

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

Árvore de falhas como método de identificação de processos associados ao desenvolvimento da eutrofização em reservatórios

*Sofia Midauar Gondim Rocha*¹; *Luísa Ciríaco Silva de Oliveira*²; *Samiria Maria de Oliveira*³ & *Iran Eduardo Lima Neto*⁴

RESUMO – A segurança hídrica está associada tanto à qualidade da água disponível quanto à quantidade, e, em regiões assoladas periodicamente por crises hídricas, como é o caso do semiárido brasileiro, o conhecimento dos processos envolvidos e seus desdobramentos se torna essencial. Nesse contexto surge a eutrofização, que é o desequilíbrio do meio aquático pela ação antrópica, causada pela junção de diferentes processos que envolvem tanto a localização e a forma de um reservatório quanto o aumento da concentração de nutrientes em suas águas. Posto isso, o objetivo do presente estudo foi desenvolver uma árvore de falhas para o problema da eutrofização, de forma a discutir e sistematizar os eventos envolvidos na degradação da qualidade da água. Foi mostrada a complexidade do sistema e discutidos os processos nele envolvidos. Junto a isso, sistematizou-se organizadamente as origens do problema, com a construção de uma árvore de falhas que apontou o encadeamento dos processos que influenciam a eutrofização. Conclui-se que a árvore desenvolvida pode vir a ser utilizada como ferramenta de gestão dos recursos hídricos.

ABSTRACT– Water security is associated to both water quality and availability, and on regions that are periodically dealing with scarcity issues, as the Brazilian semi-arid region, is important to correctly know water related processes and its development. In this context emerges eutrophication, an aquatic unbalance related to human interference, which is related to reservoir's location, geometry and increases on nutrients concentrations. The aim of the present study was to develop a fault tree for the eutrophication problem, incorporating discussions and systematizing the events involved on the degradation of water quality. The results showed the complexity of the system and discussed its processes, aside from organizing the issue's origin with the development of a fault tree. It was concluded that the fault tree developed can be used as an auxiliary tool on the water resources management.

Palavras-Chave – Árvore Falhas, Eutrofização

¹) Afiliação: Universidade Federal do Ceará – UFC, Dept. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará - UFC, Campus do Pici, bl. 713, 60.451-970, Fortaleza, Brasil, (85) 991996429, sofiamidauar@gmail.com

²) Afiliação: Universidade Federal do Ceará – UFC, Dept. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará - UFC, Campus do Pici, bl. 713, 60.451-970, Fortaleza, Brasil, luisa.ciriacos@gmail.com

³) Afiliação: Professora Adjunta, Dept. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará - UFC, Campus do Pici, bl. 713, 60.451-970, Fortaleza, Brasil, (85)997666399, samiriamaria@hotmail.com

⁴) Afiliação: Professor Associado, Dept. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará - UFC, Campus do Pici, bl. 713, 60.451-970, Fortaleza, Brasil, 3366-9776, iran@deha.ufc.br

1- Introdução

A segurança hídrica está relacionada à disponibilidade de água em termos quantitativos e qualitativos. Sua importância é evidenciada com a Lei Federal nº 9.433/1997, conhecida como “Lei das Águas”, na qual está definido que a água é um recurso que deve ser assegurado à atual e às futuras gerações, em padrões de qualidade adequados.

Em locais como o Ceará, onde o abastecimento é realizado por reservatórios plurianuais, é imprescindível monitorar a qualidade da água, sabendo-se que uma má qualidade aumenta os custos de tratamento e impossibilita a utilização dos recursos para fins de abastecimento. Nessa conjuntura, para se ter uma correta e efetiva gestão, é essencial o conhecimento da dinâmica da qualidade da água dos corpos hídricos (CALMON *et al.*, 2016; PACHECO *et al.*, 2016; TONÉ *et al.*, 2017). Em períodos de seca os reservatórios registram um notório aumento em seu nível de estado trófico (ROCHA JUNIOR, 2018; BRAGA *et al.*, 2015), como pode ser observado no histórico de qualidade de água da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), para o período de estiagem ocorrido entre 2012 e 2019 no Ceará.

