	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção, manutenção da rede, remoção de matéria orgânica na ETA ou continuidade da distribuição
Alta Turbidez	Real	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração	3	1	2	3	18	Melhorias no processo de remoção de turbidez
Baixa Concentração de CRL	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	1	2	3	18	Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta Concentração de CRL	Real	Intoxicação (diarréia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção	1	3	2	2	12	Utilização de doses ótimas de desinfetante

S = Severidade, O = Ocorrência, D = Detecção, A = Abrangência, R = Risco.

Percebe-se que o risco da alta concentração de BHF é o mais significativo, seguido da alta turbidez, da baixa concentração de CRL e da alta concentração de CRL. Esse resultado mostra a íntima relação entre estes indicadores, relacionados a uma maior probabilidade de presença de microrganismos patogênicos.

Na Figura 1 está a classificação final do risco em cada ponto de amostragem, onde os pontos P0, AD500, AD700 e R5 mostraram-se de risco moderado enquanto que o ponto AD800 foi classificado como de risco baixo. Sendo importante ressaltar que o risco moderado deveu-se principalmente pelos altos valores de CRL registrados nos pontos e o ponto AD800 destacou-se como de risco baixo, pois esta adutora é bem mais nova que as demais.

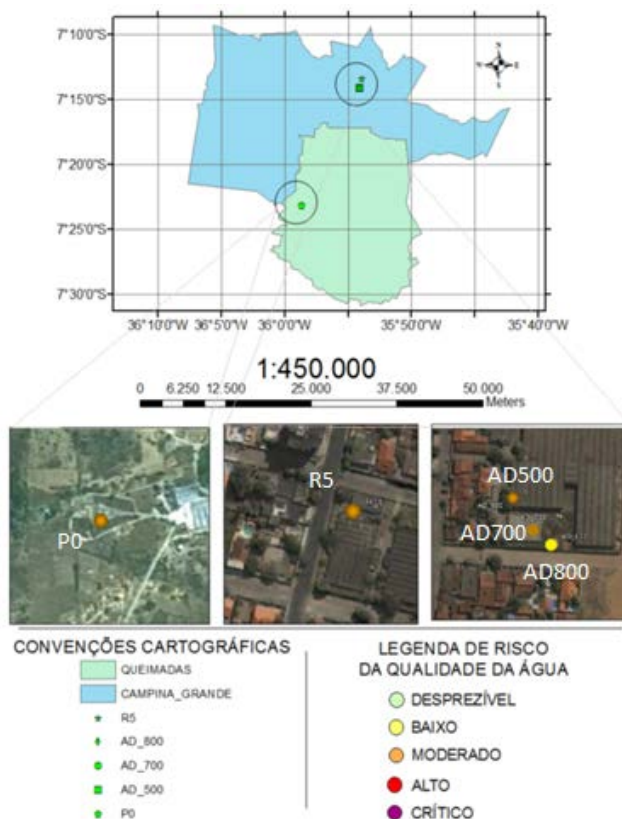


Figura 1: Mapa de risco do Bloco 1

A Tabela 3 mostra o formulário FMEA para o Bloco 2, sendo importante destacar a diferença entre o formulário FMEA no Bloco 1, a maior severidade para o perigo de alta concentração de CRL, pois que nesta parte do SAA pode ocasionar problemas a saúde humana.

Os riscos mais influentes, como na análise do Bloco 1, embora não na mesma ordem, foram alta turbidez, baixa concentração de CRL, alta concentração de BHF e alta concentração de CRL.

Os riscos apresentados no mapa para o Bloco 2 (Figura 2) estiveram todos no nível moderado, denotando nenhuma ou pouca degradação da qualidade da água aduzida para a água distribuída.

Tabela 3: Formulário do FMEA para o Bloco 2 (P6, P8 e P12).

Perigo	Tipo de poluente	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção, manutenção da rede, remoção de matéria orgânica na ETA ou continuidade da distribuição
Alta Turbidez	Real	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração	3	2	2	3	36	Melhorias no processo de remoção de turbidez
Baixa Concentração de CRL	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	2	2	3	36	Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta Concentração de CRL	Real	Intoxicação (diarréia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção	3	1	2	2	12	Utilização de doses ótimas de desinfetante

S = Severidade; O = Ocorrência; D = Detecção; A = Abrangência; R = Risco.

