

Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense¹

Cluster analysis as management support of groundwater quality in the Semiarid region of Ceará

Francisco Bergson Parente Fernandes², Eunice Maia de Andrade³, Sávio de Brito Fontenele⁴, Ana Célia Maia Meireles⁵, José Alberto Ribeiro⁶

Resumo - Entre os grandes desafios na gestão da qualidade das águas pode-se citar o elevado custo do monitoramento e a alta variabilidade espacial e temporal dos elementos determinantes da qualidade da mesma. Sendo assim, desenvolveu-se um estudo para identificar a similaridade das águas subterrâneas da bacia do Banabuiu com o objetivo de oferecer suporte ao monitoramento e a gestão da qualidade da água no semiárido cearense. Para tanto, empregou-se a técnica de estatística multivariada, análise de agrupamento em dados de qualidade de 66 poços cadastrados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Foram investigados os seguintes atributos: Cálcio (Ca^{++}), Cloreto (Cl^-), Potássio (K^+), Magnésio (Mg^{++}), Nitrato (NO_3^-), Alumínio (Al^{+++}), Sulfato (SO_4^-), Sódio (Na^+) e Dureza Total. Os atributos investigados uniram os poços em três grupos estatisticamente distintos ao nível de significância de 5%. Os íons Cloreto, Magnésio, Potássio, Sódio e a Dureza Total foram determinantes na definição dos grupos. Para um nível de significância de 1% os grupos similares são definidos somente pelo Cloreto e o Potássio. Os resultados mostraram um bom potencial desta ferramenta no monitoramento e suporte a gestão da qualidade das águas em bacias hidrográficas no semiárido, pelo seu potencial em agrupar as amostras similares.

Palavras-chave - Constituintes iônicos. Gestão. Qualidade de água. Semiárido.

Abstract - Among the challenges of water quality management can be cited the high cost of monitoring and the high spatial and temporal variability. Considering these points, a study of ground water quality similarity was developed with the aim to give a support in the management and monitoring water quality programs in the Banabuiu watershed, Ceará, Brazil. To do this, multivariate statistics was applied to a set of wells (66) registered at Serviço Geológico do Brasil (CPRM). We analyzed the following attributes: Calcium (Ca^{++}), chloride (Cl^-), Potassium (K^+), Magnesium (Mg^{++}), Nitrate (NO_3^-), Aluminum (Al^{+++}), Sulphate (SO_4^-), Sodium (Na^+) and Total Hardness. The investigated variables put together the wells in three similar groups at a 5% level of significance. Groups were defined by the following ions: Calcium, Magnesium, Potassium, Sodium and Total Hardness. The results demonstrate that this tool showed a strong potential for monitoring and supporting the management of water quality in watersheds in the semiarid region due to its potential to group similar samples.

Key words - Ionic constituents. Management. Water quality. Semi arid.

¹Recebido em 16/11/2010 e aprovado em 28/12/2010.

²Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Campus do Pici, Av. Mister Hull s/n, bloco 804, Fortaleza-CE, bergsonf@oi.com.br

³Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, eandrade@pq.cnpq.br

⁴Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, sbfontenele@yahoo.com.br

⁵Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, ameireles2003@yahoo.com.br

⁶CPRM-Área de Fortaleza (Hidrogeologia), j.alberto@fo.cprm.gov.br

Introdução

O semiárido brasileiro encontra-se localizado em quase toda região nordeste e tem como principais características diferenciadas das demais regiões a sua climatologia e a depressão sertaneja, composta pela diversidade das suas unidades geoambientais (EMBRAPA, 1993). Os componentes decorrentes destas unidades geoambientais no território, apresentam-se de forma diferenciada pela evolução dos vários processos através do tempo e pela interação diversificada dos fenômenos que ocorreram e ocorrem nesta complexa matriz. Entre estes, destacam-se como importante, os processos hidrológicos, onde a qualidade dos recursos hídricos se apresenta como uma variável vulnerável e sensível às constantes mudanças do ambiente. Sua escassez e qualidade no semiárido tem sido objeto de estudos (SANTIAGO *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 2006; FUNCEME, 2002).

Os componentes químicos presentes na água são variáveis e apresentam correlações com as características específicas de cada ambiente, sujeitas a constantes mudanças que ocorrem nos diversos sistemas ambientais pela ação antrópica (KAZI *et al.*, 2009; GASTALDINI; MENDONÇA, 2001).

O cenário dos impactos das mudanças climáticas no Ceará aponta para uma alteração das precipitações com uma tendência de redução, afetando a disponibilidade dos recursos hídricos e seus efeitos diretos no balanço hídrico, escoamento e fluxo dos rios (KROL; BRONSTERT, 2007). Estas dinâmicas do clima por sua vez alteram os processos hidrológicos, dificultando a avaliação dos impactos na química da água tornando-os impossibilitados de serem estudados isoladamente (McNEILA *et al.*, 2005).

Uma alternativa de modelo para uma gestão integrada de recursos hídricos está fundamentada nos seguintes princípios: organização de dados e informações e um sistema de monitoramento a partir de análises da qualidade da água, do uso e ocupação do solo e de mapas temáticos (FULLER, 2008).

Como ferramenta de suporte a este modelo de gestão apresenta-se a estatística da análise multivariada, a qual vem sendo adotada nas últimas décadas. Esta tem como qualidade a investigação dos dados sem desconsiderar o caráter multivariado do processo (PARINET *et al.*, 2004; YIDANA *et al.*, 2008; MARENCO *et al.*, 2008; VIDAL, 2007).

A análise de agrupamento é uma técnica de classificação dentro das multivariadas que tem sido utilizada individualmente ou em conjunto com outras técnicas para amostras com um limitado tamanho (McNEILA *et al.*, 2005). Esta técnica tem como princípio, a identificação das características dos objetos pelas similaridades dos

parâmetros processados. Pelos resultados obtidos em diversos estudos, a mesma se apresenta como uma eficiente ferramenta em estudos na qualidade da água (OLIVEIRA, 2009; ANDRADE *et al.*, 2005; PALÁCIO *et al.*, 2009).

Neste sentido, aplicou-se a ferramenta estatística de análise multivariada, por meio da técnica do agrupamento hierárquico, objetivando investigar a sua aplicabilidade como um instrumento de monitoramento e suporte a gestão da qualidade da água subterrânea em bacias hidrográficas do semiárido cearense.

Material e métodos

Área de estudo

A área selecionada foi a bacia do rio Banabuiú, estado do Ceará, por compreender, essencialmente, a região do estado do Ceará mais fortemente submetida aos rigores da semiaridez. O clima da região é do tipo BSw'h' – semiárido quente com precipitações de outono e temperaturas médias mensais sempre superiores a 18°C. A média pluviométrica anual aproxima-se dos 725,4 mm, concentrada entre os meses de fevereiro a abril. A altitude da bacia hidrográfica do Banabuiú estende-se de uma altura máxima de 725 m até 89 m na sua confluência com o rio Jaguaribe. Os rios e riachos são intermitentes (sazonais) ou efêmeros. Suas águas subterrâneas se apresentam com baixo potencial, sendo sua maior disponibilidade ocorrendo na maioria dos casos em sistemas de fraturas (CEARÁ, 2009). Para a realização do trabalho, foram utilizadas as informações dos poços subterrâneos cadastrados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na bacia do Banabuiú (Figura 1). Dos 212 poços com análises da qualidade da água, somente 66 foram selecionados por apresentarem os maiores números de constituintes iônicos investigados presentes nas amostras.

O padrão geológico da bacia é simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino (96,53%), representadas por gnaisses migmatitos diversos, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica. As litologias do embasamento cristalino são recobertas por solos rasos onde há maior ocorrência de Neossolos Litólicos, Planossolos e Vertissolos e nos Aluviões, os Neossolos Flúvicos, com grande potencial agrícola (CEARÁ, 2009).

As investigações realizadas neste trabalho se fundamentaram nos seguintes atributos: Cálcio (Ca⁺⁺), Cloreto (Cl⁻), Potássio (K⁺), Magnésio (Mg⁺⁺), Nitrato (NO₃⁻), Alumínio (Al⁺⁺⁺), Sulfato (SO₄⁻), Sódio (Na⁺) e Dureza Total. As amostras de água foram coletadas no período de 1995-2009 em todos os meses do ano, sendo a maioria de junho a novembro. As análises foram realizadas nos laboratórios da

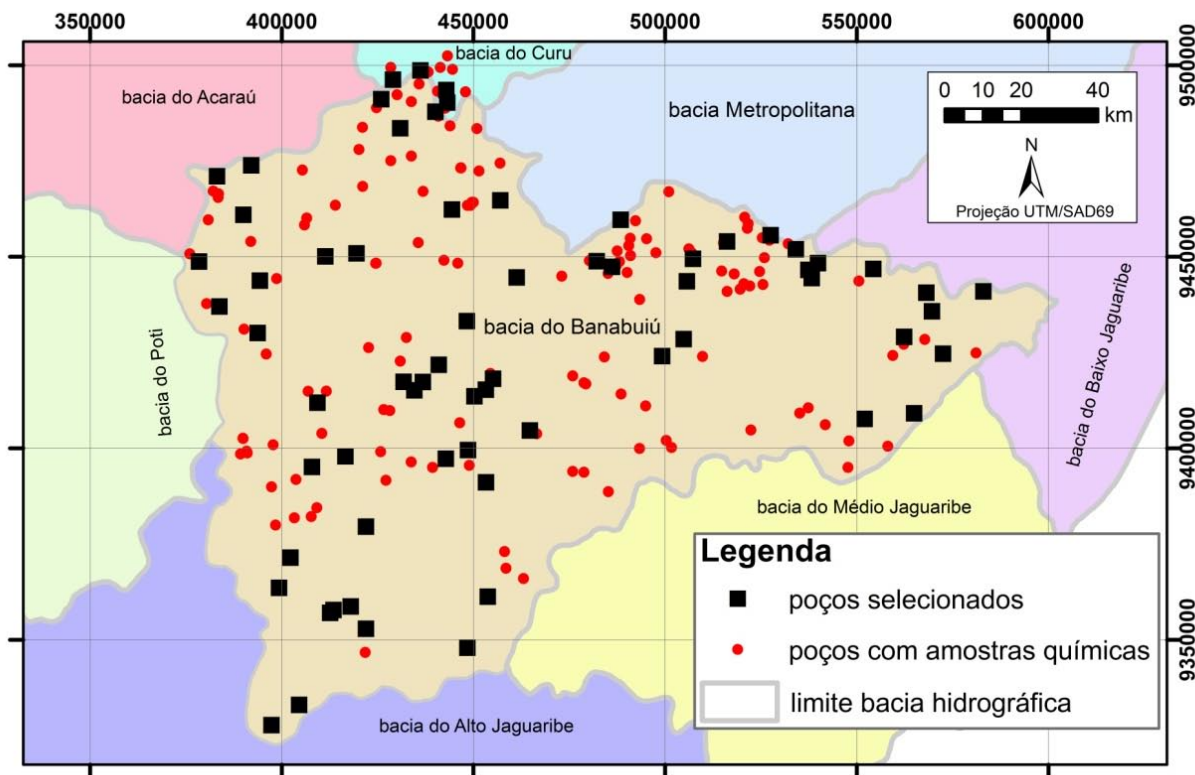


Figura 1 - Localização dos poços investigados no estado do Ceará

CAGECE, SEMACE, NUTEC e Ambiente.

As investigações de campo foram realizadas com o objetivo de conhecer o solo bem como o seu uso e ocupação. Observou-se, ainda, as diferentes paisagens compostas por vegetação, relevo, modelos de exploração (tipologia de agricultura), além de informações da população sobre a qualidade da água e seus devidos usos.

Para agrupar espacialmente os diferentes poços com concentrações similares dos constituintes iônicos presentes nas amostras empregou-se a análise da estatística multivariada, pela análise de agrupamento hierárquico. O processamento das informações foi efetuado pelo software SPSS, versão 16.0. Para se eliminar o efeito de escala e unidades, a padronização dos dados processados foi realizada com a conversão das variáveis para escores padrões (Z escore).

O algoritmo de agrupamento empregado foi o *ward's method* pela sua grande eficiência em combinar um pequeno número de amostras com um mesmo número de observações. A distância de similaridade empregada foi a Euclidiana ao quadrado. O resultado deste procedimento é apresentado por meio de um dendrograma. O ponto de corte do dendrograma, para definir o número de grupos fundamentou-se na técnica apresentada por (CORRAR *et al.*, 2009) em que o corte ocorre no momento em que a distância reescalada do coeficiente de aglomeração

apresenta a maior variação. Os grupos formados pela técnica do agrupamento tiveram suas médias comparadas pelo teste t de Student aos níveis de 5% e 1% ambos após a execução da análise de variância.

Resultados e discussão

O resultado do processamento das análises das amostras de água dos poços pode ser visualizado no dendrograma (Figura 2). O ponto de corte da distância reescalada do coeficiente da aglomeração, para definição dos grupos ocorreu ao valor calculado entre às distâncias de 7,48 e 9,34. Pelo ponto de corte formou-se três grupos, sendo o grupo 1 composto por 48 poços, o grupo 2 por 11 poços e o grupo 3 por 7 poços. Observa-se pelo dendrograma que a maior similaridade foi registrada entre os poços que compõem o grupo 1, sendo o segundo e o terceiro os mais heterogêneos.

A similaridade ou dissimilaridade entre os grupos definidos pelo ponto de corte no dendrograma podem ser melhor analisadas e interpretadas por meio da Tabela 1.

A partir da formação dos grupos, procurou-se ainda investigar, qual ou quais dos atributos da qualidade da

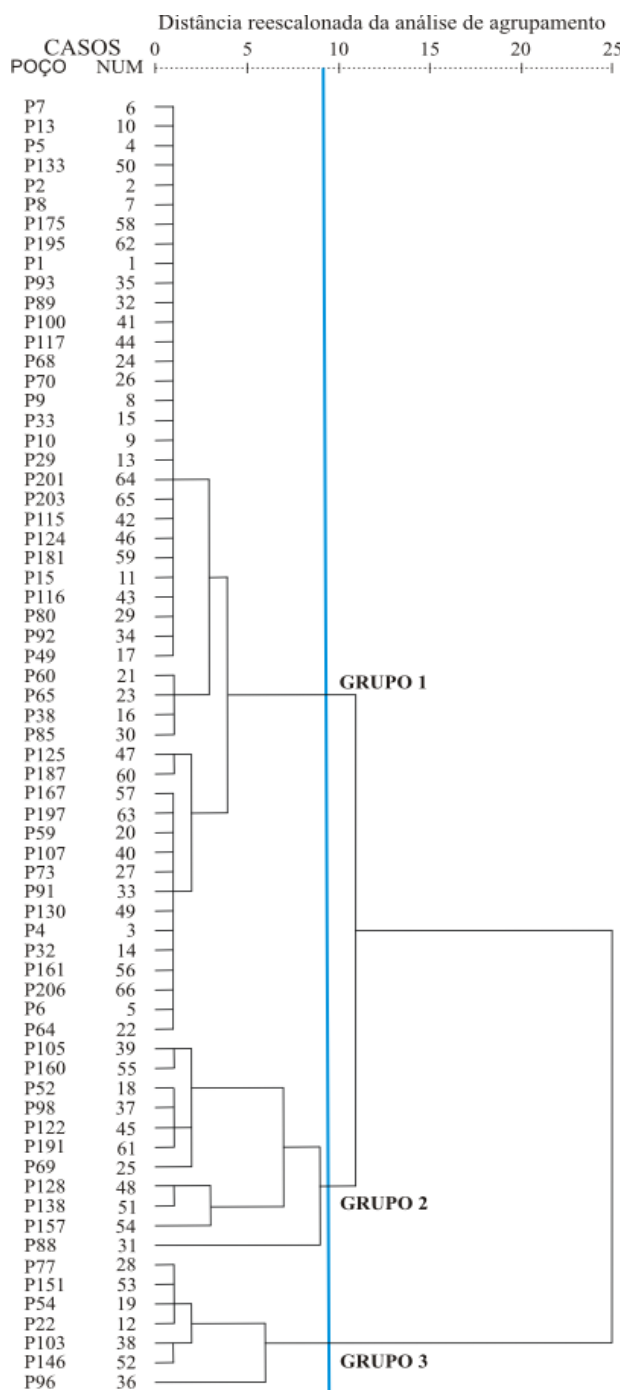


Figura 2 - Similaridade das concentrações iônicas das águas dos poços localizados na bacia do Banabuiú, Ceará

água foram os que mais influenciaram para os resultados destes agrupamentos, uma vez que, pela grande e significativa variação dos valores entre as médias dos atributos, fica difícil diferenciar quais destes, foram mais significativos ao ponto de influenciar na separação, pelo valor de suas concentrações. Assim, as águas dos 48

poços que compõem o grupo 1 apresentaram os menores valores das concentrações médias de 7 atributos à exceção dos atributos da Alcalinidade Total e do Cálcio, os quais não se mostraram significativos na separação dos grupos. Da mesma forma, o grupo dois apresentou os valores médios intermediários das concentrações dos referidos atributos, à exceção da Alcalinidade total e do Cálcio e, o grupo três, notoriamente com as maiores médias das concentrações dos atributos.

O Cloreto, o Magnésio, o Potássio, o Sódio e a Dureza Total diferiram entre os grupos ao nível de significância de 5% (Tabela 1), sendo os mesmos, portanto, os atributos determinantes da dissimilaridade da qualidade das águas dos poços estudados na Bacia do Banabuiú. Silva *et al.* (2007) identificaram o Cloreto, o Sódio e a Dureza Total como os atributos limitantes da qualidade da água mais presentes nos poços do cristalino do semiárido. Porém, quando se efetua a investigação ao nível de 1% de significância, identifica-se que somente o Cloreto e o Potássio apresentaram diferenças entre todos os grupos.

A importância da concentração de cada atributo pode ser claramente observada, a partir dos resultados do teste de significância, quando do aumento do rigor em relação à probabilidade do erro de 0,05 para 0,01 como mostrado no exemplo anteriormente.

A variabilidade dos atributos determinantes da qualidade das águas é definida pelas condições naturais do clima, da geomorfologia e geoquímica do ambiente, bem como pelo uso e ocupação do solo. (GASTALDINI; MENDONÇA, 2001; FULLER, 2008). Portanto investigações sobre a qualidade das águas a nível de bacias hidrográficas devem ser desenvolvidas com uma visão multidisciplinar, onde as inter-relações entre o ambiente, uso da terra e qualidade da água sejam investigadas conjuntamente. Tal fato permitirá um melhor entendimento da contribuição de cada fator sobre os recursos hídricos (PAIVA, 2001).

Relevo (declividade)

O mapa do relevo (Figura 3) mostra os poços do grupo 2 e 3, inseridos no final do terço inferior da bacia à exceção de um único poço do grupo 3 situado na parte mediana da bacia. Isto pode caracterizar o efeito da declividade na velocidade do escoamento das águas nos períodos de picos e sua estabilidade no final, favorecendo uma significativa concentração dos constituintes iônicos nestas áreas.

Pelas análises de todos os resultados apresentados, observa-se que cada unidade do ambiente em questão pode ter contribuído de uma forma ou de outra para o aumento das concentrações dos constituintes iônicos da qualidade da água nos poços do grupo 2 e 3 (GASTALDINI;

Tabela 1- Média, desvio padrão, valores máximo e mínimo dos atributos investigados nas águas dos poços da bacia do Banabuiú, Ceará definidos pela análise de agrupamento

Atributos (mg L ⁻¹)	Estatística	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Alcalinidade total	Média*	375,4 ± 170,3 a	209,6 ± 151,8 b	313,2 ± 105,5a
	Mínimo	39,0	41,8	187,4
	Máximo	1.018,5	491,6	484,5
Cálcio	Média	130,6 ± 115,0 a	590,9 ± 1.298,4 b	460,8 ± 363,9 a
	Mínimo	9,6	33,7	52,3
	Máximo	457,7	4487,8	1167,0
Cloreto**	Média	586,2 ± 513,0 a	1.491,6 ± 628,8 b	4.506,8 ± 254,6 c
	Mínimo	52	493,0	2554,4
	Máximo	2.508	2470,9	8922,0
Dureza total	Média	717,9 ± 533,3 a	1.383,9 ± 606,8 b	3.517,0 ± 1.704,1 c
	Mínimo	86,6	390,0	1306,5
	Máximo	2360,0	2300,0	6796,0
Magnésio	Média	99,5 ± 71,9 a	199,1 ± 118,8 b	531,6 ± 252,0 c
	Mínimo	10,0	32,9	226,5
	Máximo	316,8	425,1	944,0
Nitratos	Média	5,8 ± 6,4 a	34,8 ± 27,1 b	6,31 ± 7,9 a
	Mínimo	0,0	0,4	0,4
	Máximo	27,4	83,0	23,0
Potássio **	Média	11,5 ± 8,3 a	27,9 ± 18,1 b	50,3 ± 18,6 c
	Mínimo	1,9	6,0	27,1
	Máximo	44,3	70,0	79,1
Sódio	Média	224,0 ± 147,2 a	440,8 ± 258,6 b	1.393,4 ± 822,9 c
	Mínimo	50,0	13,1	919,2
	Máximo	836,0	797,0	2.740,0
Sulfato	Média	50,2 ± 49,4 a	253,7 ± 303,5b	102,2 ± 102,9 ab
	Mínimo	0,0	8,4	7,6
	Máximo	208,0	968,0	287,6

* - médias não seguidas por mesma letra entre os grupos dentro de cada variável, diferem pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade de erro. ** - Nível de significância a 1%

MENDONÇA, 2001; FULLER, 2008).

Pelo exposto, os resultados mostram a complexidade de interpretação dos diversos impactos a que estão submetidos os processos hidrológicos na bacia do Banabuiú e a dificuldade de processar estas informações resultantes de todos os componentes do ambiente que compõem a bacia do Banabuiú.

Litologia

O embasamento do cristalino é a litologia predominante do Ceará e apresenta como limitação a alta resistência à infiltração, sendo esta acontecendo somente em fraturas/fissuras. A qualidade da água oriunda destas

fraturas está ligada aos componentes iônicos decorrentes das precipitações, dos materiais diversos da atmosfera e o conteúdo dissolvido nas águas do substrato. O estudo desta matriz iônica é fundamental para ações de planejamento deste recurso (SILVA *et al.*, 2007).

Pela Figura 4 observa-se que os poços estão localizados em diferentes áreas geológicas, dando à tendência de que a qualidade da água nestas localidades tem na climatologia (precipitações e distribuição de chuvas) uma grande associação, o que pode ser visto pela alta concentração do cloreto.

A origem dos sais na água subterrânea está

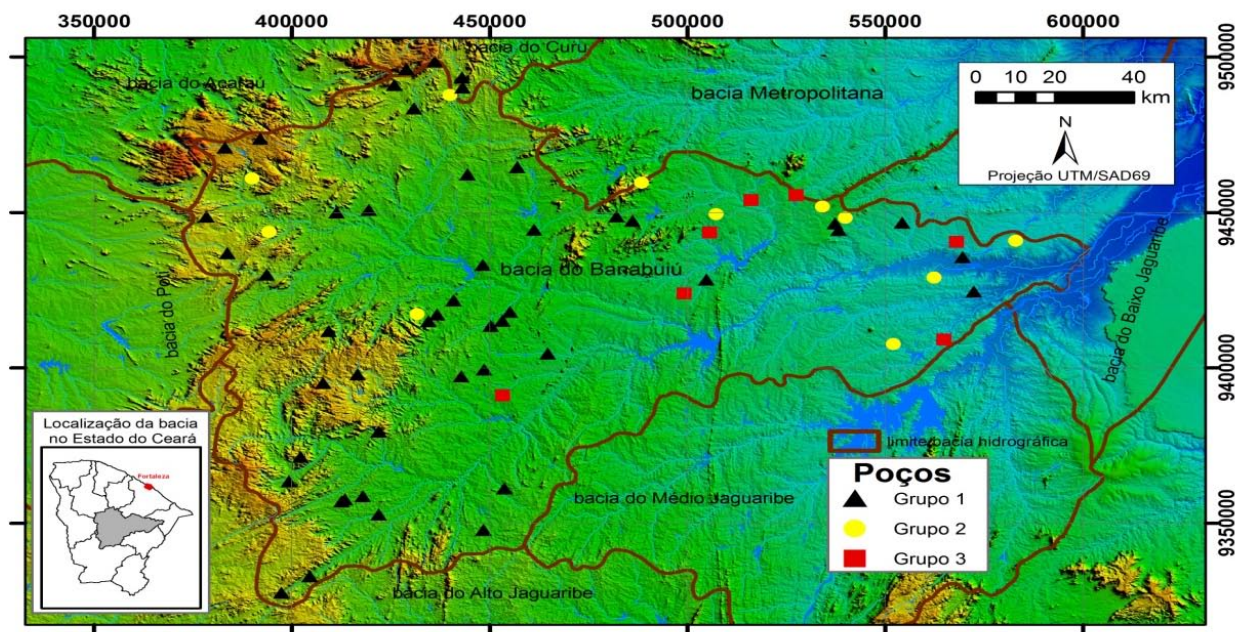


Figura 3 - Mapa do relevo da bacia hidrográfica do Banabuiú, Ceará. Fonte: SRTM-NASA(2000) e CPRM(2000)

associada à chuva e à dissolução das rochas do aquífero. Estes sais por sua vez têm seu aumento ocasionado pelo efeito da evaporação (SOUZA FILHO *et al.*, 2004)

Estudos no cristalino do semiárido revelaram águas novas, com poucas dezenas ou centenas de anos de tempo de permanência nos aquíferos. A alta salinidade está relacionada à pluviometria através dos sais (aerossóis) transportados pelas chuvas e acumulados nos solos e fraturas. No cristalino não existe uma rede contínua do fluxo regional. Nestes poços muitas vezes são observadas grandes diferenças de salinidade de uma fratura para outra. A alta evaporação favorece o aumento da concentração de sais. (BRASIL, 2005).

Tipologia do Solo

O embasamento cristalino na bacia do Banabuiú é recoberto por solos rasos onde há maior ocorrência de solos Neossolos Litólicos, Planossolos e Vertissolos e nos Aluviões os solos Neossolos Flúvicos, com grande potencial agrícola (CEARÁ, 2009).

O mapa de solos (Figura 5) evidencia a presença destes solos na bacia do Banabuiú e acrescenta ainda quando da plotagem dos poços no mapa, que praticamente todos os poços classificados como 2 e 3, ou seja, os que apresentaram as maiores concentrações dos constituintes iônicos estão alocados nos Planossolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos. Os dois primeiros solos apresentam como características uma baixa permeabilidade e má

drenagem ocasionando, portanto problemas de infiltração. Estes podem normalmente contribuir para um aumento do sódio nestas áreas, tornando-os vulneráveis e passíveis de sua contribuição as águas subterrâneas. Da mesma forma, os solos Neossolos Flúvicos (Aluviões) pela constante exploração da irrigação incipiente por parte dos agricultores, também podem contribuir para o aumento do sódio nestes solos.

Uso e Ocupação do Solo

O impacto decorrente da alteração do uso do solo reflete em todos os componentes do ciclo hidrológico, bem como na recarga dos aquíferos e na qualidade da água. As atividades antrópicas, a falta de saneamento, a agricultura, os resíduos sólidos, a indústria e tantas outras atividades representam riscos aos aquíferos e a qualidade da água (BRASIL, 2005).

Através da Figura 6 observam-se que os poços componentes dos grupos 2 e 3 encontram-se exatamente inseridos nas áreas de predominância da agricultura e da pecuária intensiva (AQUINO, 2008). Esta localização pode estar influenciada pela ação destas atividades agropecuárias.

Isto não exclui os poços do grupo 1 que também estão inseridos nestas áreas, apesar da ocorrência de outras inserções dentro da área da bacia. Para estes casos, foram observadas no campo duas diferentes situações: na primeira, os poços foram alocados nas áreas com manchas de associações de solos (aglomerados de solos

com características diferenciadas do padrão pela presença de outros materiais), como foi o caso das comunidades de Guarujá e Lagoa da Pedra, ambas localizadas em solos arenosos no entorno de uma área de predomínio de Neossolos litólicos, as quais não podem ser observadas no mapa devido à escala do mesmo. A segunda situação é dos poços estarem locados em uma área que ainda não foi totalmente afetada pelas condições externas.

Determinar qual setor (relevo, solos, uso e ocupação e logicamente o clima) da bacia que mais contribuiu para o aumento dos atributos da qualidade da água, fica extremamente difícil pela complexidade destas inter-relações em decorrência das características multivariadas. Para tanto é necessário investigações complementares de um conjunto de informações das diversas áreas correlacionadas. Isto sem levar em consideração um

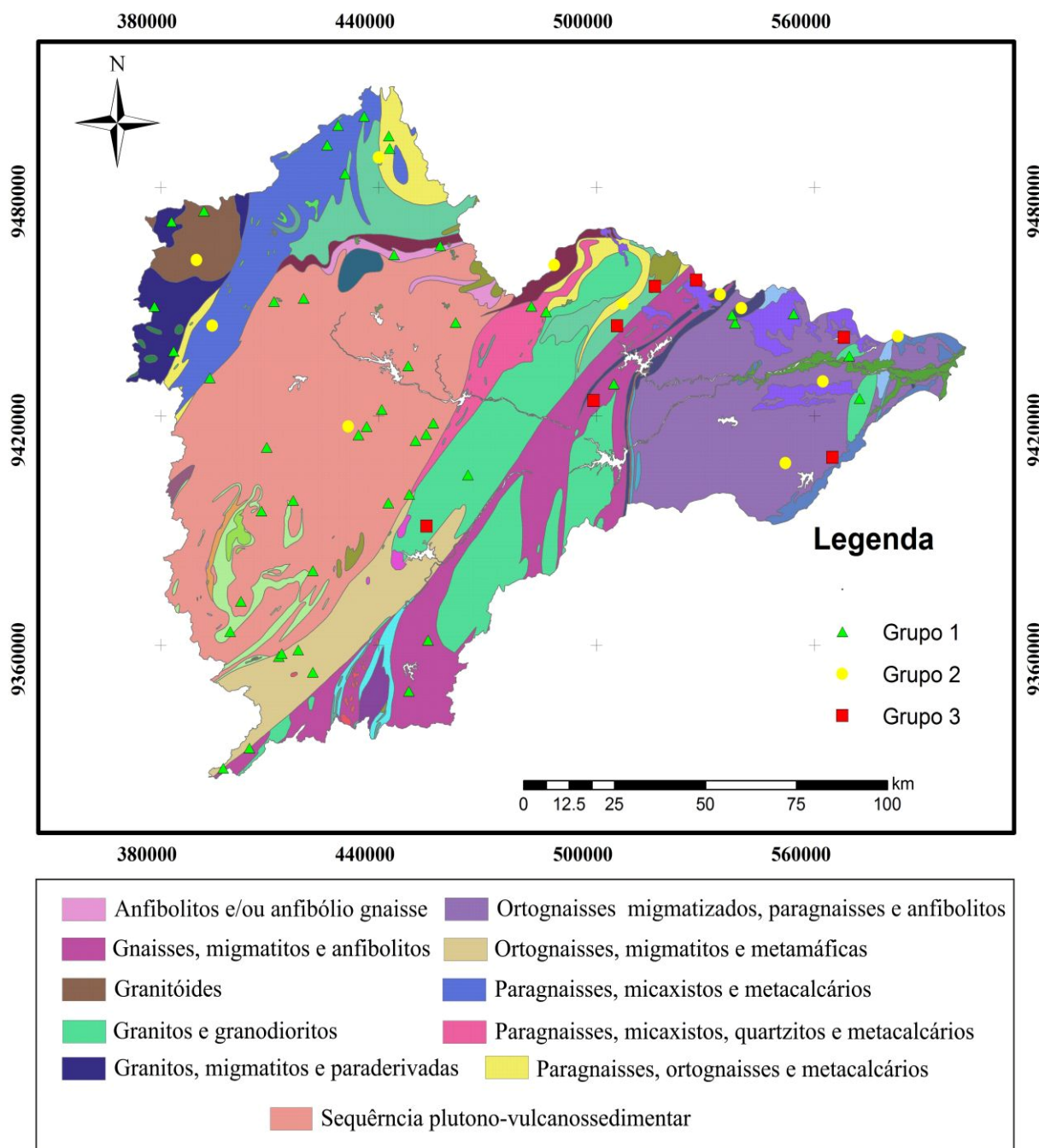


Figura 4 - Mapa da geologia da bacia do Banabuiú, Ceará. Fonte: CPRM(2003)

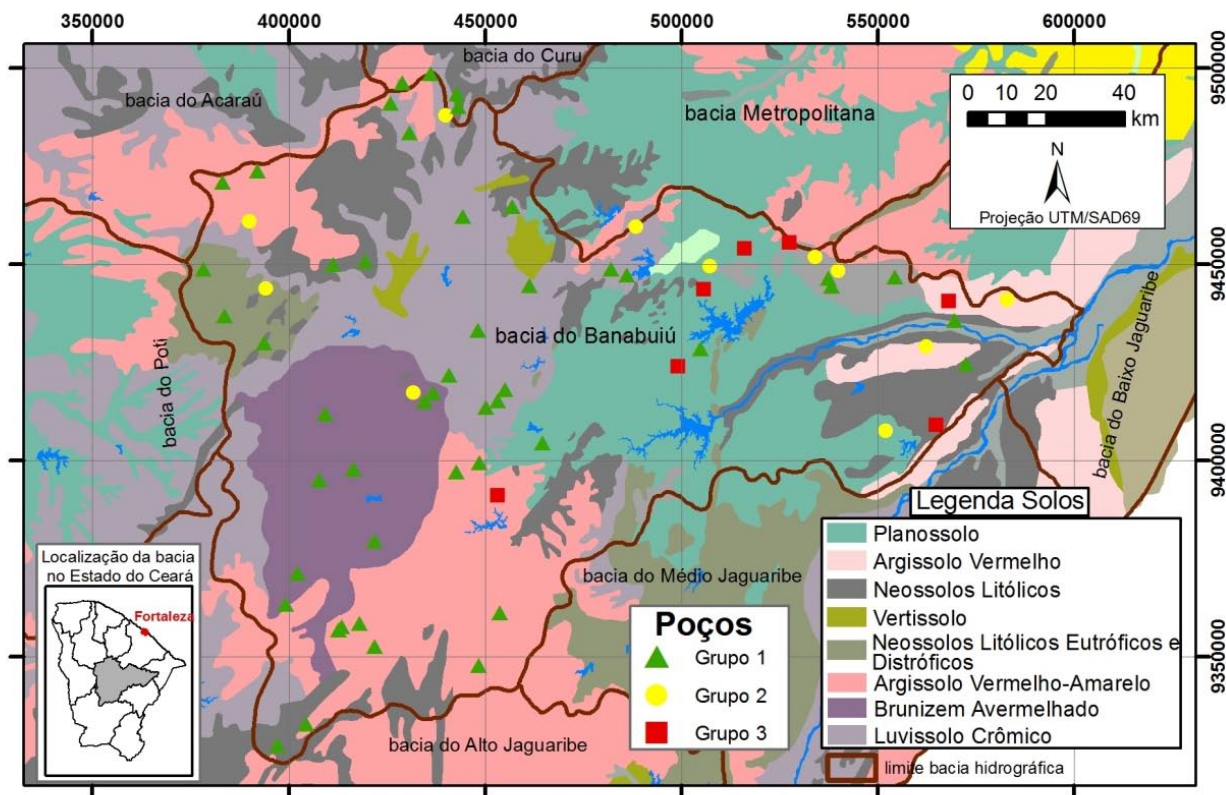


Figura 5 - Mapa dos solos da bacia do Banabuiú, Ceará. Fonte: M.A.(1972) e CPRM(2000)

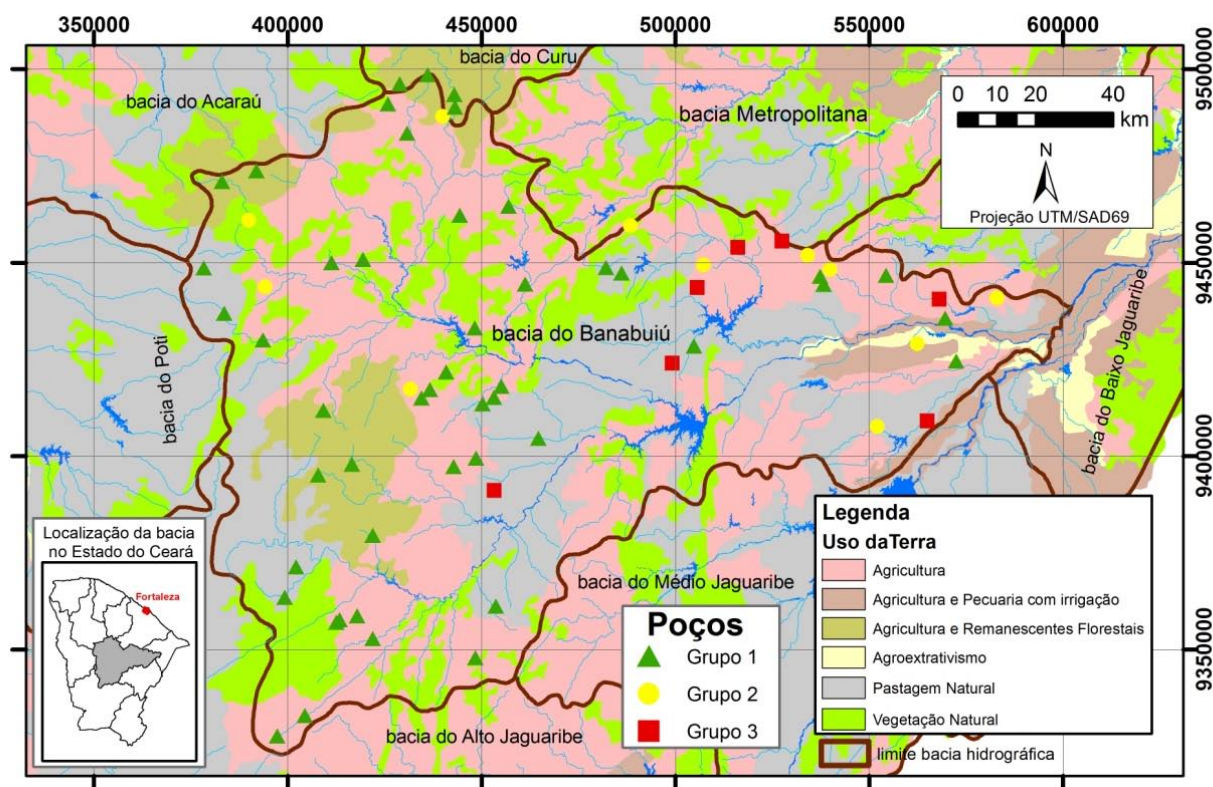


Figura 6 - Mapa do uso e ocupação do solo da bacia do Banabuiú, Ceará. Fonte: FUNCEME(1994) e CPRM(2000)

processador destes dados acoplados com as devidas informações georreferenciadas no espaço, como é o caso do presente estudo.

A estatística multivariada pelo emprego da técnica do agrupamento hierárquico demonstra a capacidade de processar analiticamente todas as informações dos resultados das análises laboratoriais, mostrando para cada poço o efeito resultante de todas estas contribuições. Esta capacidade em processar tais informações, fortalece o uso desta ferramenta como um instrumento de trabalho preciso, dinâmico e de extrema rapidez no processamento das análises laboratoriais.

Conclusões

O uso da estatística da análise multivariada, pelo emprego da técnica dos agrupamentos hierárquicos, mostrou-se bastante eficiente quanto à capacidade em processar de forma dinâmica e com resultados confiáveis, uma expressiva quantidade de dados diferenciados quimicamente.

Sua aptidão, como uma ferramenta de suporte ao monitoramento e gestão da qualidade das águas no semiárido, esta fortemente atrelada a sua extrema sensibilidade e qualidade em agrupar amostras similares de análises químicas de qualidade da água pelos valores de suas concentrações.

Esta competência de medida dos diversos valores dos diferentes componentes do conteúdo da água potencializa ainda mais esta ferramenta como suporte ao monitoramento e na gestão da qualidade da água quando possibilita agregar-se a outros métodos estatísticos na identificação dos principais atributos, cujas concentrações são significativas para a classificação das diferentes tipologias de água.

Agradecimentos

A CPRM e FUNCEME pelas informações e a busca pela melhoria e atualização dos mesmos, com o fim de melhor servir a população do semiárido nordestino na melhoria da qualidade da água nas regiões do cristalino.

Literatura científica citada

BRASIL. ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Brasília-DF. ANA. 2005.74p.

ANDRADE, E. M. *et al.* Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 36, n. 2, p. 135-142, 2005.

AQUINO, D. N. *et al.* Impacto do manejo da irrigação sobre os recursos solo e água. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, p. 225-232, 2008.

CEARÁ. Caderno regional da sub-bacia do Banabuiú – Fortaleza-Ceará: INESP, v.2, 2009.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; FILHO, J. M. D. Análise Multivariada para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia. 1. ed. 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2009. 541 p.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico.** Petrolina/PE: EMBRAPA-CPATSA, 1993, n. 2, v. 1, mapa, p. 80.

FULLER, B. B. **Caracterização espaço-temporal dos recursos hídricos superficiais da sub-bacia do ribeirão do Ouro.** Araraquara, São Paulo. 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Centro Universitário de Araraquara – UNIARA. Araraquara.

FUNCEME. **Estudo da salinidade das águas em pequenas bacias hidrográficas.** Relatório final. Fortaleza, CE: SRH/Funceme/ Proureb-RH. Março, 2002.

GASTALDINI, M. C. C.; MENDONÇA, A. S. F. Conceitos para a avaliação da qualidade da água. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** 1 ed. Porto Alegre, RS: ABRH, 2001. Cap. 15, p. 428-51.

KAZI, T. G. *et al.* Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Pakistan. Ecotoxicology and environmental safety*. n. 72, p. 301-309, 2009.

KROL, M. S.; BRONSTET, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modeling & Software*. n. 22, p. 259-268, 2007.

MARENGO, E. *et al.* A. Statistical analysis of ground water distribution in Alessandria Province. *Piedmont-Italy. Microchemical Journal*. n. 88, p. 167-177, 2008.

McNEILA, V. H.; COXA, M. E.; MICAELA, P. Assessment of chemical water types and their spatial variation using multi-stage cluster analysis, Queensland - Australia. *Journal of Hydrology*. n. 310, p.181-200, 2005.

OLIVEIRA, L. J. **Sustentabilidade do modelo agrícola: um estudo de caso.** Fortaleza, Ceará. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

PALÁCIO, H. A. Q. *et al.* Salinidade da qualidade das águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. Fortaleza-Ceará. *Ciência Rural*, v. 39, n. 9, p. 2494-2500, 2009.

PAIVA, E. M. C. D. Rede de monitoramento hidrológico. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** 1 ed. Porto Alegre, RS: ABRH, 2001. Cap. 17, p. 493-506.

PARINET, B.; LHOTE, A.; LEGUBE, B. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management- application a tropical lake system. **Ecological Modelling**. n. 178, p. 295-311, 2004.

PEREIRA, L. *et al.* A salinidade das águas superficiais e subterrâneas na bacia da gameleira, município de Aiuaba-CE. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 2, p. 9-18, 2006.

SANTIAGO, M. M. F. *et al.* As águas subterrâneas do semiárido no Ceará-Brasil: O município de Tauá. In: Groundwater and human development, 2002, Mar del Prata. VIALHSUD. **Anais...** v.1., p. 294-302. 2002

SILVA, F. J. A; ARAÚJO, A. L; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará - poços instalados e salinidade. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 28, n. 2, p. 136-159, 2007.

SOUZA FILHO, O. A. *et al.* Medidas hidroquímicas nas águas subterrâneas da região de Irauçuba, Norte do Ceará. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Anais...**2004.

YIDANA, S. M.; OPHORI, D.; BANOENG-YAKUBO, B. A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data. The Ankobra basin, Ghana. **Journal of Environmental Management**. n. 86, p. 80-87, 2008.

VIDAL, A. C. **Caracterização Hidroquímica dos compartimentos estruturais da bacia de Taubaté**. Campinas - São Paulo. Dissertação de Mestrado. 128 p., 2007.