Nesse cenário surge a eutrofização, um processo natural de degradação da qualidade de água em reservatórios catalisado pela ação antrópica (ver VAN VLIET; ZWOLSMAN, 2008; WIEGAND *et al.*, 2016). Diversos estudos avaliam diferentes abordagens para definir os parâmetros-chave no desenvolvimento da eutrofização, sejam eles hidrometeorológicos (e.g. temperatura, velocidade dos ventos) ou associados às condições físicas do corpo hídrico. (NASSELLI-FLORES, 2003; PACHECO *et al.*, 2016; RIBEIRO FILHO *et al.*, 2011; ROCHA, 2019; ROCHA *et al.*, 2019; ROCHA; LIMA NETO, 2018; SONG *et al.*, 2018).

Para levantar as causas de um processo podem ser aplicados métodos indutivos e dedutivos (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981). No caso de métodos dedutivos, as análises podem ser realizadas a partir do sucesso ou a partir do fracasso. Tendo em vista que geralmente é mais fácil se conseguir consenso sobre o que é fracasso em contrapartida ao que é sucesso, a análise baseada no fracasso se torna mais assertiva. Com isso surge a árvore de falhas, definida como uma análise dedutiva de falhas (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981), a qual foca em um evento indesejado particular e fornece um método para determinar as causas desse evento.

Assim, o objetivo do presente estudo é propor a identificação dos eventos que desencadeiam o processo de eutrofização em reservatórios aplicando o método de árvore de falhas, de forma a elencar os principais causadores do evento topo – a eutrofização. Por esse ser um modelo essencialmente qualitativo, ainda que possa ser quantificado, espera-se uma boa adequabilidade com a avaliação da degradação qualitativa de corpos hídricos lênticos. Além disso, os processos envolvidos com a degradação da qualidade da água são discutidos a partir de estudos prévios.

2 – Materiais e Métodos

Para a estruturação da árvore de falhas do sistema foram seguidas as diretrizes presentes em U.S. Nuclear Regulatory Commission (1981). Ressalta-se que, ao ser construída uma árvore de falhas, preocupa-se apenas com a ocorrência de um evento de falha, e é então considerado que todos os sistemas são não-reparáveis, ou seja, a possibilidade de recuperação do sistema avaliado não é considerada. Assim, segundo U.S. Nuclear Regulatory Commission (1981), a árvore avalia apenas as falhas mais confiáveis do sistema, e não o conjunto de todas suas possíveis falhas.

O primeiro passo a ser seguido é a definição do sistema a ser analisado, para então ser definido seu evento-topo, ou falha, a ser desenvolvido. Nesse contexto, o sistema escolhido são os corpos hídricos, reservatórios ou lagos, sujeitos à ocorrência da má qualidade da água. A eutrofização, falha natural que geralmente é catalisada pela interferência humana nos processos, e que resulta na degradação da qualidade da água, foi definida como o evento-topo da árvore a ser desenvolvida.

Em seguida, a partir de estudos prévios, elenca-se possíveis causas do evento topo, assim como seus desdobramentos, com a definição da simbologia dos eventos simultânea a suas alocações. A Figura 1 apresenta o método, presente em U.S. Nuclear Regulatory Commission (1981), utilizado para definir as simbologias dos eventos.

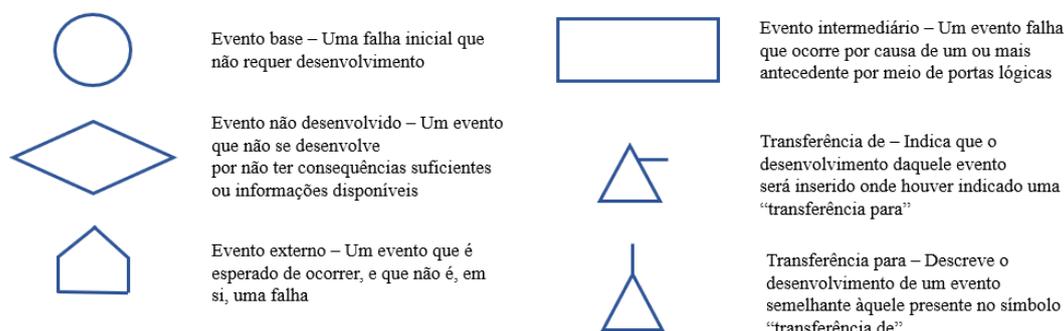


Figura 1 – Descrição dos símbolos utilizados. Fonte: adaptado de U.S. Nuclear Regulatory Commission (1981)

Por fim, são determinadas as portas lógicas do sistema, para então ser realizada uma avaliação geral dos resultados. A porta OU é usada para mostrar que o evento de saída ocorre apenas se um ou mais dos eventos de entrada ocorrer, enquanto a porta E é usada para mostrar que a falha de saída ocorre apenas se todas as falhas de entrada ocorrerem (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981). Ressalta-se que, tendo em vista ser um processo natural e com inúmeras variáveis difíceis de serem quantificadas, a árvore de falhas apresentada aborda os principais eventos envolvidos na análise, que notadamente possuem forte relação com a eutrofização.

