

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVOLUÇÃO DA SALINIDADE NA BACIA EXPERIMENTAL E REPRESENTATIVA DA UFBA NO PERÍODO DE JUNHO DE 2006 A ABRIL DE 2007

Andrea Sousa Fontes¹; Yvonilde Dantas Pinto Medeiros²; João Ilton Ribeiro de Oliveira³; Maria do Rosário Zucchi⁴; Miguel Anderson dos Santos Cidreira⁵ & Rosani Brune de Almeida⁶

RESUMO --- No presente trabalho foi avaliado a evolução da salinidade das águas superficiais na área de drenagem da bacia representativa do rio Jacuípe e da bacia experimental do rio do Cedro durante o período de junho de 2006 a abril de 2007, com o objetivo de entendimento desse processo na região semi-árida. As análises químicas, com a identificação dos íons predominantes na área de estudo, apresentaram uma analogia entre os trechos alto, médio e baixo dos rios nas bacias experimentais e representativas, sendo a nascente caracterizada por águas doces bicarbonatadas cálcicas, o trecho médio e alto por águas salgadas sendo classificadas como cloretadas cálcicas e cloretadas sódicas, respectivamente. Os afluentes do Jacuípe localizados no trecho médio apresentaram águas cloretadas sódicas, fazendo com que, no período úmido, quando esses rios afluentes conseguiram alcançar o Jacuípe, as águas desse trecho passassem a ser sódicas, com exceção do reservatório São José, devido a sua maior inércia. Essa comparação foi confirmada com o estudo das correlações entre as composições iônicas de cada ponto amostrado.

ABSTRACT --- In this research it was examined the evolution of superficial water salinity in Jacuípe river and Cedro experimental basin from June 2006 to April 2007, in order to contribute for understand the process in semi-arid region. Identification of predominant ions in the study area showed presented an analogy among high, medium and low rivers stretches while the nascent was characterized by fresh calcic bicarbonated water, the medium and the high stretches were characterized by salted waters and classified respectively as calcic chlorinated and sodic chlorinated. Tributaries from the Jacuípe river medium stretch showed sodic chlorinated waters, generating also sodic waters in Jacuípe river medium stretch during humid period, except for São José do Jacuípe reservoir due its greater inertia. The obtained results were confirmed with correlations study among ionic compositions of each analyzed point.

Palavras-chave: salinidade, bacia experimental, semi-árido.

1) Doutoranda em Geofísica Ambiental, UFBA, Salvador. E-mail: asfontes@ufba.br

2) Professora adjunto da UFBA, Escola Politécnica, Salvador. E-mail yvonild@ufba.br

3) Mestre em Engenharia Ambiental Urbana, SRH/Ba. Salvador. E-mail iltonr@shr.ba.gov.br

4) Professora. da UNIVASF, Juazeiro, Bahia. E-mail maria.zucchi@gmail.com

5) Mestrando em Engenharia Ambiental Urbana, UFBA. Salvador. E-mail migcid@yahoo.com.br

6) Mestranda em Engenharia Ambiental Urbana, UFBA. Salvador. E-mail robrune@ufba.br

1 - INTRODUÇÃO

O déficit hídrico no semi-árido nordestino é enfocado, quase sempre, considerando apenas o seu aspecto quantitativo sem avaliar a qualidade da água disponível. Esta visão conduz a “soluções” que priorizam a acumulação de água, como se a presença deste bem fosse suficiente para dirimir todos os problemas causados pela sua escassez. Daí a construção indiscriminada de barragens na região. No entanto, continua havendo sede no semi-árido, estando-se próximo ou afastado do espelho d’água.

Constroem-se reservatórios sem considerar a potencialidade hidrológica da área e sem os cuidados necessários para preservação da qualidade da água armazenada, ou seja, sem compromisso com a sustentabilidade do manancial, que considera a disponibilidade englobando os aspectos quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

Nesse contexto estão inseridos os reservatórios São Jose do Jacuípe, localizado na bacia representativa do rio Jacuípe, principal afluente do rio Paraguaçu, no estado da Bahia, e reservatório São Domingos, localizado na bacia experimental do rio do Cedro. Essas bacias configuram as unidades de estudo do Projeto Bacias Experimentais e Representativas da Rede de Hidrologia do Semi-árido (BEER - REHISA), monitorada pela Universidade Federal da Bahia.

O São José do Jacuípe abastece várias cidades da região e, segundo relatório da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH-Ba, 2005), apresenta em todos os pontos, amostrados no seu lago, elevados teores de cloretos.

O reservatório de São Domingos encontra-se salinizado, portanto, com vários usos comprometidos, sobretudo o mais nobre, abastecimento urbano. Hoje tem a sua água utilizada somente para a criação de animais e cultivo de alimentos no seu entorno. A utilização do açude se estende ainda à atividade pesqueira, balneário sem infra-estrutura e banho de animais.

A acumulação de sais degrada progressivamente a qualidade de suas águas. Este processo, que pode começar a ocorrer já na sua construção, possui diversas causas interrelacionadas e que foi intensificada devido às altas taxas de evaporação típica do semi-árido.

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação da evolução da salinidade das águas superficiais na área de drenagem da bacia do rio Jacuípe e da bacia do rio do Cedro, durante o período de junho de 2006 a abril de 2007, com vistas a contribuir para o entendimento desse processo em bacias do semi-árido.

2 – ÁREA DE ESTUDO

O rio Jacuípe, maior contribuinte do rio Paraguaçu, possui escoamento no sentido geral oeste-leste, totalizando uma área de drenagem de 12.163 km², englobando 36 municípios. A bacia tem

grande importância para o Estado da Bahia, apresentando uma complexidade elevada de gerenciamento e planejamento dos seus recursos hídricos, devido principalmente a: i) intermitência do rio principal em quase todo seu curso, ii) à existência de dois importantes reservatórios (França e São José do Jacuípe), iii) à intensa atividade industrial no trecho baixo e, iv) ao alto grau de comprometimento das vazões regularizadas pelas barragens no atendimento às demandas.

O rio Jacuípe possui comprimento total de 440 km, nasce na Chapada Diamantina, no município de Morro do Chapéu, atravessa a região semi-árida, até a confluência com o rio Paraguaçu nas proximidades do lago formado pela barragem de Pedra do Cavalo, situando-se na parte central norte da bacia do rio Paraguaçu (Figura 1).

