



DESENVOLVIMENTO DE UM ESTUDO PARA CONCESSÃO DE OUTORGA DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES EM RIOS EM FUNÇÃO DO CÁLCULO DA VAZÃO DE DILUIÇÃO PARA CADA CONCENTRAÇÃO DE LANÇAMENTO.

Juliana Alencar Firmo de Araújo¹; Raquel Jucá de Moraes Sales²; Patrícia Freire Chagas³; Priscila Araújo Barbosa Parente⁴ & Rejane Felix Pereira⁵.

RESUMO – Este trabalho desenvolve uma metodologia para relacionar a concessão de outorga em função da vazão de diluição de um rio. O estudo foi baseado no cálculo da vazão de diluição para um rio de classe 2 segundo a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 357/05. Na formulação foi usado o princípio de conservação de massa considerando mistura rápida para uma substância com decaimento. Para o controle da concessão de outorga foi tomado como parâmetro de referência a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). A formulação foi aplicada em dois rios do Rio Grande do Norte (Piranhas e Potengi), e os resultados mostraram que para cada estação do ano, onde a vazão disponível nos rios da região nordeste do Brasil sofrem variações consideráveis, há a necessidade de estudo de caso para cada situação.

ABSTRACT – The present work aimed at developing a methodology relating the grant award to the river dilution flow. Based on the dilution flow calculation of a class 2 river, according to Resolution 357/05 of Brazilian Environmental National Council (CONAMA). It was used the principle of mass conservation considering rapid mixing for a substance decay. The biochemical oxygen demand (BOD) was taken as a benchmark to control the grant award. The formulation was applied in two rivers of Rio Grande do Norte (Piranhas and Potengi), and the results showed that for each season of the year, where the available flow in the rivers of Brazilian Northeastern suffer considerable variations, there is a need for case study for each situation.

Palavras-Chave – Concessão de outorga; Transporte de Massa; Depuração de Rios.

-
- 1 Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará e bolsista da CAPES. Campus do Pici, CEP- 60445-760, Bloco 713, Fortaleza – Ceará, Brasil. E-mail: [judiaraujo@yahoo.com.br](mailto:juliaraujo@yahoo.com.br);
 - 2 Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará e bolsista PNPd CAPES. Campus do Pici, CEP- 60445-760, Bloco 713, Fortaleza – Ceará, Brasil. E-mail: raqueljuca@gmail.com;
 - 3 Doutora em Recursos Hídricos – Instituto de Gestão de Água do Rio Grande do Norte – IGARN - Rua São João 1233 – apto 1901 – BI A – Lagoa Seca – Natal –RN. Fone: (84) 3213. E-mail: pfchagas@yahoo.com;
 - 4 Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará e bolsista FUNCAP. Campus do Pici, CEP- 60445-760, Bloco 713, Fortaleza – Ceará, Brasil. E-mail: prihparente@gmail.com;
 - 5 Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, CEP- 60445-760, Bloco 713, Fortaleza – Ceará, Brasil. E-mail: rejanefp@gmail.com.



1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A questão da poluição dos corpos d'água no Brasil constitui-se um dos grandes desafios da gestão de recursos hídricos. Este problema se agrava em especial nos grandes centros urbanos, onde há uma maior demanda por água potável e os lançamentos de poluentes são mais frequentes e concentrados. Estima-se que 1,1 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso ao abastecimento de água de boa qualidade, e 2,4 bilhões de pessoas não possuem saneamento básico adequado (coleta, tratamento e disposição final de esgoto doméstico), comprometendo significativamente a qualidade das águas dos corpos receptores e conseqüentemente restringindo seus usos. Além da poluição e do comprometimento da vida aquática, corpos hídricos contaminados veiculam várias doenças à população como cólera, hepatite A e diarreia. Assim, a questão de poluição hídrica e a falta de saneamento nesta escala põem em risco a saúde pública e o desenvolvimento econômico.

Essa situação agrava os problemas de qualidade das águas superficiais que possuem uma capacidade para assimilação de efluentes domésticos e industriais. O problema é que constantemente essa capacidade é ultrapassada gerando transtornos estéticos, sanitários e ambientais, bem como prejudicando os usos atuais e futuros destas águas.

Para disciplinar os usos dos corpos aquáticos, inclusive de assimilação de efluentes, surgiram leis específicas para recursos hídricos. Isso porque embora já houvesse legislações ambientais que contemplassem essa área, as medidas tomadas eram insuficientes para evitar a poluição dos corpos aquáticos e assegurar disponibilidade hídrica para os usuários com padrões de qualidade para seus respectivos usos.