3 – Resultados e Discussões

A eutrofização, evento indesejado do sistema em estudo, é influenciada por diversos parâmetros ambientais (ver BRAGA *et al.*, 2015; NASSELLI-FLORES, 2003; ROCHA JUNIOR *et al.*, 2018; WIEGAND *et al.*, 2016). Esses parâmetros possuem uma relação causal com o desenvolvimento

acelerado da eutrofização, tendo em vista que um conjunto de fatores favoráveis ao evento indesejado precisam ocorrer para seu pleno desenvolvimento. Posto isso, assumiu-se uma porta E para esta fase da árvore de falhas, conforme apresentado na Figura 2.

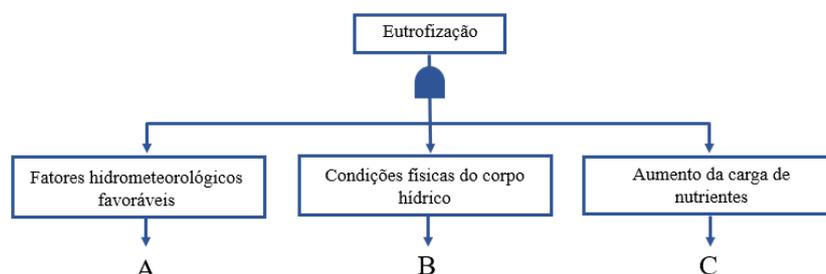


Figura 2 – Desdobramento inicial do evento topo

Conforme classificação proposta em U.S. Nuclear Regulatory Commission (1981), tem-se os fatores hidrometeorológicos e o aumento de carga de nutrientes como componentes ativos do sistema, visto que modificam seu comportamento, enquanto as condições físicas são um componente passivo, pois contribuem de maneira assumida como estática para o problema. Diz-se assumida estática por possuir uma mudança de longo prazo, já que, por exemplo, mudanças na composição do sedimento de um corpo hídrico ocorrem paulatinamente. Conforme discutido por Moura *et al.* (2020), a ressuspensão de nutrientes do sedimento é afetada pela idade do reservatório, fator de mudança também a horizontes de tempo maiores. Posto isso, serão apresentados os demais desdobramentos da árvore de falhas desenvolvida por ramo, de acordo com o indicado na Figura 2.

A Figura 3 mostra o desenvolvimento da árvore para o ramo A do sistema, relacionado a fatores hidrometeorológicos favoráveis ao desenvolvimento da eutrofização. Como pode ser observado, os três desdobramentos do evento estão associados a ele, e não são suas causas determinantes, por isso justifica-se o uso da porta OU. A hidrodinâmica de um corpo hídrico é constituída por diversos parâmetros, e se torna favorável à degradação da qualidade da água quando ocorrem baixas vazões de entrada associadas a altas taxas evaporativas. Essas circunstâncias são causa do evento, e por isto foi escolhida uma porta E. Em regiões como o semiárido brasileiro, em que chuvas são escassas e concentradas em um dado período do ano (VASCONCELOS JÚNIOR, 2014), a evaporação é um fator chave no balanço hídrico dos corpos hídricos lênticos (ver BARROS *et al.*, 2019; ZHAO; GAO, 2019), gerando uma vazão de saída relevante e ocasionando uma alta variação no volume dos reservatórios. Este fator está condicionado à ocorrência conjunta de altas temperaturas, baixas umidades e altas velocidades dos ventos. Por serem fatores associados à meteorologia local, não são propriamente falhas, e por isso optou-se pela simbologia indicada. A evaporação, associada ao aumento no tempo de residência, favorece à eutrofização, tendo em vista que as concentrações de nutrientes aumentam e os baixos gradientes de velocidade da água induzem uma condição hidrodinâmica que contribui para esse processo.