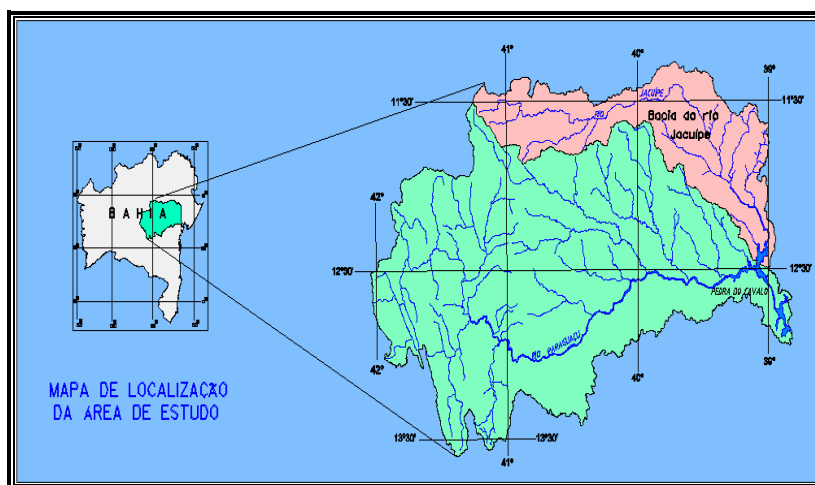


Figura 1 – Localização da Bacia do rio Jacuípe

A bacia compreende uma área bastante extensa inserida na região semi-árida. No entanto, existem variações climáticas ao longo da bacia, apresentando maiores teores de umidade nas suas extremidades devido à proximidade da Chapada Diamantina nas suas nascentes, ou ao Recôncavo próximo à confluência com o rio Paraguaçu (800 e 1.300mm anuais, respectivamente). Sua parte central apresenta, todavia, regiões onde as chuvas são muito escassas (700 a 500mm anuais), ocorrendo períodos longos de seca. A temperatura média reflete um clima de temperaturas pouco elevadas, com amplitude térmica inferior a 5°C e média anual superior a 23°C.

Localizada nessa bacia hidrográfica está a Bacia experimental da Universidade Federal da Bahia, com área de 20,53 km². A área pertence ao município de São Domingos, distante cerca de 250 km de Salvador (Figura 2). Esta bacia coincide com a área de drenagem do barramento de terra no riacho do Cedro, conhecido como Açude São Domingos.

O clima presente nessa região, segundo a classificação climática de Thornthwaite, é semi-árido com índices de umidade entre 20 e 40%, com 9 a 12 meses secos durante o ano (BAHIA, 1996). O relevo é predominantemente suave a plano. A região da bacia encontra-se totalmente embasada no cristalino.

A instrumentação dessa bacia foi realizada no âmbito do Projeto Integrado de Implantação de Bacia Experimental no Semi-árido (IBESA) da Rede de Hidrologia do Semi-árido - REHISA, referente à bacia experimental da Universidade Federal da Bahia - UFBA. Esta bacia foi instalada pelo Grupo de Recursos Hídricos da Escola Politécnica, com o objetivo de gerar informações sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas localizadas na região semi-árida. Essa unidade de estudo engloba três açudes e esta instrumentada com quatro pluviógrafos e uma estação meteorológica automática, além da realização diária da leitura dos níveis de água dos açudes.

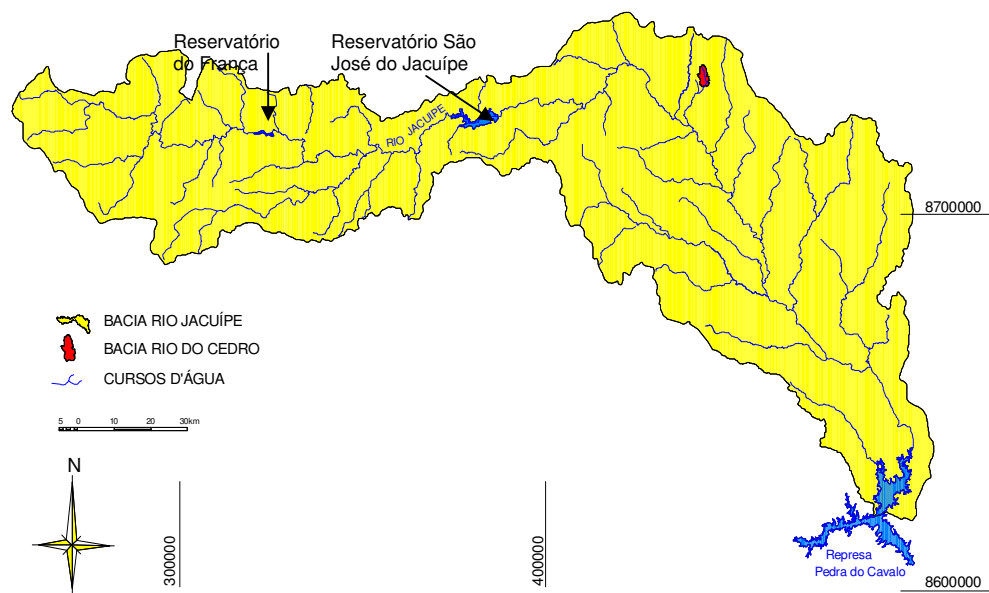


Figura 2 – Localização da Bacia Experimental do rio do Cedro

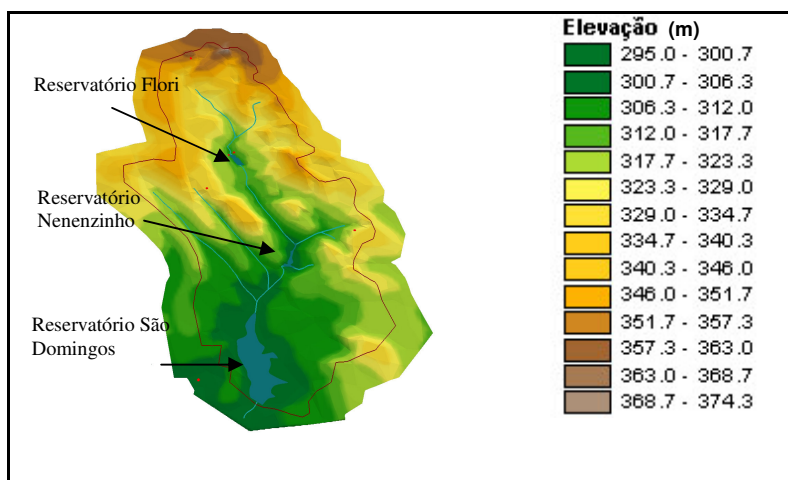


Figura 3 –Bacia Experimental do rio do Cedro

3 – REFERENCIAL TEÓRICO

Por definição, salinidade é a concentração total dos íons dissolvidos. Assim, quanto maior a salinidade da água, maior será a quantidade de sólidos dissolvidos nesta e maior sua condutividade elétrica, pois os íons são partículas carregadas eletricamente (LOGAN, 1965).

A condutividade elétrica é uma propriedade iônica que indica a capacidade de condução de corrente elétrica na água, tendo proporcionalidade direta com a concentração de sais dissolvidos (íons). A condutividade elétrica cresce com a temperatura e varia com o tipo de sal dissolvido para uma mesma concentração (LOGAN, 1965).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA - N° 356/05 considera que a classificação das águas doces, salobras e salinas é essencial à defesa de seus níveis de qualidade, trazendo em suas definições os limites de salinidade de cada classe.

De acordo com Logan (1965), o grau de salinidade das águas interfere em várias propriedades químicas desta, atuando direta ou indiretamente no metabolismo dos animais e vegetais que a consomem (LOGAN, 1965). Para obter-se, então, uma avaliação mais precisa da água com salinidade elevada, não basta apenas medir a sua condutividade elétrica, é necessário avaliar os seus constituintes iônicos. Pois, a depender da concentração unitária de cada um destes, é possível compreender o processo de salinização que ocorre na área estudada, evidenciar a sua origem e prever os resultados da sua utilização.

Os constituintes iônicos da água que mais frequentemente contribuem para a sua salinização são: os cátions sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), e os ânions cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^-), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) (LEPRUN, 1988; SANTIAGO, 1984; LARAQUE, 1989; SILVA Jr et al., 1999; QUEIROZ, 2000).

De modo geral, os íons que apresentam maiores concentrações nas águas superficiais da região semi-árida do nordeste brasileiro são, em ordem, o cloreto (Cl^-); o bicarbonato (HCO_3^-) e o sódio (Na^+), conforme pode ser comprovado por estudos da qualidade da água em açudes localizados no semi-árido nordestino realizados por vários pesquisadores.

No estudo de Leprun (1988), denominado “Primeira Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais no Nordeste”, foi feito um levantamento de dados disponíveis sobre as características físico-químicas das águas superficiais distribuídas na zona semi-árida de embasamento cristalino do nordeste brasileiro. Foram avaliadas por volta de 504 análises químicas de águas oriundas de açude, cacimbão, poço raso (2-6m), rios, riachos e águas de escoamentos superficiais e fontes, sendo a grande maioria dos dados provenientes de análises realizadas em águas de açudes. Obteve-se, de um modo geral, águas com altos teores de sódio, cloreto e bicarbonato, apresentando, segundo a concentração, a seguinte hierarquia: cátions $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$; e ânions $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$.

Os dados permitiram classificar o tipo dominante de águas superficiais do nordeste semi-árido como cloretadas-sódicas (LEPRUN, 1988).

Ao considerar apenas as águas provenientes de açudes, obteve-se, neste mesmo trabalho, os resultados apresentados no Quadro 1:

Quadro 1. Características físico-químicas das águas de açudes do nordeste (LEPRUN, 1988).

364 amostras	pH	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
			(mg.L ⁻¹)						
Média	7,7	519,63	25,89	12,72	53,66	9,62	80,86	7,07	117,95
Desvio Padrão	0,6	978,16	37,47	22,24	100,80	8,43	42,08	8,92	57,53
Máximo	9,7	>10.000	678,6	280,0	>1.000	>100	>1.000	80,10	373,30
Mínimo	5,6	44,00	1,60	0,50	1,30	0,40	0,50	0,00	4,80

Laraque (1989) analisou mensalmente as características físico-químicas das águas de doze açudes, todos inseridos na zona semi-árida do nordeste, durante os anos de 1987 e 1988, obtendo resultados similares aos de Leprun (1988). Ou seja, os íons mais abundantes foram, em ordem, HCO_3^- , Cl^- , Na^+ e Ca^{2+} .

Segundo esses estudos, a condutividade elétrica evoluiu entre uma faixa inicial de 75 a 300 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ a 25°C, para alcançar, no final do período seco, valores entre 200 a 900 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ a 25°C. Sendo assim, com a progressão da perda de água nos açudes por evaporação, a qualidade das águas remanescentes tendeu para salinidade neutra, sendo o risco de sodificação fraco em todo período.

Outro estudo que avaliou o comportamento químico das águas foi desenvolvido por Santiago (1984), em sua tese de doutorado, na qual analisou a variação da concentração de íons nas águas de dois açudes localizados em região semi-árida do Estado do Ceará, nos anos de 1980 e 1982. Estes açudes apresentaram, segundo a autora, em todo o período analisado, a seguinte hierarquia de concentração de íons: Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} , ou seja, em todo período de realização do estudo as águas apresentaram-se cloretadas-sódicas (SANTIAGO, 1984).

O fato interessante deste trabalho, é que o íon de maior concentração ao longo de todo período avaliado, foi o cloreto que diferencia-se dos demais estudos apresentados haja vista que, naqueles, o cloreto torna-se mais concentrado à medida que progride a estação seca.

Queiroz (2000) ao analisar, no período de 1998 a 2000, a concentração dos íons maiores das águas de quatro açudes inseridos na região semi-árida, próxima ao município de Tauá no estado do Ceará, constatou que dois açudes apresentaram concentrações maiores de HCO_3^- , ou seja, águas bicarbonadas sódicas ou mistas; enquanto os outros dois apresentaram concentrações maiores de Cl^- predominando águas do tipo cloretadas-sódicas.

A variação das concentrações de íons apresentadas nos trabalhos mencionados tem amplitudes consideráveis, ou seja, no período seco a concentração tende a aumentar, já que a evaporação neste período é mais intensa, retirando-se apenas água, mantendo a mesma massa de sais e, nos períodos

úmidos, o aporte de água é superior ao de saís o que diminui a concentração destes. Por isso, há uma variação na composição química das águas dos açudes, da estação chuvosa para seca, havendo aumento nas concentrações em valores percentuais de Cl^- e Na^+ , enquanto o Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} e, principalmente, o HCO_3^- , diminuem relativamente na estação seca.

Silva Jr. et al (1999), concluíram que o motivo responsável pela composição química apresentada pelas águas do semi-árido é a elevada solubilidade do cloreto de sódio em relação a solubilidade dos bicarbonatos de cálcio e magnésio. Desta forma, o aumento da concentração salina das águas proporciona cada vez maiores teores de cloreto de sódio, em detrimento dos teores de bicarbonatos de cálcio e magnésio que tendem a precipitar em virtude da sua menor solubilidade.

A amplitude de variação da concentração de saís nos açudes de maior porte ($>105 \text{ m}^3$) é reduzida quando comparada com os açudes menores. Isto ocorre devido a maior inércia obtida pelo volume da água armazenada dos reservatórios maiores (SUASSUNA; AUDRY, 1992).

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para as análises da evolução da salinidade nas bacias de estudo foram realizadas: três campanhas de campo para coleta das águas do rio Jacuípe em pontos estrategicamente selecionados desde a nascente; quatro campanhas nos reservatórios de França e São José do Jacuípe; três campanhas na bacia experimental do rio do Cedro para determinação dos íons maiores simultaneamente as coletas do rio Jacuípe e campanhas mensais para determinação da condutividade elétrica para a bacia experimental. Todas compreendidas no período de junho de 2006 a abril de 2007.

As amostras coletadas foram submetidas às análises químicas com o objetivo de avaliar as propriedades dos saís presente nas águas. Foram determinados os constituintes iônicos da água que mais frequentemente contribuem para a sua salinização: os cátions sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), e os ânions cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) e realização do balanço iônico.

Para avaliação espacial da salinização na bacia do rio Jacuípe foram plotados gráficos da condutividade elétrica versus distância da nascente de forma a caracterizar o comportamento desse processo ao longo do rio Jacuípe, identificando as interferências geradas pelos afluentes. Esse comportamento foi analisado para cada campanha realizada ao longo do rio.

Os dados da análise química foram confrontados com os dados de chuva para entendimento da interferência de períodos secos e úmidos no processo de salinização das águas superficiais das bacias.

Tais análises possibilitaram classificar as águas utilizando os critérios estabelecidos pelo United States Salinity Laboratory - USSL para avaliação de águas de irrigação. Esta classificação baseia-se nos valores da condutividade elétrica em $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C e no valor da Razão de Adsorção de Sódio (RAS), obtido pela relação dos cátions solúveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ . Estes valores são plotados no diagrama de classificação, onde se determina a categoria de risco de salinidade e sodicidade, conforme descritos no Quadro 2 (LOGAN, 1965):

Quadro 2. Categorias de risco de salinidade e sodicidade (LOGAN, 1965)

Categorias de risco de salinidade	Categorias de risco de sodicidade
C1 – Pouco risco de salinidade.	S1 – Baixo risco de sodicidade.
C2 – Médio risco de salinidade.	S2 – Médio risco de sodicidade.
C3 – Alto risco de salinidade.	S3 - Forte risco de sodicidade
C4 – Muito alto risco de salinidade	S4 – Muito forte risco de sodicidade
C5 – Excepcionalmente alto risco de salinidade.	