A outorga para assimilação de efluentes consta na lei federal nº 9.433/97 baseada no princípio de permitir uma descarga em um curso de água com uma carga máxima de poluentes de maneira que, após sua diluição na vazão mínima fixada como referência, a qualidade da água no corpo receptor permaneça satisfatória conforme seus objetivos de qualidade estabelecidos pela classe de uso.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia com base nos processos de difusão utilizando um modelo matemático para estudar a capacidade de depuração de rios quanto a lançamento de efluentes. Os estudos permitiram que fossem simulados cenários de lançamentos de efluentes para dois importantes rios do estado do Rio Grande do Norte. Assim, espera-se contribuir para o fortalecimento da sistemática de outorga para lançamento de efluentes no estado do Rio Grande do Norte.



2 - METODOLOGIA

O trabalho consistiu no desenvolvimento e aplicação de um sistema de apoio à análise de outorga de lançamento de efluente em relação à matéria orgânica e aos coliformes fecais para o fortalecimento da Política Estadual de Recursos Hídricos.

O sistema de apoio à análise de solicitação de outorga de lançamento de efluente com matéria orgânica se baseia no cálculo da vazão apropriada para diluição de efluentes, ou seja, na vazão necessária para diluir o efluente de forma a manter o padrão de qualidade do corpo receptor na classe de enquadramento.

Sendo assim, para alcançar os objetivos do estudo desenvolveu-se um modelo matemático, em linguagem Fortran, capaz de simular a diluição de um rio para diferentes lançamentos de efluentes. Como parâmetro de avaliação da capacidade de depuração do rio utilizou-se a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a presença de coliformes fecais, dois importantes indicadores de poluição hídrica. Neste contexto, tomou-se como referência a classificação dos rios segundo a Resolução do CONAMA 357 de 17 de março de 2005.

2.1 - Processo de diluição de efluentes.

No processo de diluição de efluentes por um corpo hídrico qualquer deve ser levado em conta os princípios básicos que governam o transporte de massa poluente no mesmo. Como se sabe, há na literatura algumas formulações que descrevem este fenômeno. Entretanto, para este trabalho foi desenvolvida uma formulação que atendesse aos principais objetivos da pesquisa. Assim, as equações foram obtidas com a aplicação do princípio da conservação das massas em um campo permanente de velocidade de tal forma que fosse possível avaliar o comportamento das concentrações de alguns parâmetros considerados representativos para tal estudo.

2.2 - Cálculo da vazão de diluição.

O lançamento de efluentes domésticos e/ou industriais em um rio acarreta agregação de poluentes ao corpo de água receptor. Isso exigirá do rio uma certa quantidade de água (vazão de diluição) para diluir os poluentes que é diretamente proporcional à carga do mesmo. Essa vazão de diluição é exatamente a quantidade de água que será outorgada, ou seja, concedida para o usuário que deseja lançar poluentes num corpo de água receptor. Muitas vezes, dependendo das características do

corpo hídrico e da época do ano, não é possível outorgar a quantidade de água necessária para diluir os poluentes. Neste caso, há necessidade de solicitar um tratamento prévio para os efluentes a serem lançados.

Existem poluentes conservativos e não-conservativos. Entretanto, para efeito de cálculo da vazão de diluição, como está se considerando uma mistura instantânea, o tipo de substância é irrelevante.

A formulação para o cálculo da vazão de diluição é desenvolvida a partir do princípio da conservação de massa aplicada a sistema hídrico com escoamento permanente. Desta forma tem-se:

2.2.1 - Mistura rápida

Neste caso admite-se que há uma diluição instantânea, logo após o lançamento do efluente. É importante notar que não é considerado o efeito do decaimento para substâncias não-conservativas.

$$Q_d = Q_w \left(\frac{C_w - C_p}{C_p - C_{rio}} \right) \quad (1)$$

Onde:

Q_d – Vazão de diluição [L^3T^{-1}];

Q_w – Vazão do efluente [L^3T^{-1}];

C_w – Concentração do efluente [ML^{-3}];

C_p – Concentração permitida para cada classe de rio [ML^{-3}];

C_{rio} – Concentração do rio [ML^{-3}].