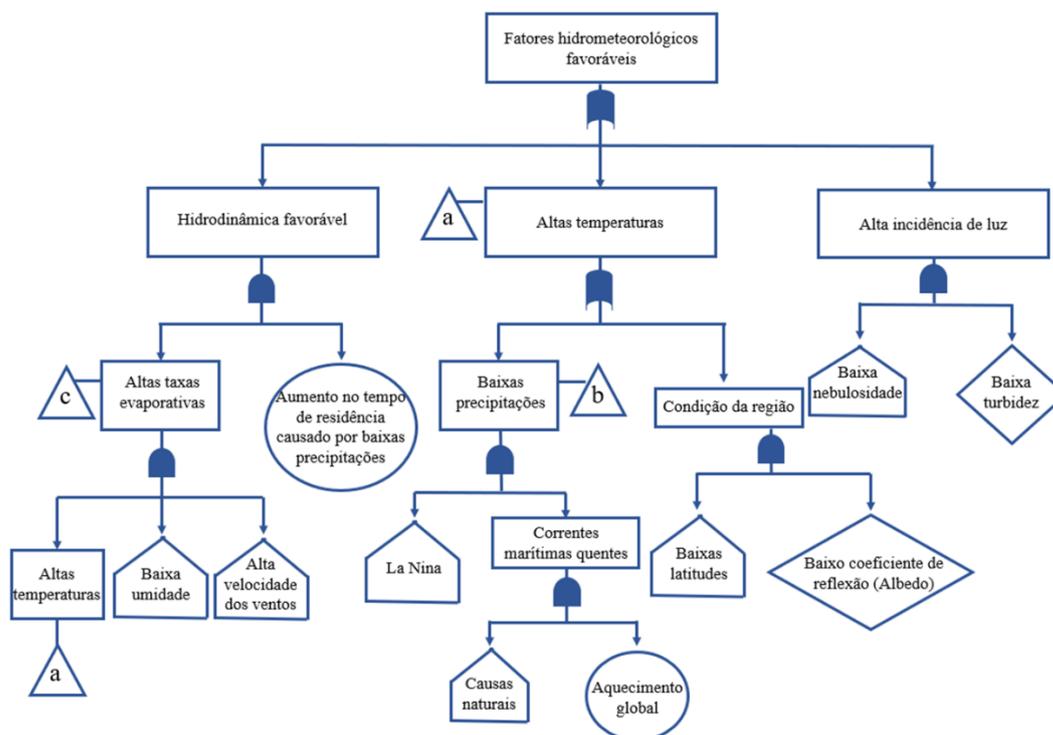


Figura 3 – Desenvolvimento da árvore de falhas para o evento “Fatores hidrometeorológicos favoráveis”

O tempo de residência (TR) é um fator fortemente ligado à qualidade da água do reservatório (JONES; ELLIOT, 2007; VAN VLIET; ZWOLSMAN, 2008; WIEGAND *et al.*, 2016), visto que, quando este aumenta, a renovação da água armazenada diminui, favorecendo o desenvolvimento da eutrofização. Wiegand *et al.* (2016) avaliam dois reservatórios comparativamente, e mostram que corpos hídricos com maiores TR estão mais susceptíveis à eutrofização. Já Rocha (2019) avalia a hidrodinâmica de um reservatório, com resultados indicando maiores tempos de residência associados a menores registros de chuva, o que justifica a organização utilizada nos eventos no presente estudo.

Já quando se avalia as altas temperaturas, sabe-se da sua importância na dinâmica aquática tendo em vista que favorece o desenvolvimento da biota. Essa condição está associada às baixas precipitações, que podem ser causadas tanto pelo evento La Nina como pela temperatura das correntes marítimas, as quais podem estar mais quentes por causas naturais ou dado o aquecimento global. Dado à passagem da relação de causa pelas portas dos eventos descritos, foram atribuídas portas E em ambos os casos. Tanto o evento La Nina quanto o desenvolvimento de correntes marítimas quentes são eventos meteorológicos, e não são necessariamente falhas, enquanto o aquecimento global é, em si, uma falha base que não requer desenvolvimento.

Além disso, as altas temperaturas estão associadas à região analisada, visto que, ao estar em uma localização mais próxima à linha do equador (baixas latitudes), há maior incidência de radiação, evento natural e que não pode ser descrito como uma falha propriamente dita, por isto o uso da simbologia de casa. Nesse contexto, também é uma causa associada à condição regional os menores

coeficientes de reflexão, que indica maior absorção das radiações e conseqüente maior absorção de calor. Este já é um evento atrelado ao uso do solo e às condições atmosféricas, inclusive ao aquecimento global, e dado a dificuldade relacionada à obtenção de informações, optou-se pela simbologia de um losango.

Para finalizar o ramo dos fatores hidrometeorológicos favoráveis, discute-se o evento de alta incidência de luz. É sabido que a luz faz parte do processo de fotossíntese e, portanto, é fator determinante para o crescimento das algas em um reservatório, condição associada ao processo de eutrofização. A alta incidência de luz é causada pela ocorrência de baixas nebulosidades, condicionada pelas condições meteorológicas locais, junto à baixa turbidez do corpo hídrico, visto que, dessa forma, a luz recai efetivamente na água. Baixas nebulosidades é um fenômeno ligado à meteorologia, portanto não pode ser considerado uma falha, enquanto a baixa turbidez possui diversas possíveis causas, com informações pouco precisas, o que justifica a simbologia adotada.

Posto isso, a Figura 4 apresenta o desenvolvimento da árvore para o ramo B do sistema, relacionado às condições físicas do reservatório avaliado.

As condições físicas de um corpo hídrico são um conjunto de fatores que, juntos, influem fortemente no processo de eutrofização. O primeiro deles são as características do reservatório, que estão associadas ao evento topo. Quanto à profundidade, lagos rasos tendem a apresentar maiores problemas relacionados à qualidade da água do que lagos profundos (NASSELLI-FLORES, 2003). Além disso, a forma do reservatório (alongado, arredondado, etc.) também está relacionada ao desenvolvimento da má qualidade hídrica, assim como a quantidade de afluências ao reservatório, associadas à qualidade de água aportada, e a relação dessa entrada com o volume do lago.

Outro fator determinante nesse contexto é a redução no volume armazenado. Rocha Junior (2018) testa a hipótese que a redução de volume de reservatórios ocasionada por secas prolongadas afeta o estado trófico de reservatórios do semiárido, e conclui que a redução do volume potencializa a vulnerabilidade à eutrofização dos reservatórios analisados.

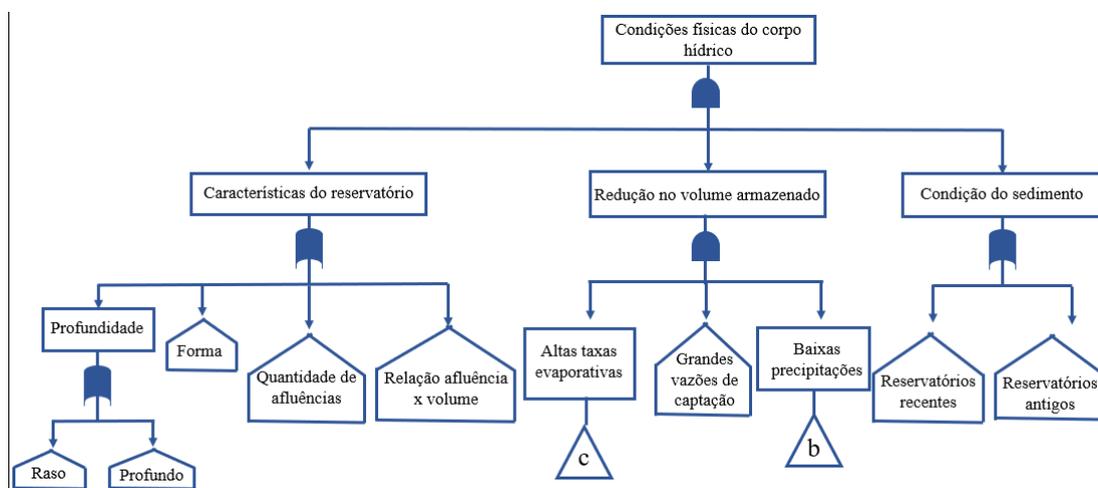


Figura 4 – Desenvolvimento da árvore de falhas para o evento “Condições físicas do reservatório”

Também nesse cenário, Braga *et al.* (2015) identificam padrões de qualidade de água associados a períodos de estiagem, concluindo que a redução do volume contribui para a degradação da qualidade da água. Tais estudos evidenciam a influência do processo discutido no crescimento exacerbado de algas em um corpo hídrico, assim como discutem que a ocorrência conjunta de eventos acarreta essa redução volumétrica, como altas taxas evaporativas, baixas precipitações prolongadas e captações de vazões inadequadas. Dada a natureza do processo de outorgas de alocação de água, adotou-se uma simbologia indicativa de que grandes vazões de captação não são uma falha.

Posto isso, outro fator de grande importância na dinâmica da qualidade da água de um reservatório é a condição do sedimento. Nessa conjuntura, Moura *et al.* (2020) discutem exatamente a influência da composição do sedimento, influenciada pela idade do reservatório, na ressuspensão de nutrientes, e mostram que sedimentos em reservatórios recentes não possuem potencial de impacto na qualidade da água, em contrapartida àqueles mais antigos, os quais possuem sedimentos em condições favoráveis à liberação de fósforo para a coluna de água em condições anóxicas, o que aumenta a chance de ocorrerem desequilíbrios no corpo hídrico. A partir disso, sabendo-se que não há condição causal dos eventos secundários no principal, foi adotada uma porta OU. A simbologia foi adotada tendo em vista que a idade de um reservatório não pode ser atribuída como uma falha propriamente dita, ela é simplesmente uma condição do sistema.

Nesse contexto, prossegue-se para o último ramo da árvore de falhas em análise, apresentado na Figura 5 e relacionado ao aumento na concentração de nutrientes no corpo hídrico. O evento do aumento na concentração de nutrientes é um processo amplamente estudado e discutido como um fator chave e determinante no desenvolvimento da eutrofização em reservatórios (ROCHA *et al.*, 2019; TANG *et al.*, 2019; WIEGAND *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2017). Os principais nutrientes associados ao processo de eutrofização são o nitrogênio (N) e o fósforo (P). Sua dinâmica é determinante nos corpos hídricos, e é imprescindível ressaltar que a relação N:P é determinante para indicar o nutriente limitante no reservatório (ver WIEGAND *et al.*, 2016).

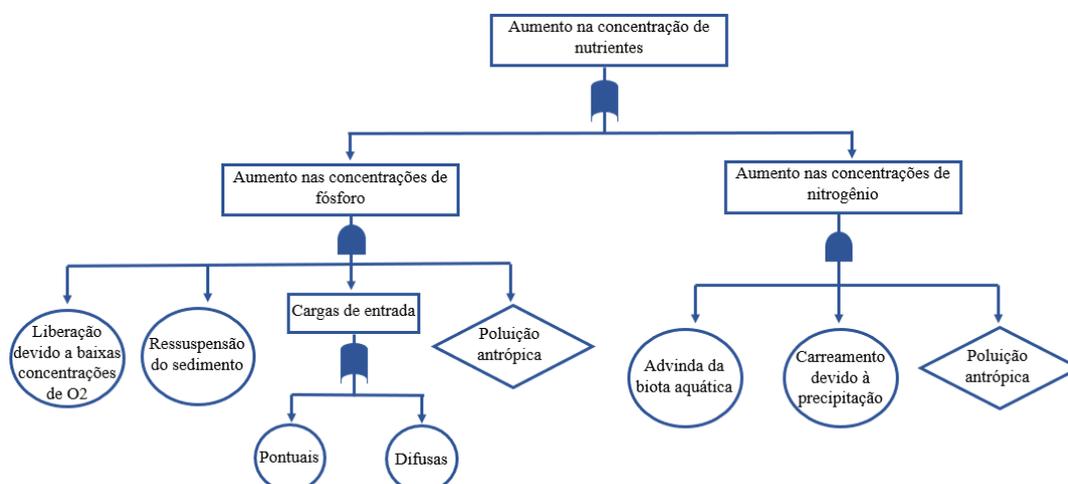


Figura 5 – Desenvolvimento da árvore de falhas para o evento “Aumento na concentração de nutrientes”

Nesse contexto, como tanto P quanto N estão associados ao aumento de nutrientes e não há uma relação causal neste caso, optou-se por utilizar uma porta OU, tendo em vista sua definição, em que a falha de saída ocorre quando pelo menos uma das falhas de entrada ocorre.

É interessante observar ao ser analisado o evento de aumento nas concentrações de fósforo que foi escolhida uma porta E, a qual indica que as falhas de entrada são causas da falha de saída, e podem ocorrer simultaneamente. Tal cenário foi escolhido tendo em vista que o aumento de P no corpo hídrico é influenciado por diferentes fatores dificilmente mensuráveis separadamente quando se analisa o reservatório como um todo. Nesse contexto, Moura *et al.* (2020) discutem a influência da liberação de uma determinada fração de fósforo pelo sedimento de corpos hídricos na ocorrência de florações exacerbadas de cianobactérias, e evidenciam a complexidade do sistema em estudo.