Outra classificação utilizada neste trabalho tendo como base os íons solúveis foi obtida pelo método dos íons solúveis dominantes. Este método é utilizado tradicionalmente na classificação de águas e é baseado na relação dos teores dos íons que apresentam maiores concentrações, os quais são plotados no diagrama de Piper de onde se obtém a classificação (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997). Por este método as águas podem ser classificadas como: sulfatada cálcica, magnésiana ou sódica; cloretada cálcica, magnésiana ou sódica; bicarbonatada cálcica, magnésiana ou sódica.

Como um dos objetivos dos estudos em bacias experimentais é a extrapolação do conhecimento para as bacias representativas foi realizada ainda uma análise da correlação entre os pontos amostrados na bacia experimental e na representativa. Esse mesmo procedimento foi realizado entre os pontos da bacia do Jacuípe para análise da dependência espacial, assim como entre os pontos da bacia experimental. Foi então estabelecida uma matriz de correlação para as três campanhas realizadas simultaneamente nas duas bacias.

Foi utilizado coeficiente de correlação de Pearson (r), definido por Haan (1977), como uma medida de dependência linear entre duas variáveis (x , y), expresso pela seguinte equação:

$$r_{x,y} = \frac{s_{x,y}}{s_x s_y} \quad (1)$$

Onde:

- s_x = Desvio padrão amostral da variável x ;
- s_y = Desvio padrão amostral da variável y ;
- $s_{x,y}$ = Covariância amostral entre x e y . Calculada conforme equação abaixo:

$$s_{x,y} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / (n-1) \quad (2)$$

Valores de $r_{x,y}$ iguais a ± 1 indicam que x e y são perfeitamente relacionadas por uma função linear. Se $r_{x,y} = 0$, x e y são linearmente independentes, podendo haver outro tipo de relação entre essas variáveis.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A bacia do rio Jacuípe apresenta baixo teor de sais na sua nascente até trecho a jusante do reservatório de França, na localidade de Manguinhas a 174 Km da nascente do rio, onde ocorre o primeiro pico de salinidade. Para a primeira campanha, realizada em julho de 2006, esse ponto amostrado apresentou condutividade elétrica de $771 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ e cloreto como íon predominante, com concentração de 214 Mg/L, classificada como água salobra. Os pontos seguintes, amostra da descarga de fundo do Reservatório de São José do Jacuípe e da localidade de Gavião, apresentaram condutividade elétrica de 2.410 e $2.770 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ respectivamente, classificadas como águas salgadas, conforme pode ser observado na Figura 4.

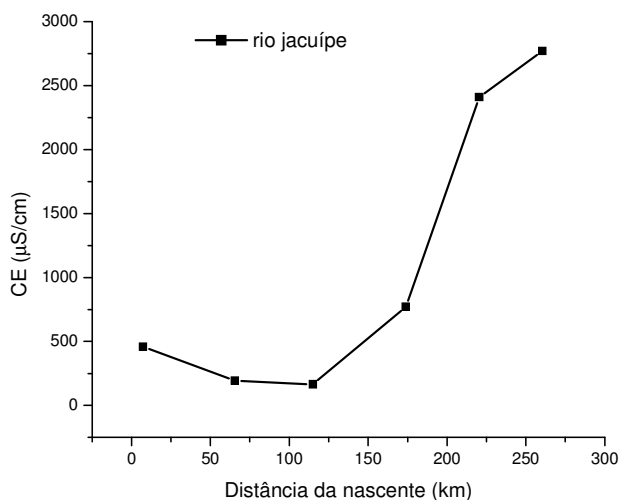


Figura 4 – Evolução espacial da Condutividade Elétrica (CE) no rio Jacuípe - julho de 2006

Esse comportamento foi observado na campanha realizada no final de 2006, onde a amostragem foi complementada com a coleta de água em quatro afluentes do rio Jacuípe que se encontravam cortados nesse período. Essa campanha foi realizada em duas datas, sendo realizado primeiro o trecho alto e médio da bacia para em seguida ser realizado o trecho baixo. Os afluentes perto da nascente do rio apresentaram águas doces. Para o segundo afluente, que é alimentado por uma mineração de água subterrânea, foi medida uma condutividade elétrica bastante elevada ($10.160 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$). Segundo relatos de moradores locais os poços perfurados no local geram águas bastante

salgadas, sendo desativados. O terceiro afluente encontrado, rio do Ouro, teve suas águas também classificadas como salgadas. Cabe salientar que esses afluentes devido a sua intermitência não estavam alcançando o rio Jacuípe, logo não estavam contribuindo para a sua salinização. Esse comportamento está apresentado na Figura 5.

No encontro do rio Jacuípe com o Paraguaçu, já no lago da Barragem de Pedra do Cavalo, a condutividade é bastante reduzida devido a diluição dos sais, conforme mostra o ponto a 442 km da nascente, localizado nas proximidades do município de Feira de Santana.

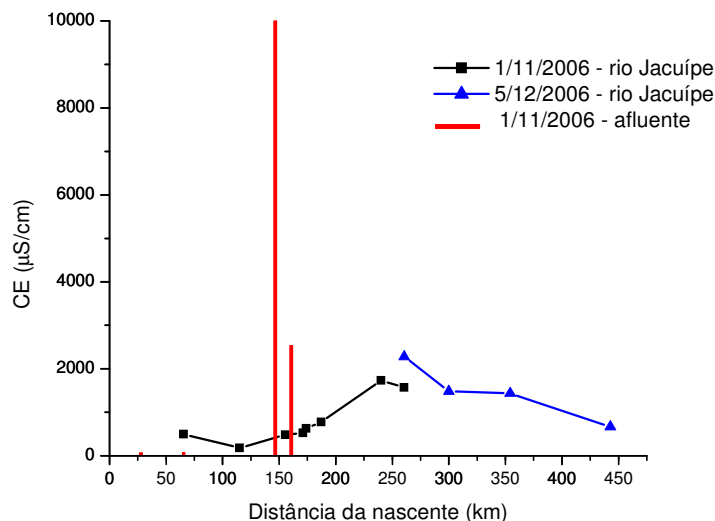


Figura 5 – Evolução espacial da Condutividade Elétrica (CE) no rio Jacuípe e seus afluentes – novembro e dezembro de 2006

Entre a primeira e segunda campanha não houve contribuições significativas de chuva, o que veio ocorrer em março de 2007, gerando vazões nos afluentes para alcançarem o rio Jacuípe. Dessa forma, na coleta realizada em abril deste ano as análises químicas refletiram também a contribuição dos afluentes no processo de salinização do rio Jacuípe.

Foram identificados sete afluentes, sendo que nas proximidades da nascente os afluentes continuaram contribuindo com água doce e no trecho entre os reservatórios de França e São José do Jacuípe todos os afluentes contribuíram com águas salgadas. Isso gerou o perfil da condutividade elétrica mostrada na Figura 6. Observa-se que nos pontos amostrados no rio Jacuípe a concentração de sais no período úmido aumentou devido à contribuição desses afluentes salgados. Esse fato se diferencia dos estudos de salinização de reservatórios apresentados anteriormente, onde é no período seco que esse fenômeno se intensifica devido a evaporação. No caso da bacia do rio Jacuípe o risco da salinização está presente nos dois períodos, uma vez que o aporte de sais aumenta por causa dos afluentes no período úmido e a concentrações destes aumenta com a evaporação nos períodos secos.

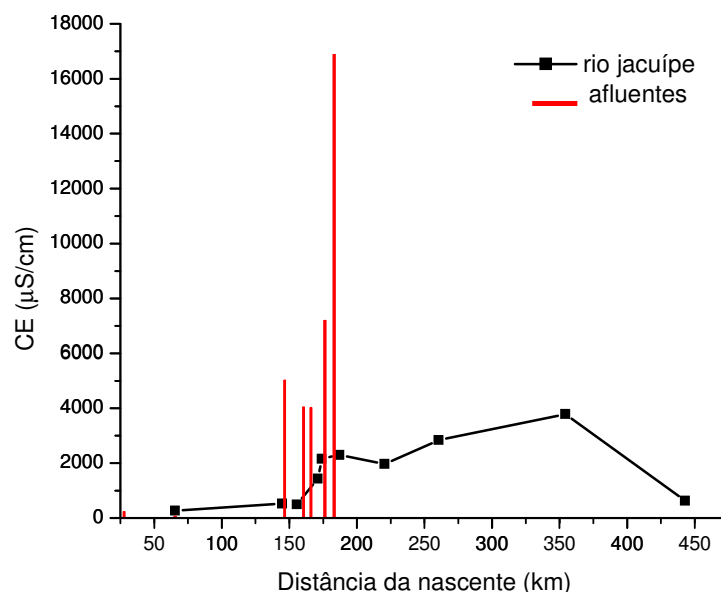


Figura 6 – Evolução espacial da Condutividade Elétrica (CE) do rio Jacuípe e seus afluentes - abril de 2007

Para uma melhor avaliação do comportamento espacial dos sais no rio Jacuípe é apresentado nas Figuras 7, 8 e 9 três pontos de amostragem comparado com a precipitação, sendo a cachoeira Domingos Lopes localizada a 65 km da nascente, o ponto de Manguinhas localizado entre os reservatórios de França e São José e o ponto de Gavião localizado a jusante do reservatório São José a 260 km da nascente. Nessas Figuras estão apresentadas as concentrações dos íons que mais contribuem para a salinidade local.

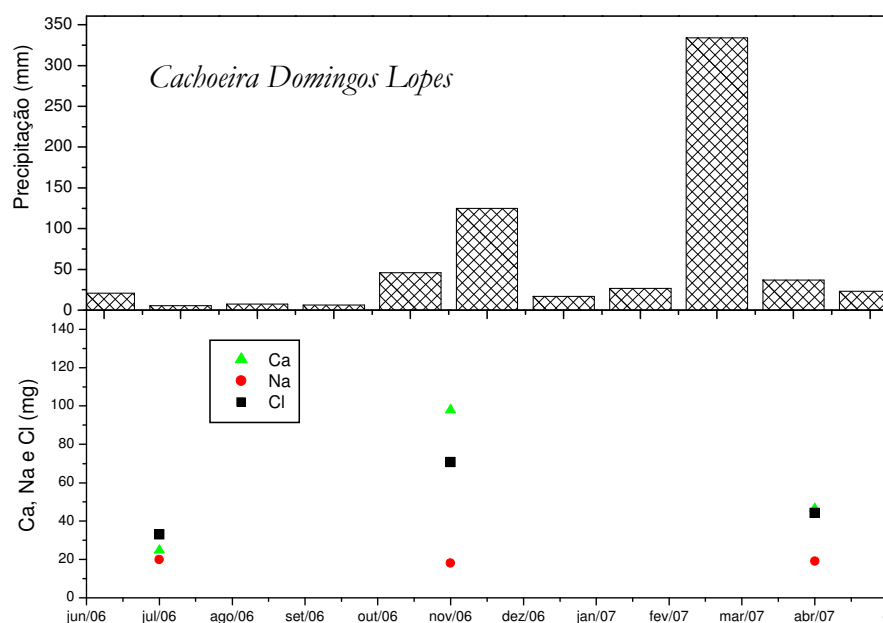


Figura 7 – Evolução temporal dos íons Ca, Na e Cl – Cachoeira Domingos Lopes

Pode-se observar um comportamento diferenciado nos três pontos. Para a Cachoeira Domingos Lopes os sais, que já apresentavam baixas concentrações, foram diluídos com a chuva ocorrida em março de 2007, no período entre julho e novembro de 2006 sua concentração teve um aumento devido a evaporação.

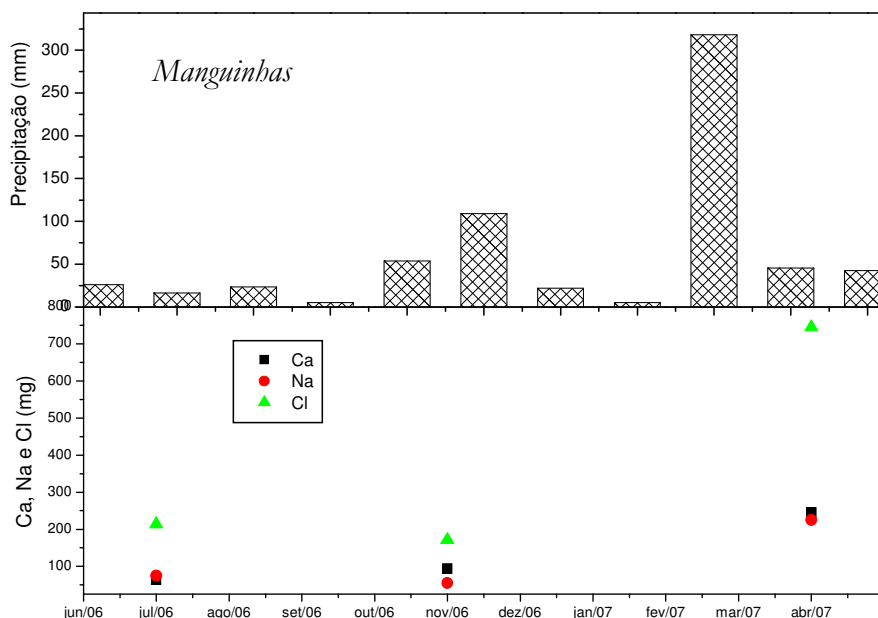


Figura 8 – Evolução temporal dos íons Ca, Na e Cl – Manguinhas

Para Manguinhas a ação da evaporação nas águas do rio não é identificada e no período posterior a chuva de março percebe-se um aumento na concentração dos íons sendo o mais significativo o aumento na concentração de cloreto, que tem como característica alta solubilidade.

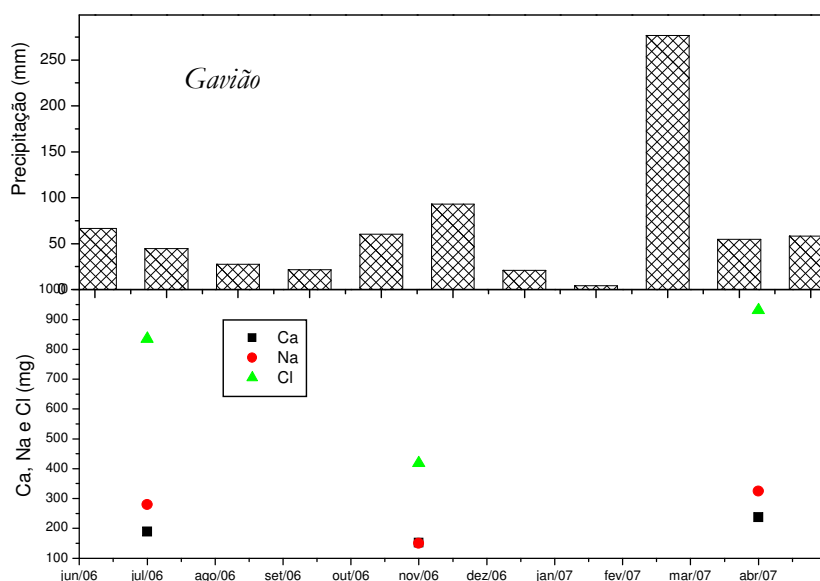


Figura 9 – Evolução temporal dos íons Ca, Na e Cl – Gavião

Para Gavião a ação da evaporação nas águas do rio, também, não é identificada havendo redução na concentração do cloreto entre as duas primeiras campanhas e no período posterior a chuva de março percebe-se um aumento na concentração dos íons, sendo, também, o mais significativo o aumento na concentração de cloreto, que tem como característica alta solubilidade. Cabe observar que as concentrações encontradas de cloreto e sódio estão superiores ao padrão de aceitação de consumo humano definido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. O cloreto tem como padrão 250 mg/L e o sódio 200 mg/L.

Para análise dos resultados encontrados para a bacia experimental, está apresentado na Figura 10 a variação temporal da condutividade elétrica nos seus reservatórios, confrontado com os dados de chuva no período.

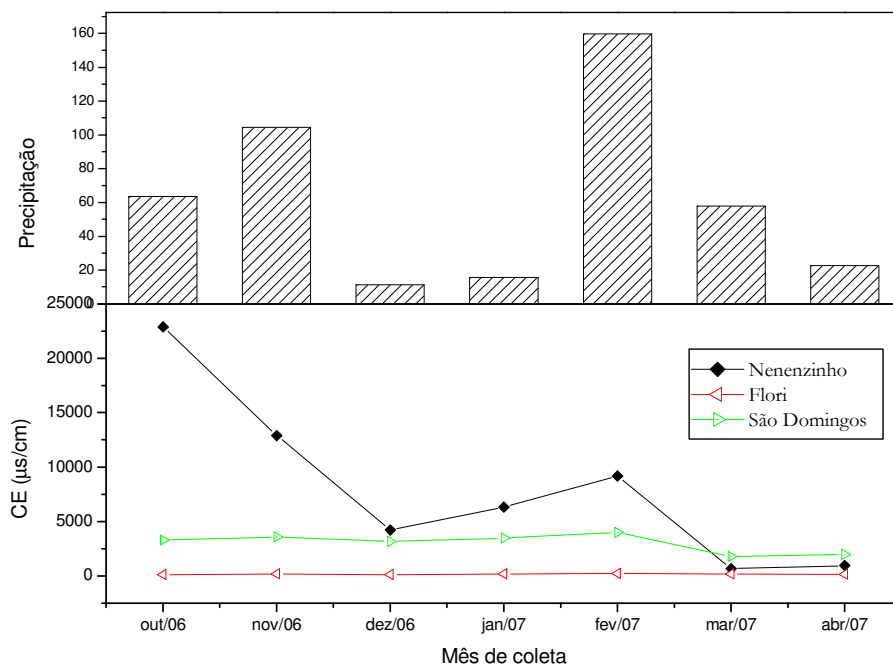


Figura 10 – Evolução temporal da Condutividade elétrica na bacia experimental

Nestas campanhas as águas do reservatório Nenenzinho apresentaram valores de condutividade elétrica elevados ($\geq 750 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), sendo em outubro de 2006 ($22.900 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) o valor mais elevado. Vale ressaltar que esta campanha foi realizada no período seco, estando o nível de água do açude baixo, indicando um período de alta concentração de sais devido principalmente a evaporação. O processo de salinização do açude Nenenzinho também pode ser evidenciado pelas “manchas brancas” visíveis em suas margens no período seco, referentes às eflorações salinas.

Para esse açude percebe-se a alta correlação entre a salinidade e a ocorrência de chuva, confirmando a evaporação como o principal causador do aumento da concentração dos sais. Em fevereiro a precipitação ocorrida gerou uma renovação nas águas desse açude que passou para classificação doce em março retornando a condição salobra em abril, provavelmente devido a concentração de sais presente no solo.

Notou-se que as águas do açude Flori apresentaram concentrações iônicas compatíveis à água potável (<7,5mE.L-1), não havendo variações significativas no período.

O açude da São Domingos por ser maior, apresenta uma inércia, ou seja, seu volume acumulado não possibilita uma modificação tão significativa nas concentrações como em Nenenzinho. Entretanto a evolução dos valores possibilitam identificar a ação da evaporação e diluição das concentrações com a ocorrência de chuva, uma vez que o comportamento da CE da água seguiu o padrão de aumentar no período seco e diminuir no período chuvoso. Em março, a condutividade elétrica desse açude reduziu de 4.010 para 1.784 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ voltando a crescer em abril por conta da evaporação.

Seguindo a metodologia do presente trabalho, as águas das bacias foram classificadas utilizando os critérios estabelecidos pelo USSL para avaliação de águas de irrigação. Estes valores foram plotados no diagrama de classificação, onde se determinou a categoria de risco de salinidade e sodicidade, conforme descritos no Quadro 2. Para uma melhor análise, os resultados das campanhas foram juntados e as amostras do rio Jacuípe e dos seus afluentes foram separadas e, ainda, atribuída cor azul para os pontos localizados próximo a nascente do rio Jacuípe, vermelho para os pontos localizados no trecho médio e amarelo para os pontos localizados no trecho baixo. Os resultados estão apresentados nas Figuras 11 e 12.

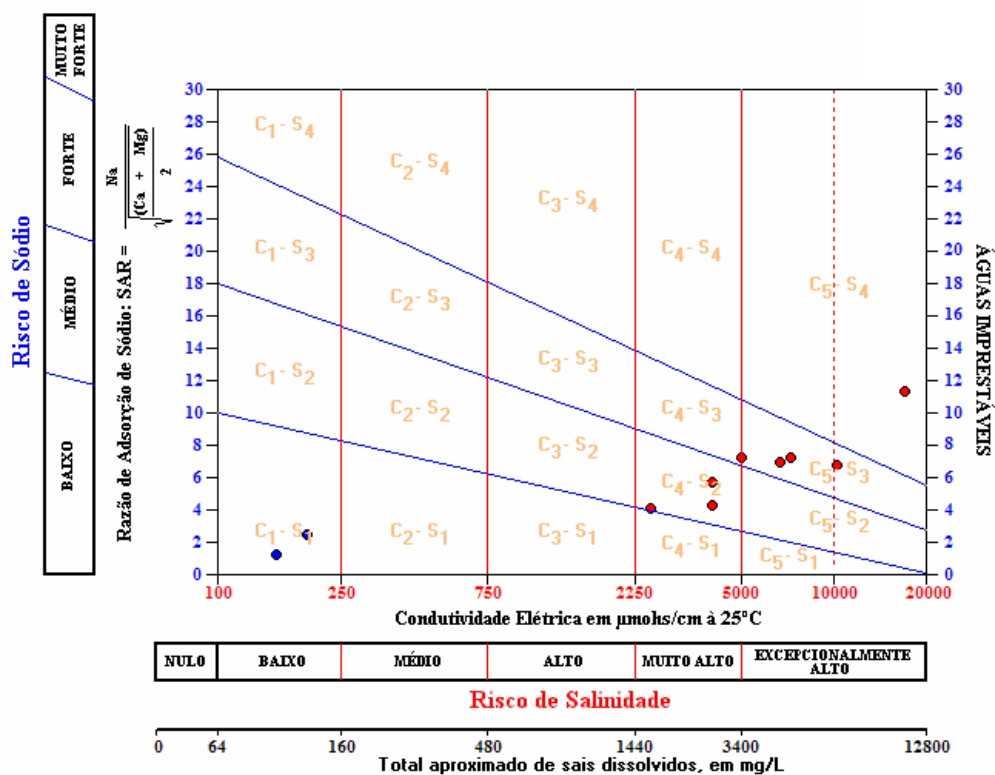


Figura 11 – Classificação do USSL dos rios afluentes ao rio Jacuípe

Risco de Sódio

BAIXO **MÉDIO** **FORTE** **MUITO FORTE**

Razão de Adsorção de Sódio: $SAR = \frac{Na}{\frac{(Ca + Mg)}{2}}$

ÁGUAS IMPRIMEÁVEIS

Condutividade Elétrica em $\mu\text{mols/cm}$ a 25°C

NULO **BAIXO** **MÉDIO** **ALTO** **MUITO ALTO** **EXCEPCIONALMENTE ALTO**

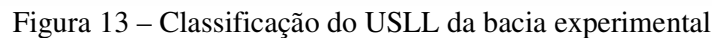
Risco de Salinidade

Total aproximado de sais dissolvidos, em mg/L

0 64 160 480 1440 3400 12800

O rio Jacuípe acompanha esse comportamento, sendo que com riscos menores dada a influência do trecho alto da bacia que não apresenta risco de salinização e sodificação. No trecho baixo o ponto que representa a confluência do rio Jacuípe com o rio Paraguaçu apresenta risco de salinização médio, indicando a necessidade de controle das águas do rio Jacuípe que chega na Barragem de Pedra do Cavalo.

Segundo a classificação do USLL, as águas do açude Flori (pontos azuis) apresentaram baixa salinidade e baixo conteúdo de sódio, o que é corroborado pelo valor de sua RAS, estas águas podem ser utilizadas indiscriminadamente nas atividades agrícolas. Já as águas do açude Nenenzinho (pontos vermelhos) foram classificadas como excepcionalmente salina e fortemente sódica para os períodos secos, o que restringe a sua utilização nas atividades agrícolas e para o consumo humano e animal. O açude de São Domingos (pontos amarelos) apresentou comportamento mediano para sodificação e alto para salinidade.



As águas foram classificadas também com na relação dos teores dos íons que apresentam maiores concentrações, os quais foram plotados no diagrama de Piper, de onde se obtém a classificação apresentada nas Figuras 13, 14 e 15, com a mesma separação anterior entre os afluentes, rio Jacuípe a bacia experimental.

16

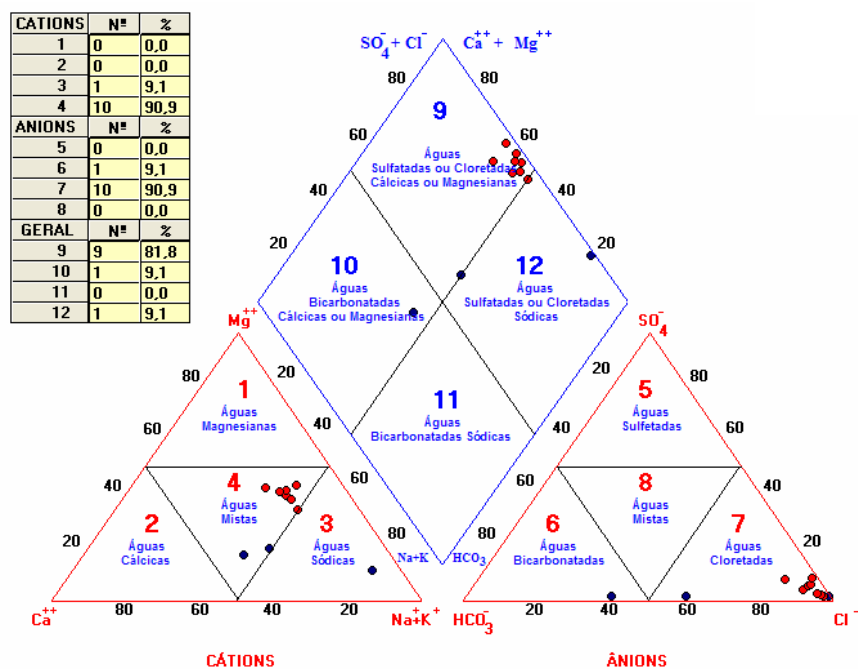


Figura 13 – Diagrama de Piper para os rios afluentes do rio Jacuípe

Para o rio Jacuípe obteve-se comportamento semelhante ao dos afluentes para os dois trechos da bacia, alto e médio.

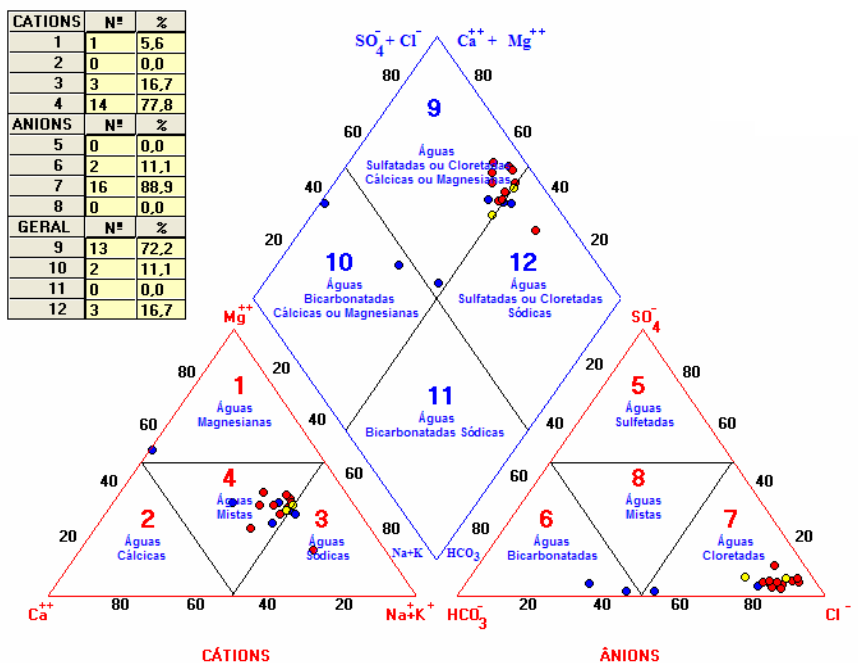


Figura 14 – Diagrama de Piper para o rio Jacuípe

Na bacia experimental foram encontradas águas bicarbonatadas cálcicas para o açude de Flori, cloretada sódicas para o de São Domingos e cloretada mista para o Nenenzinho.

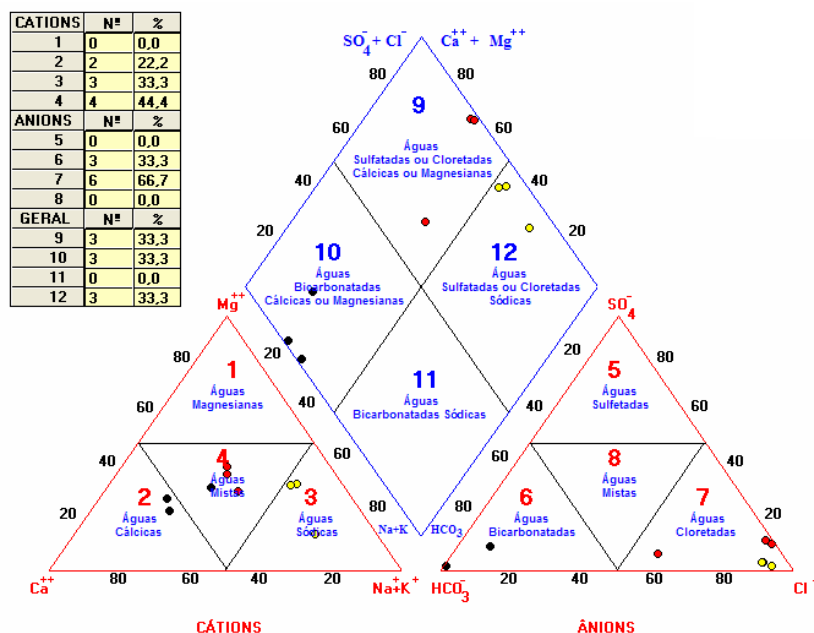


Figura 14 – Diagrama de Piper para a bacia experimental

O cloreto predominou tanto na bacia experimental como na bacia representativa, salientando que para as duas bacias as nascentes apresentaram baixo nível de salinidade com classificação de águas bicarbonatadas, o que ao longo da bacia modificou-se para cloretada mista ou sódica. Essa informação é de suma importância para estudo aqui proposto, caracterizando a representatividade da bacia experimental para estudos dessa natureza na bacia representativa. No sentido de melhor representar essa correlação entre a bacia experimental e a representativa, assim como, a correlação entre os afluentes e o rio principal e ainda entre os diversos pontos ao longo do Jacuípe, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson para as três campanhas utilizando os íons analisados para cada amostra. Foi avaliada a correlação tanto no período chuvoso como no seco e feito teste de hipótese para correlação, onde foi encontrado que as correlações significativas são acima de 70% ($P < 0,05$).

Foram encontrados correlações significativas entre os afluentes e o rio principal, exceto no trecho da nascente (Cachoeira Domingos Lopes). Este trecho apresentou correlação expressiva apenas com o açude de Flori que fica próximo a nascente do rio da bacia experimental.

No período chuvoso essa correlação apresentou-se bastante elevada com a maior parte dos coeficientes próximos a 1. Com exceção do açude de Nenenzinho que apresentou nesse período correlações menores com os demais pontos amostrados, devido ao seu tamanho e menor poder de inércia, aliada as características locais de alta presença de sais.

O açude São Domingo apresentou correlações significativas em relação ao reservatório São José do Jacuípe, confirmando a avaliação anterior da representatividade da bacia experimental para fins de gestão da qualidade da água na bacia representativa.

5 – CONCLUSÃO

A bacia do rio Jacuípe apresenta uma salinização diferenciada ao longo do seu curso, ou seja, na nascente os teores de sais são baixos mantendo essa característica de água doce por aproximadamente 174 km, trecho a jusante do reservatório de França. Nessa região a água torna-se salobra atingindo os níveis de classificação de água salgada nas proximidades do reservatório de São José do Jacuípe. A partir desse barramento, segue seu curso aumentando a condutividade elétrica até desembocar no rio Paraguaçu onde tem suas águas diluídas, reduzindo a salinidade.

O mesmo acontece com a bacia experimental que apresenta o reservatório Flori, localizado próximo a nascente com água doce em todo o período analisado, o reservatório de Nenenzinho, localizado no trecho médio, salgado no período seco e doce a salobra no período úmido e o reservatório São Domingos, localizado a jusante, salgado em todo o período.

Esses limites espaciais da classificação em águas doces, salobras e salgadas são dinâmicos entre os períodos seco e úmido. No período úmido o trecho de água doce recuou por causa da contribuição de afluentes com elevada salinidade. No período seco esses afluentes, por serem intermitentes, não atingem o rio Jacuípe, e a concentração de sais só aumenta devido à evaporação, o que no período estudado ocorreu em menores proporções em comparação com a influência apresentada pelos afluentes.

Diante desses resultados, conclui-se que salinização de rios e reservatórios do semi-árido tem duas dinâmicas diferenciadas por período úmido e seco. No período seco, a elevada taxa de evaporação típicas da região é o agente principal no processo de salinização desses mananciais, enquanto que no período úmido o aporte de sais é proveniente de afluentes salgados ou de sais presente no solo carregado pelas chuvas para os corpos d'água. A investigação e entendimento dessas dinâmicas devem nortear medidas para minimizar o processo de salinização das águas do semi-árido.

AGRADECIMENTO

À Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia – SRH/Ba, pela parceria na coleta das amostras na área de estudo, ao CT-HIDRO, à FINEP e à FAPESB pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

- BAHIA (1996). Superintendência de Recursos Hídricos. Plano Diretor de Recursos Hídricos do Médio e Baixo Paraguaçu. Salvador.
- BAHIA (2005). Superintendência de Recursos Hídricos. Relatório do Programa de monitoramento definitivo da Barragem de São José do Jacuípe – Volume I. Salvador.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005.
- COSTA, R.G.; GHEYI, H.R. (1984). Variação da qualidade de água de irrigação da microrregião de Catolé do Rocha, PB. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 19,n.8,p.1021-1025.
- FEITOSA, A.C.; MANOEL FILHO, J. (1997). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE,.
- HAAN, C. T. (1977). *Statistical Methods in Hydrology*. THE IOWA STATE UNIVERSITY PRESS Ames - IA, 378p.
- LARAQUE, A. (1989). Estudo e previsão da qualidade da água de açudes do nordeste semi-árido brasileiro. Recife: SUDENE. (Série Hidrologia/26).
- LEPRUN, J. C. (1988). Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do nordeste brasileiro. Recife: SUDENE.
- LOGAN, J. (1965). Interpretação de Análises Químicas da Água. U.S.Agency for International Development: Recife.
- QUEIROZ, G. H. (2000). Salinização em açudes no município de Tauá-CE. Dissertação de Mestrado. UFCE: Fortaleza.
- SANTIAGO, M. M. F. Mecanismos de salinização em regiões semi-áridas. estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará. Tese de Doutorado. USP: São Paulo, 1984.
- SILVA JR. L.G.A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. (1999). Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol 3, n. 1, p. 11-17. UFPB: Campina Grande.
- SUASSUNA, J.; AUDRY, P. (1992). Estudo da salinidade das águas de irrigação das propriedades do GAT e sua evolução sazonal (1988-1989), CNPq. Recife.