2.2.2 - Substância com decaimento

Neste caso o cálculo da vazão de diluição é realizado admitindo que a substância sofre decaimento.

$$Q_d = \frac{Q_w C_w}{C_p} e^{(-k \frac{x}{U})} \quad (2)$$

Onde:

k – Coeficiente de decaimento da substância [T^{-1}];

x – Espaço percorrido pela substância [L];

U – Velocidade do rio [LT^{-1}].

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o cálculo da vazão de diluição necessária para cada lançamento foi desenvolvido um programa computacional, em linguagem Fortran, com base no princípio da conservação das massas. Neste programa o escoamento do rio foi considerado permanente e a vazão de diluição calculada imediatamente após o lançamento. Neste caso, a concentração considerada foi a DBO. Com isso foi possível estabelecer as vazões necessárias para cada lançamento de efluente, e suas devidas outorgas.

Nesse processo de cálculo são usadas como parte integrante da metodologia, as concentrações permitidas para cada classe de rio estabelecidas segundo a Resolução CONAMA 357/05. Esses limites de concentração são mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Limites de concentração para alguns parâmetros.

| Classe | | Especial | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|--------|----------|--------|--------|---------|---|
| Coliformes | Fecais | ausentes | < 200 | < 1000 | < 4000 | - |
| | Totais | ausentes | < 1000 | < 5000 | < 20000 | - |
| DBO ₅ (mg/l) | | ausente | < 3 | < 5 | < 10 | - |

3.1 - Resultados para determinação da vazão de diluição.

A figura 1 apresenta os valores da diluição como função da concentração permitida. Nesse caso foi realizada uma simulação de um lançamento de efluentes com concentração de DBO de 300 mg/l, lançada em um rio com uma concentração de DBO de 1 mg/l, e diferentes concentrações permitidas, ou seja, diferentes classes de rio. A vazão de lançamento do efluente é de 0,5 m³/s.

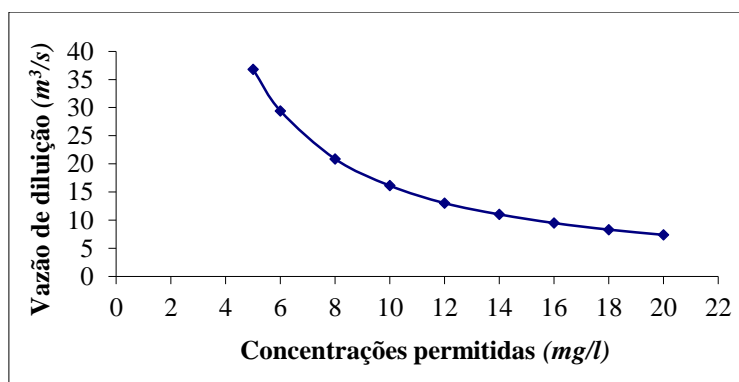


Figura 1. Vazão de diluição x concentrações permitidas de DBO.

Os resultados mostram que para o lançamento de 300 mg/l de DBO, a vazão de diluição varia segundo uma curva hiperbólica passando de aproximadamente 8 m³/s para 36 m³/s quando a concentração permitida passa de 20 mg/l para 5 mg/l. Este resultado confirma que quanto menor a

classe do rio maior serão os critérios de uso para concessão de outorgas. Esta conclusão pode ser verificada comparando a vazão de diluição para uma concentração permitida de 5 mg/l que é $36,8 \text{ m}^3/\text{s}$ com a vazão de diluição para uma concentração permitida de 20 mg/l que é de $7,36 \text{ m}^3/\text{s}$.

As figuras 2 e 3 mostram simulações para um rio de classe 1 e 2, respectivamente, onde os limites para DBO é menor que 3 mg/l .

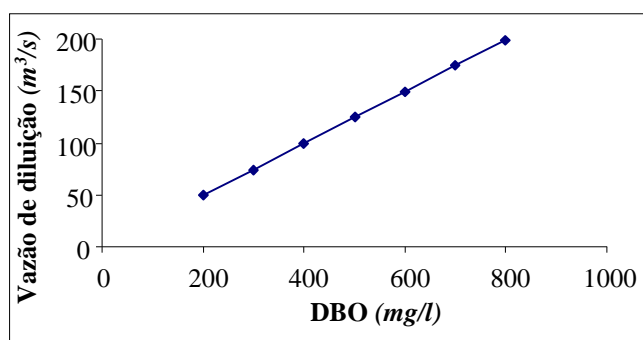


Figura 2. Vazão de diluição x DBO – rio classe 1.