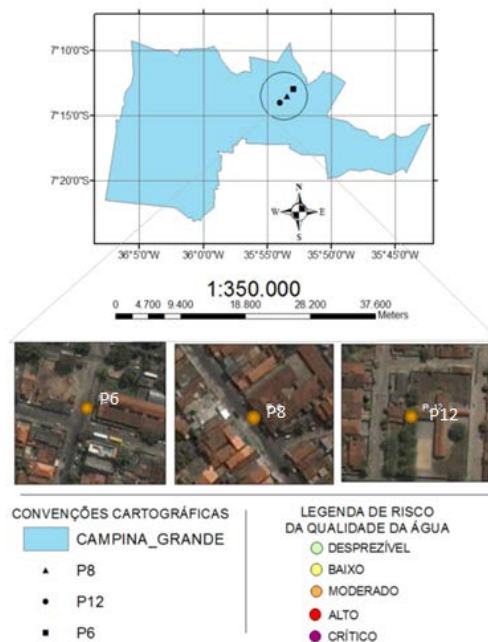


Figura 2: Mapa de risco do Bloco 2.

Considerando o caráter prioritário dos indicadores sentinelas a análise dos pontos amostrados demonstrou a associação de risco moderado ao consumo da água do sistema de abastecimento de Campina Grande, sendo cabíveis medidas de caráter operacional e de manutenção para melhoria dessa categorização. Aparentemente, o controle da operação de desinfecção pode e deve ser encarados como urgente em associação com medidas eficazes de manutenção das partes do sistema.

CONCLUSÃO

A metodologia FMEA foi eficiente para a categorização de riscos em todos os pontos monitorados. Todos os pontos monitorados apresentaram risco moderado, com exceção de AD800 que apresentou risco baixo, o que é uma interpretação bem realista sobre a qualidade da água do SAA de Campina Grande.

O SAA deve ser capaz de prover um processo de gestão mais eficaz da qualidade da água a partir da elaboração de um plano de segurança contendo medidas de operação, manutenção e inovação tecnológica visando a minimização dos riscos à população abastecida.

O ponto P8 requer atenção especial em função da categoria do risco apresentado. É recomendável ao responsável pelo SAA verificar a viabilidade da implantação de medidas corretivas que podem compreender, até mesmo, a substituição de canalizações antigas por tubos novos e de materiais que impliquem num menor risco de degradação da qualidade da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 1999. 1220p.
2. BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; MIERZWA, J. C. Análise de Risco Aplicada ao Abastecimento de Água para Consumo Humano. In: PÁDUA, V. L. de. Remoção de Microorganismos Emergentes e Microcontaminantes Orgânicos no Tratamento de Água para Consumo Humano. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 328-362.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 518, de 25 de Março de 2004. Normas e padrão da potabilidade da água destinada ao consumo humano. Brasília (DF); 2004.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 211p.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 2.914, 12 de Dezembro de 2012. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2011. 32 p.
6. CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 326-434, out./dez. 2008.
7. MENESES, R. A. Diagnóstico Operacional de Sistemas de Abastecimento de Água: O caso de Campina Grande. Campina Grande – PB: UFCG, 2011. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2011.
8. OGATA, I. S. Avaliação de Risco da Qualidade da Água Potável do Sistema de Abastecimento da Cidade de Campina Grande (PB). Campina Grande – PB: UEPB, 2011. 67 p. Monografia (Trabalho Acadêmico Orientado em Engenharia Sanitária e Ambiental). 2011.
9. SOUSA, R. M. G. L. Princípios e Métodos Utilizados em Segurança da Água para Consumo Humano. São Paulo, 2008. 54p.
10. STAMATIS, D. H. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. 2 ed. Milwaukee, American Society for Quality, 2003. 459 p.
11. TOLEDO, J. C. de; AMARAL, D. C. FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha. São Carlos: UFSCar. 2006.
12. ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. São Carlos: Gestão e Produção. v. 14, n. 12, 2007.