Nesse contexto, os eventos de liberação de P e ressuspensão do sedimento vão ter sua influência no corpo hídrico determinada também pela profundidade, visto que o primeiro se torna mais relevante em reservatórios profundos, enquanto o segundo em corpos hídricos mais rasos. Ambos foram definidos como eventos-base, visto que, para o objetivo desejado, uma análise mais simplificada se torna satisfatória. Já com relação às cargas de entrada de P, estas podem ser pontuais, como no caso do próprio rio afluindo ao reservatório, ou difusas, podendo advir de animais pastando ou mesmo de irrigação, dependendo do uso do solo na região do reservatório. Outra importante fonte de P nos corpos hídricos lânticos é a poluição antrópica, como discutido por Rocha (2019) no caso de um lago urbano, em que há o despejo de esgoto diretamente nas águas represadas.

Com relação ao aumento na concentração de N, assim como no caso do P, vários são os fatores intervenientes de forma simultânea, o que justifica a escolha da porta E. O nitrogênio está presente nos processos de consumo da biota aquática, e por esta razão uma importante fonte deste nutriente é a biota. Outra grande contribuição de N vem do carreamento que ocorre com as precipitações, e, assim como no caso do P, o grau de importância que esse evento terá no aumento da concentração do nutriente varia com o uso do solo na região (ver WIEGAND *et al.*, 2016). Por fim, esse aumento de N pode se dar, também, pela poluição antrópica, por meio de despejos inadequados de dejetos.

Finalmente, o processo de mitigação do desenvolvimento da eutrofização se dá, em geral, pela redução do aporte de nutrientes ao reservatório, porém o nível de eutrofização observado deve ser avaliado, visto que, como no caso observado por Rocha & Lima Neto (2018), no caso de um reservatório urbano hipereutrófico, apenas reduzir o aporte de nutrientes não é uma medida suficiente para se atender os limites estabelecidos pela Regulamentação brasileira. Outras intervenções possíveis são a dragagem do reservatório, com a recuperação da capacidade de armazenamento, além da implementação de injeções de ar, como descrito em Pacheco & Lima Neto (2017), entretanto são ferramentas mais onerosas. A árvore desenvolvida pode ser utilizada como ferramenta auxiliar na

gestão dos recursos hídricos, visto que aponta esquematicamente as falhas envolvidas no processo de eutrofização.

4 - Conclusões

O presente trabalho discutiu amplamente os processos envolvidos na degradação da qualidade da água de corpos hídricos. Foram evidenciados eventos chave na cadeia de eutrofização e foi ressaltada a relevância de características regionais e físicas de um reservatório para a falha avaliada. Atrelado a isso, conseguiu-se construir, de forma relativamente sucinta dada a complexidade do sistema em análise, uma árvore de falhas com os eventos de maior impacto na eutrofização e seus desdobramentos. Tal resultado pode vir a ser utilizado como uma ferramenta auxiliar de gestão de recursos hídricos, tendo em vista sua concisão e objetividade.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se a quantificação do processo discutido, por meio da atribuição de probabilidades às falhas e posterior desenvolvimento do caminho crítico da falha principal.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa de mestrado concedida à segunda autora.

Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, G. M., LIMA NETO, I. E., BECKER, H. “Estado trófico em reservatório urbano raso – Estudo de caso: Açude Santo Anastácio”, in *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 9, p. 212-228, 2016.
- BARROS, M. U. G., WILSON, A. E., LEITÃO, J. I. R., PEREIRA, S. P., BULEY, R. P., FERNANDEZ-FIGUEROA, E. G., CAPELO-NETO, J. “Environmental factors associated with toxic cyanobacterial blooms across 20 drinking water reservoirs in a semi-arid region of Brazil.”, in *Harmful Algae*, v. 86, p. 128-137, 2019.
- BRAGA, G. G., BECKER, V., de OLIVEIRA, J. N. P., de MENDONÇA JUNIOR, J. R., BEZERRA, A. F. de M., TORRES, L. M., GALVÃO, A. M. F., MATTOS, A. “Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region” in *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2015.
- Brasil, Presidência da República Casa Civil (1997) Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília – DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 2 mai. 2020.
- CALMON, A. P. S., SOUZA, J. C., DOS REIS, J. A. T., MENDONÇA, A. S. F. “Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d’água superficiais”, in *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2016.
- Da ROCHA JUNIOR, C. A. N., da COSTA, M. R. A., MENEZES, R. F., ATTAYDE, J. L., BECKER, V. “Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs”, in *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 30, e106, 2018.
- JONES, I. D., ELLIOTT, J. A. “Modelling the effects of changing retention time on abundance and composition of phytoplankton species in a small lake”, in *Freshwater Biology*, v. 52, n. 6, p. 988-997, 2007.

- MOURA, D. S., LIMA NETO, I. E., CLEMENTE, A., OLIVEIRA, S., PESTANA, C. J., de MELO, M. A., CAPELO-NETO, J. “*Modeling phosphorus Exchange between bottom sediment and water in tropical semiarid reservoirs*”, in *Chemosphere*, v. 246, 125686, 2020.
- NASELLI-FLORES, L. “*Man-made lakes in Mediterranean semi-arid climate: the strange case of Dr Deep Lake and Mr Shallow Lake*”, in *Hydrobiologia*, 506-509, p. 13-21, 2003.
- PACHECO, C. H. A., DE CEBALLOS, B. S. O., LIMA NETO, I. E. “*Uma análise de regressão para determinação do nível de eutrofização de um reservatório do semiárido brasileiro*”, in *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, v. 9, n. 2, p. 274-289, 2016.
- PACHECO, C. H. A., LIMA NETO, I. E. “*Effect of artificial circulation on the removal kinetics of cyanobacteria in a hypereutrophic shallow lake*”, in *Journal of Environmental Engineering*, v. 143, n.12, 2017.
- RIBEIRO FILHO, R. A., PETRERE JUNIOR, M., BENASSI, S. F., PEREIRA, J. M. A. “*Itaipu Reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables*”, in *Braz. J. Biol.*, v. 71, n. 4, p. 889-902, 2011.
- ROCHA, M. de J. D., LIMA NETO, I. E. (2018) “*Avaliação do aporte de fósforo em um grande reservatório no semiárido*” in *Anais do XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Maceió, Nov. 2018, Disponível em: <<http://anais.abrhidro.org.br/works/4416>>. Acesso em: 2 mai. 2020.
- ROCHA, S. M. G., MESQUITA, J. B. de F.; LIMA NETO, I. E. “*Análise e modelagem das relações entre nutrientes e fitoplâncton em reservatórios do Ceará*”, in *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 54, p. 134-147, 2019.
- ROCHA, Sofia Midauar Gondim. “*Impacto da variabilidade hidroclimática na hidrodinâmica de um reservatório urbano em Fortaleza/CE. 2019*”, Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- SONG, Y., ZHANG, L. -L., LI, J., CHEN, M., ZHANG, Y. -W. “*Mechanism of the influence of hydrodynamics on Microcystit aeruginosa, a dominant bloom species in reservoirs*”, in *Science of the Total Environment*, v. 636, p. 230-239, 2018.
- TANG, Q., PENG, L., YANG, Y., LIN, Q., QIAN, S. S., HAN, B-P. “*Total Phosphorus-precipitation and Chlorophyll a-phosphorus relationships of lakes and reservoirs mediated by soil iron at regional scale*”, in *Water Research*, v. 154, p. 136-143, 2019.
- TONÉ, A. J. A., PACHECO, C. H. A., LIMA NETO, I. E. “*Circulation induced by diffused aeration in a shallow lake*”, in *Water SA*, v. 43, n. 1, p. 36, 2017.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission. (1981) *Fault Tree Handbook*. Washington: U. S. Government Printing Office, 1981.
- VAN VLIET, M. T. H., ZWOLSMAN, J. J. G. “*Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river*”, in *Journal of Hydrology*, v. 353, p. 1-17, 2008.
- VASCONCELOS JÚNIOR, Francisco das Chagas. “*Pré-estação chuvosa e a estação chuvosa do Norte e do Nordeste brasileiro: aspectos interanuais, intrasazonais e extremos*”. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- WIEGAND, M. C., PIEDRA, J. I. G., de ARAÚJO, J. C. “*Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil)*”, in *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 2, p. 415-424, 2016.
- WU, D., YAN, H., SHANG, M., SHAN, K., WANG, G. “*Water eutrophication evaluation based on semi-supervised classification: A case study in Three Gorges Reservoir*”, in *Ecological Indicators*, v. 81, p. 362-372, 2017.
- ZHAO, G., GAO, H. “*Estimating reservoir evaporation losses for the United States: Fusing remote sensing and modeling approaches*”, in *Remote Sensing of Environment*, v. 226, p. 109-124, 2019.