Na figura 2 os resultados mostram que para rios de classe 1, a vazão de diluição requerida é muito alta garantindo sérias limitações para lançamentos de efluentes no mesmo. Verifica-se também que para um lançamento de 200 mg/l de DBO, concentração modesta para os efluentes domésticos sem tratament, a vazão requerida já é de $50 \text{ m}^3/\text{s}$, valor muito alto para os padrões dos rios do nordeste.

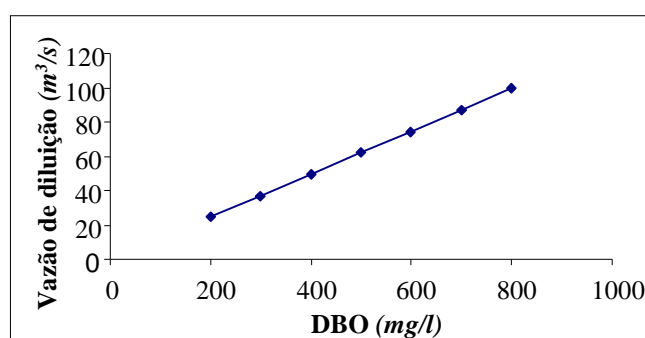


Figura 3. Vazão de diluição x DBO – rio classe 2.

A figura 3 mostra os resultados da vazão de diluição para um rio de classe 2, onde o limite e DBO é menor que 5 mg/l . Neste caso, verifica-se que para uma vazão de lançamento de 200 mg/l de DBO a vazão de diluição requerida é $24,3 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto que para um lançamento de 800 mg/l de DBO a vazão de diluição requerida é de $99,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Este resultado confirma que para lançamento de efluentes em rios com baixa vazão, como é o caso dos rios da região nordeste, há necessidade de eficientes tecnologias de tratamento desses efluentes. Somente nestas condições será possível um programa de outorga.

3.2 Cálculo das concentrações permitidas para os principais rios do Rio Grande do Norte.

Depois de realizadas as simulações genéricas, ou seja, sem considerar um rio específico, aplicou-se o modelo para rios do Rio Grande do Norte. Como o estudo trata de concessão de outorga para o uso de lançamento de efluentes foram realizadas algumas simulações para diferentes rios do Rio Grande do Norte, com bases nos dados disponíveis, de modo que fosse verificado qual a capacidade de autodepuração de cada um desses corpos d'água. Esses dados foram obtidos na SEMARH (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos). Os resultados serão mostrados e discutidos abaixo. Todas essas simulações foram feitas considerando os rios de classe 2.

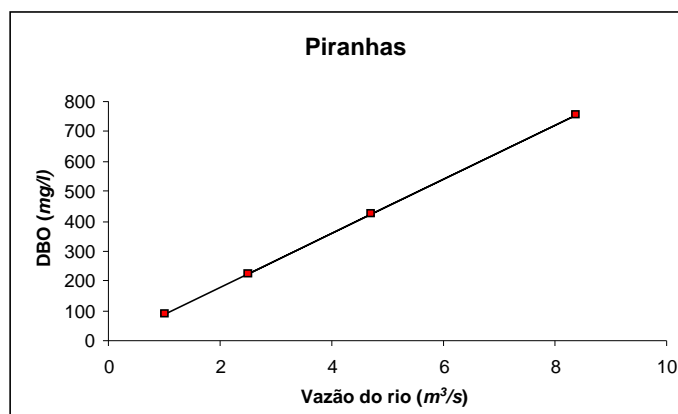


Figura 4. Concentrações permitidas de DBO para diferentes vazões do rio Piranhas.

A figura 4 mostra os resultados das concentrações permitidas para o rio Piranhas para diferentes vazões. Verifica-se que quanto maior a vazão do rio maior o poder de diluição do mesmo. Os resultados mostram ainda que para os trechos acima de 4 m³/s a concessão de outorga para uso de lançamento de efluente pode ser concedida desde que a vazão de lançamento não ultrapasse 0,1 m³/s. Para outras situações o processo merece uma análise mais criteriosa.

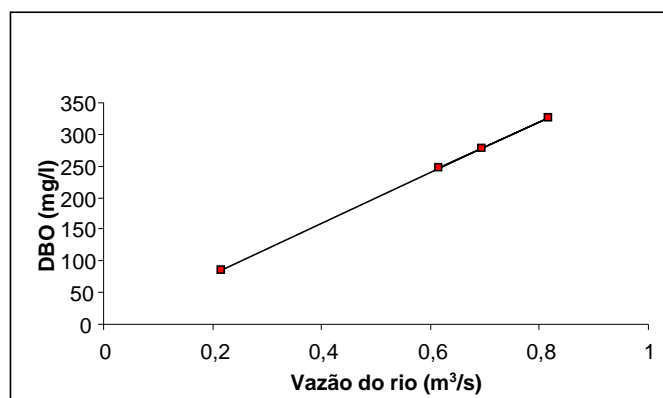


Figura 5. Concentrações permitidas de DBO para diferentes vazões do rio Potengi.



A figura 5 mostra os resultados das simulações para o rio Potengi, um importante rio do Rio Grande do Norte. A outorga para lançamento de efluentes nesse rio depende das vazões no trecho que se deseja fazer tal lançamento. Em alguns locais com baixas vazões não é possível lançar efluentes sem um devido tratamento. Para outros trechos com vazões mais significativas, o mesmo permite que se conceda outorga para lançamentos, desde que seja observada uma vazão de lançamento de efluente, até $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$. Desta forma fica claro que para qualquer processo de concessão de licença para uso de lançamentos de efluentes no Rio Potengi deve haver primeiramente uma análise criteriosa das condições do rio para receber tais efluentes.

É possível ainda verificar as concentrações permitidas de DBO para as diferentes vazões do rio Potengi. Os resultados confirmam a análise anterior. Como pode ser observado para as estações chuvosas, onde as vazões do Potengi devem aumentar consideravelmente, as concessões de outorga para este tipo de uso pode ser concedida, observando os critérios anteriores de baixa vazão de lançamentos.

4 - CONCLUSÕES

Neste trabalho desenvolveu-se um programa computacional capaz de avaliar a vazão de diluição a partir das características do rio e das condições de lançamento, buscando fortalecer a sistemática de outorga no estado do Rio Grande do Norte. Este programa permitiu que algumas simulações pudessem ser realizadas para vários rios do Rio Grande do Norte, e algumas conclusões fossem observadas.

Os resultados mostraram a necessidade de se estudar caso a caso, cada processo de concessão de outorga para o uso de lançamentos de efluentes. Os estudos revelaram que uma metodologia adequada implica na necessidade de um banco de dados consistente das características dos rios que se pretende conceder a licença para este tipo de uso.

Rios com variabilidade de vazões para diferentes trechos, precisam de análises para cada trecho, não permitindo, assim, uma única análise de concessão com base em outros trechos analisados. Esta prática de conceder licença de uso com base em outros trechos podem trazer sérios riscos à vida aquática naquele trecho que foi concedido a outorga.

Finalmente, o estudo revelou que não há uma metodologia que permita fazer uma generalização de um processo de concessão de outorga sem um criterioso processo de análise das informações pertinentes ao rio receptor, ao tipo de lançamento, à vazão de lançamento, à variabilidade hidrológica



do corpo hídrico, bem como à classe do rio para determinado uso. Sem essas condições, os gestores dos recursos hídricos terão sérios problemas para manter os sistemas hídricos com boa qualidade e com uma presença da vida aquática isenta de altos graus de vulnerabilidade.

AGRADECIMENTOS - Nossos agradecimentos à CAPES, CNPq e FUNCAP pelo suporte financeiro através de bolsa de estudo permitindo o desenvolvimento dessa pesquisa. Em especial ao DEHA/UFC pela contribuição acadêmica.

BIBLIOGRAFIA

- CHAGAS, P. F.** “*Perspectivas da aplicação da teoria fuzzy para o cálculo de risco em sistemas hidrodinâmicos*”. Tese defendida no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em recursos hídricos, 2005.
- CONEJO, J.G.L.** “*A outorga de usos da água como instrumento de gerenciamento dos recursos hídricos*”. Revista de Administração Pública, v. 27, abril/junho, p.28-62, 1993.
- KISHI, R. T.** “*Metodologia para outorga de lançamento de efluentes na bacia do Alto Iguaçu*”. Curitiba: LACTEC – CEHPAR, 2005. Financiadora de Estudos e Projetos.
- MACHADO, Enéas; PORTO, Mônica; RAMON, Norberto; FEIL, André.** “*Um Avanço na Gestão da Qualidade de Água: A outorga de lançamento de efluentes*” in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Nov. 2003.
- NAHON, I. M.** “*Sistema de Apoio a Análise de Outorga de Lançamento de Efluentes para a Variável Demanda Bioquímica de Oxigênio: Estudo de caso da Bacia do Alto Iguaçu*”. Dissertação apresentada como requisito parcial a obtenção do título de mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná.