

XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

ZONEAMENTO DO POTENCIAL PRODUTIVO NO AQUIFERO CÁRSTICO DA FORMAÇÃO SALITRE, NA MICRO REGIÃO DE IRECÊ

Thiago dos Santos Gonçalves¹; Luiz Rogério Bastos Leal²; Lucas de Queiroz Salles³; Ricardo Galeno Fraga de Araújo Pereira⁴; Hailton Mello da Silva

Resumo - Os aquíferos cársticos apresentam elevadas heterogeneidades quanto a produtividade, acarretando dificuldades na gestão do uso de suas águas pelas entidades gestoras. Na microrregião de Irecê, no Estado da Bahia, suas águas estão inseridas nos vazios das rochas carbonáticas da formação Salitre. Estes vazios, encontram-se condicionados por estruturas de caráter dúctil e rúptil, sendo divididos em cinco domínios. Através da análise exploratória dos dados de capacidade específica (S_c) e profundidade das entradas d'águas, foi possível selecionar os poços que melhor representam cada domínio estrutural. Ao analisar os dados dos poços em função dos seus domínios estruturais, pode-se individualizar regiões produtividades distintas. Onde, o domínio I apresentou-se como o de maior produtividade com valores de S_c , em termos de mediana, em $0,257 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e o domínio V, como o de pior produtividade, com valor de mediana deste parâmetro em $0,038 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Estes valores de capacidade específica também se encontram condicionados a profundidade. Onde, em profundidades acima de 110 metros, como no domínio I, a quantidade de entradas d'água reduz drasticamente. Logo, não observou-se relação entre os domínios estruturais e os padrões de produtividade.

Palavras chave: Capacidade específica e domínios estruturais.

Abstract - *The karst aquifers have high heterogeneities as productivity, resulting in difficulties in managing the use of its waters by fund managers. In the micro-region of Irecê, in the State of Bahia, its waters are inserted into the voids of carbonate rocks of Salitre training. These voids, are conditioned by ductile and brittle character structures, divided into five areas. Through exploratory analysis of specific capacity data (S_c) and depth of entries d'water, it was possible to select the wells that best represent each structural domain. By analyzing data from wells depending on their structural domains, one can distinguish different productivities regions. Where the area I was presented as the highest productivity with S_c values, in terms of median at $0.257 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}$ domain V, as the worst productivity, with a median value of this parameter to $0.038 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}$. These specific capacity values are also conditioned depth. Where at depths in excess of 110 meters as in the area I, the number of entries water reduces drastically. So, not observed relationship between structural domains and productivity standards.*

¹ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geologia – Universidade Federal da Bahia, Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente – Nehma. Rua Barão de Geremoabo, s/nº Campus Universitário de Ondina, CEP: 40.170-020, fone: (71) 32838637.. t.gon@outlook.com.

² Professor no Departamento de Geofísica. – Universidade Federal da Bahia, Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente – Nehma. Rua Barão de Geremoabo, s/nº Campus Universitário de Ondina, CEP: 40.170-020, fone: (71) 32838637. lrogerio@ufba.br.

³ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geologia – Universidade Federal da Bahia, Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente – Nehma. Rua Barão de Geremoabo, s/nº Campus Universitário de Ondina, CEP: 40.170-020, fone: (71) 32838637. lucassales2008@gmail.com.

⁴ Professor no Departamento de Oceanografia. – Universidade Federal da Bahia, Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente – Nehma. Rua Barão de Geremoabo, s/nº Campus Universitário de Ondina, CEP: 40.170-020, fone: (71) 32838637 & TERRAQUATRO Geologia e Meio Ambiente Ltda. ricardo@terraquatro.com.br.

⁵ Professor no Departamento de Geofísica. – Universidade Federal da Bahia, Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente – Nehma. Rua Barão de Geremoabo, s/nº Campus Universitário de Ondina, CEP: 40.170-020, fone: (71) 32838637. hailton@ufba.br.

1.0 Introdução

O semiárido baiano é umas das regiões com os maiores déficits hídrico do Brasil, perfazendo o contexto do “polígono das secas”. Compreender a dinâmica das águas subterrâneas é fundamental nesse contexto, sendo nesta região onde se apresentam sistemas aquíferos de natureza complexa e de difícil quantificação. Dentre esses sistemas aquíferos, os aquíferos cársticos da microrregião de Irecê serão alvos do presente estudo.

A quantidade d’água armazenada por um aquífero cárstico está diretamente associada à porosidade, sendo esta resultante dos processos de carstificação, que atuam continuamente, bem como às estruturas deformacionais, representadas por planos de descontinuidade, dentre os quais destacam-se: planos de foliação, fraturas e falhas. Estas estruturas são favoráveis aos processos de diluição das rochas carbonáticas, que também é condicionado pelo clima. Deste modo, quanto maiores os índices de precipitação e a quantidade de estruturas presentes na rocha, maior será a carstificação e, conseqüentemente, serão maiores a porosidade e a produtividade no aquífero.

Brito Neves e Albuquerque (2004), alertam sobre a falta do conhecimento dos domínios estruturais na definição de sistema aquífero, como um fator que limita uma melhor locação dos poços e gestão de aquíferos na região Nordeste do Brasil.

O reconhecimento das descontinuidades está expresso nas diversas formas de relevo, sendo estas, passíveis de identificação e quantificação, através da análise visual de Modelos Digitais de Superfícies – MDS. Não somente através do relevo são expressas tais descontinuidades, a análise visual nos afloramentos e em lâminas petrográficas podem ser utilizadas para o mesmo fim, porém em escalas de detalhe.

Uma maneira de zonestar a produtividade dos aquíferos cársticos, é através dos testes de bombeamento dos poços. Dentre os parâmetros de destaque, na determinação do potencial hídrico subterrâneo de um aquífero, estão a Capacidade Específica – Sc e a Transmissividade - T . Embora T seja o parâmetro mais utilizado, sua modelagem para os aquíferos cársticos não é concebida por métodos analíticos. De maneira geral, os aquíferos cársticos apresentam elevadas heterogeneidades do ponto de vista hidráulico, assim, a seleção dos poços deve passar por uma rigorosa análise exploratória, com o objetivo de diminuir ao máximo as heterogeneidades, por meio da eliminação dos “poços *outliers*”. Evitando, subestimar ou superestimar a produtividade no aquífero.

Portanto, este trabalho se propõe a zonar as potencialidades hídricas no aquífero cárstico da formação Salitre na região de Irecê. Para este fim, serão utilizados modelos geológicos pré-definidos e dados de Sc existentes.

1.1 Localização e aspectos fisiográficos da microrregião de Irecê

A região em estudo está inserida nas bacias hidrográficas dos rios Santo Antônio, Verde e Jacaré, e fica situada na porção centro Norte do Estado da Bahia, ocupando uma área aproximada de 32.200 Km² (SEI, 2008). Irecê é o município mais influente da região, conferindo o nome “bacia de Irecê” a todo domínio cárstico da porção central da Chapada Diamantina, nos domínios cársticos dessas três bacias hidrográficas. Portanto, conforme representado na figura 1, os limites adotados para a área de estudo foram os seguintes: Norte - a latitude 11°, Sul - latitude 12°30'00”, Leste e Oeste os contatos com as rochas silissiclásticas do grupo Chapada Diamantina.

Os regimes pluviométricos na região, apresentam diferenças significativas. Com precipitações variando de 500 – 600 mm/ano, na poção central, e 800 – 1000 mm/ano na poção sul (SEI, 2008). Vale destacar que as precipitações mais elevadas estão diretamente associadas com as cotas topográficas mais altas, ficando situadas nas regiões próximas dos relevos montanhosos instalados sobre os arenitos e/ou metarenitos do grupo Chapada Diamantina.

A “bacia” de Irecê é constituída pelos litotipos do grupo Una, que é subdividido nas formações Bebedouro e Salitre.

Sedimentos de caráter predominantemente siliciclásticos característicos de sistema deposicional glacial, predominam na formação Bebedouro (GUIMARÃES, 1996). Esta formação, é constituída por rochas de granulometria fina, apresentando baixa permeabilidade ao sistema, sendo assim considerada como um aquitarde, exceto nas situações em que se encontrem muito fraturadas.

Quanto a formação Salitre, é constituída por sequências de calcarenitos, calcilutitos, silixitos, arenitos, siltitos, laminitos e margas, com espessuras máximas de 530 metros (DOMINGUEZ, 1993). Brito Neves *et al.* (1980) e Macedo *et al.* (1984), determinaram a idade aproximada da formação Salitre, através do método Rb/Sr, em 760 Ma, enquadrando estas rochas no Neoproterozóico. Segundo Lagoeiro (1990), a formação Salitre na região de Irecê encontra-se inserida em um cinturão epidérmico de antepaís, relacionado a um evento tardio durante o ciclo Brasileiro, sendo estes superpostos aos sistemas de dobramentos e empurrões da Chapada Diamantina, como representado na figura 1a. Ainda na porção central da bacia, este mesmo autor defende a presença de um sistema de falhas e

dobramentos com eixos orientados, preferencialmente, segundo E-W, predominando dobras em Chevron, de duplo caimento, e abundância em estruturas de interferências do tipo domos e bacias (SOUZA *et al.*, 1993). Ao distanciar-se do centro em direção as bordas leste e oeste da “bacia”, nota-se uma diferença no arcabouço estrutural das rochas da Formação Salitre.

O relevo da região é representado por dois domínios geomorfológicos: o planalto cárstico, que ocupa, aproximadamente, 60% nas porções central e Sul da área estudada, e o pediplano cárstico, ocupando aproximadamente 40% na porção Norte da área (BRASIL, 1981). Esses domínios estão inseridos nas bacias dos rios Verdes, Jacaré e Santo Antônio. O relevo cárstico da região é caracterizado por feições como: dolinas, sumidouros, lapiás, cavernas, vales cegos e zonas de surgências. Essas feições apresentam-se alinhadas aos eixos de dobras e zonas de cisalhamento, na porção central da área, sugerindo controle estrutural da carstificação (SILVA, 2005). Porém, é no domínio Sul onde a carstificação é observada com maior magnitude (GUERRA, 1986). Vale destacar a presença de grandes cavernas, como a Lapa Doce, delineada por vários sistemas de condutos, preferencialmente orientados para NNE com aproximadamente 17 km de extensão (Auler *et al.*, 2001).

Na figura 1, apresenta-se de forma integrada os mapas de localização, geológico, hipsométrico e seções geológicas da região estudada. Sendo destacado alguns elementos nessas figuras, dentre os quais: figura (1.a), divisão das rochas carbonáticas da formação Salitre na região de Irecê em cinco domínios estruturais (LAGOEIRO, 1990); figura (1.b), mapa hipsométrico com destaque para a rede de drenagem e delimitação das bacias dos principais rios da região, principalmente os rios Verde e Jacaré, que se destacam como os principais rios da região; figura (1.c), seção geológica simplificada, mostrando o arcabouço estrutural no eixo longitudinal e latitudinal na borda oeste da bacia de Irecê.

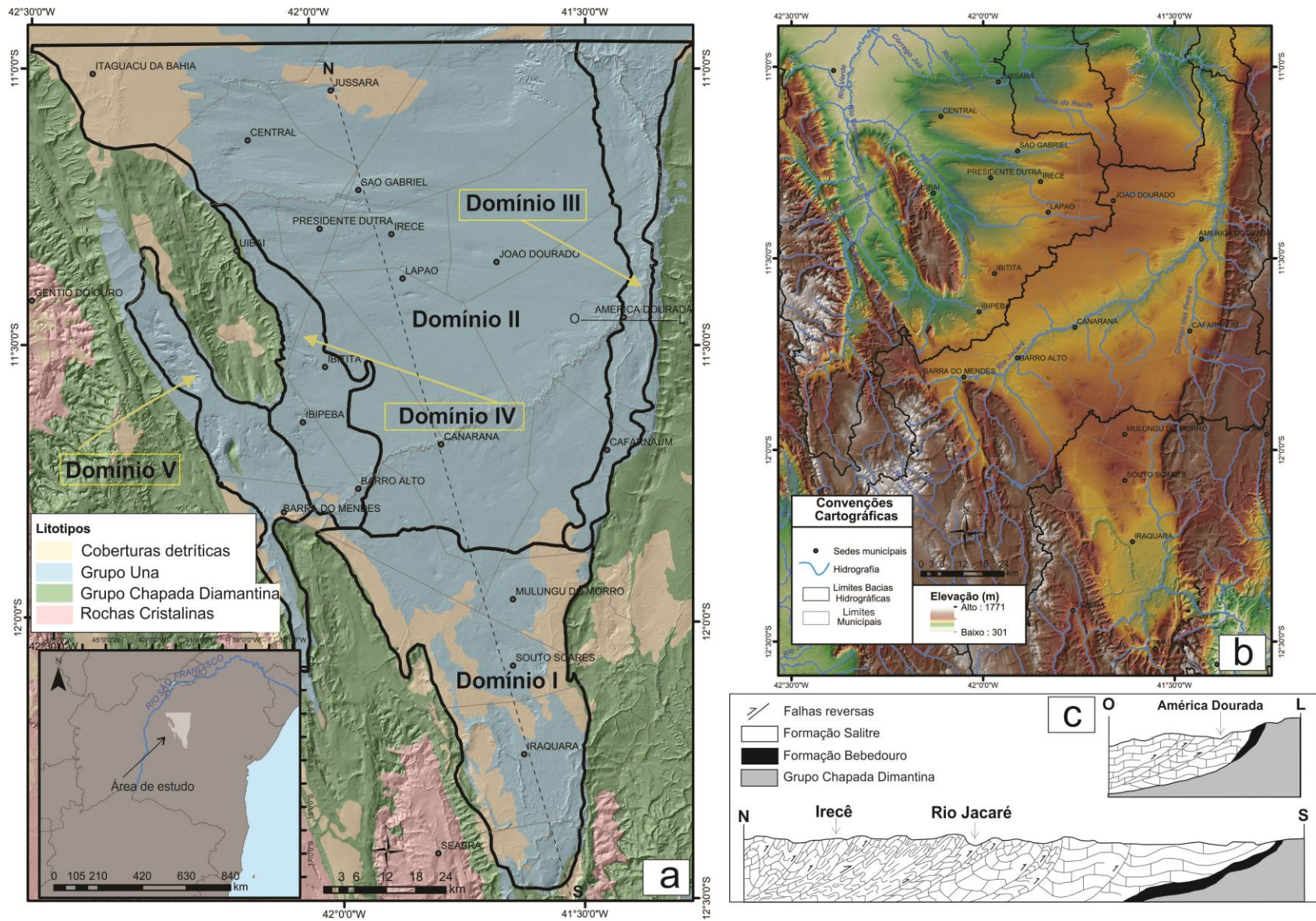


Figura 1. Mapa geológico (CPRM, 2003) da área em estudo, com destaque para os metacarbonátos da formação Salitre (em azul) e os polígonos delimitados por linhas pretas representando os domínios estruturais (LAGOIEIRO, 1990). 1.b. Mapa hipsométrico da região, confeccionado a partir de modelos digitais de superfície ASTERGDM (NASA e METI). 1.c. Seção geológica destacando as estruturas nos litotipos carbonáticos (DANDERFER FILHO, 1990).

Por conta dos fatores fisiográficos apresentados, optou-se em delimitar a região em cinco domínios hidromorfogeológicos. Assim, a avaliação quanto ao potencial hidrogeológico da “bacia” de Irecê será baseada nesses domínios pré-estabelecidos.

2.0 Materiais e métodos

O trabalho foi realizado em três etapas que são listadas a seguir e detalhadas no item subsequente:

1. na primeira etapa foi construído o acervo bibliográfico da região em estudo, dentre as principais fontes podemos citar: artigos publicados em revistas e periódicos, dissertações de mestrado e teses de doutoramento;
2. numa etapa posterior, os dados digitais e físicos, referentes aos poços, obtidos junto à Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia – CERB foram coletados e tratados em planilha formato xml;
3. por último, foi executado Análise Exploratória dos Dados – AED, como será descrita no subcapítulo 2.1.

2.1 Análise exploratória dos dados

No tratamento e análise dos dados de poços, trabalhou-se na seleção e classificação das fichas cadastrais de 2.039 poços válidos, que foram extraídos do banco de dados pertencente a CERB. Os poços válidos, foram aqueles que estão instalados nas rochas carbonáticas da região em estudo e foram espacializados e classificados segundo o Domínio Hidrogeomorfológico - DH que estavam inseridos, através do aplicativo computacional *Arcmap* do software *Arcgis 10.1*. Após definido o domínio que cada poço está inserido, foram realizadas as Análises Exploratórias dos Dados – AED. A AED foi iniciada através do conhecimento e eliminação dos *outliers*, permitindo aos dados maior homogeneidade. Assim, reduziu-se drasticamente o número de poços válidos, passando de 2.039 para 792.

Com a população de poços definida, foram realizadas análises descritivas para a capacidade específica e profundidade das entradas d’água. Buscando uma abordagem tridimensional da produtividade no aquífero.

3.0 Resultados

Baseado no modelo definido por Lagoeiro (1990) e Guerra (1986), foi possível distinguir os poços em função do domínio no qual o poço está inserido. Ao separar os dados de poços por

domínios, realizou-se a análise exploratória dos dados, colocando em evidência parâmetros como média, mediana, quartis, desvio padrão e variância.

Os resultados sumarizados na tabela 01, apresenta o domínio I como o mais produtivo, seguido em ordem decrescente pelos domínios III, II, IV e V.

Tabela 1. Sumário descritivo da capacidade específica em função dos domínios estruturais

Domínios	Mínimo	1º Quartil	Média	Mediana	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	População
I	0,007368	0,075655	0,458069	0,257495	0,752986	1,773399	0,492725	124
II	0,010165	0,037333	0,113580	0,085103	0,171580	0,364454	0,091995	549
III	0,009362	0,05606	0,163414	0,156139	0,230724	0,399091	0,124027	26
IV	0,007282	0,031052	0,155259	0,080906	0,242869	0,555696	0,161061	64
V	0,012755	0,026541	0,060157	0,038655	0,084312	0,170556	0,045005	29

Para efeito ilustrativo, utilizou-se o diagrama *box plot* representado na figura 2, a fim de representar a distribuição dos valores de Sc dentro do universo amostral. Nesta figura é possível notar o destaque relacionado ao domínio I, comparado aos demais. O domínio III, apresenta-se como o segundo mais produtivo, seguido pelo domínio II, mostrando uma ausência de correlação entre os domínios das margens das serras com a produtividade do aquífero. Os domínios com as piores produtividades são os domínios IV e V, pois apresentam os menores valores das medianas de capacidade específica, como observado na tabela 1.

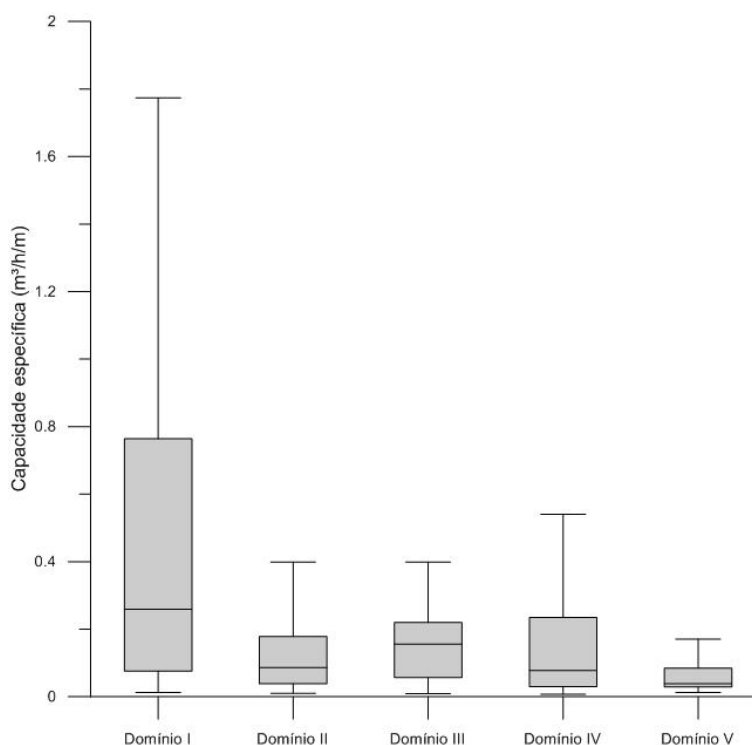


Figura 2. . Diagrama box plot representando a capacidade específica nos diferentes domínios estruturais.

Embora o domínio V, encontre-se entre duas unidades metassilissiclásticas, o padrão geral da capacidade específica dos poços apresentou baixa relevância.

Os dados apresentados, até então, apenas descrevem a produtividade regional do aquífero em superfície. Havendo a necessidade de investigações em profundidade. Para isto, a mesma metodologia foi aplicada para as entradas d'água em cada poço perfurado no aquífero. Exceto, a seleção e exclusão dos *outliers*, por não haver grandes assimetrias num mesmo domínio. Este, é representado na tabela 2, através do diagrama de caixas.

Tabela 2. Sumário descritivo das entradas d'água (metros) no aquífero.

Domínios	Mínimo	1º Quartil	Média	Mediana	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	População
I	9	45,5	80,61381818	79	110	196	42,09114904	124
II	8,000000	50,000000	73,007171	69,000000	93,000000	183,500000	31,933074	549
III	12	35	66	58	92	146	35,87037706	26
IV	4,5	31	51,82608696	50	72	170	14	64
V	14	31,5	63,5	52,5	82,25	177	39,33558772	29

Considerando os limites entre o quartil inferior e o quartil superior como os domínios de maior representatividade. Na tabela 2, no domínio I, observa-se que a partir de 110 metros há uma diminuição significativa na quantidade de entradas d'águas nos poços. E, o quartil inferior, em 45,5 metros sugere que no domínio I a maior concentração em entradas d'água encontram-se entre 45,5 e 110 metros.

O domínio que apresenta a faixa de entradas d'água em menores profundidades é o domínio IV, com variações entre 31 e 72 metros.

A figura 3, representa os intervalos de predominância de entradas d'água em função dos domínios estruturais, através de diagramas *box plot*, para melhor representar as entradas d'água em função dos domínios estruturais nos quais estão estabelecidos. Nesta figura é possível visualizar os intervalos de profundidade em que se encontram a maioria das entradas d'água, permitindo uma análise objetiva. Diferente da figura 2, na figura 3 não houve exclusão dos *outliers*, pois nota-se que se apresentam em poucos valores e não contribuem significativamente com a distorção dos diagramas.

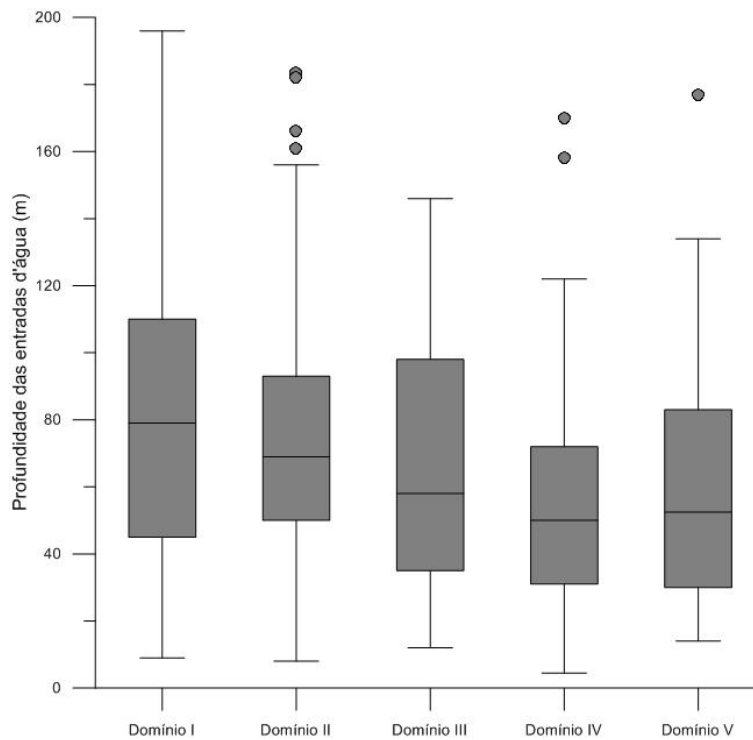


Figura 3. Esboço diagramático em formato box plot

O diagrama da figura 3, mostra claramente o predomínio das entradas d'água nos poços, variando de 30 a 100 metros. Com heterogeneidade entre os diferentes domínios. Assim, evidenciando diferentes domínios também em profundidade.

5.0- Conclusões

A produtividade representada pela capacidade específica, no aquífero cárstico da formação Salitre, na microrregião de Irecê, mostrou-se diferentes com base nos domínios estruturais estabelecidos por Lagoeiro (1990). Esses diferentes domínios apresentaram diferenças significativas, exceto os domínios II e IV. Assim, o domínio I apresentou-se como o de maior produtividade, seguido pelos domínios III e IV. Quanto ao domínio II, sendo este o mais explorado apresenta o segundo pior potencial produtivo, ficando apenas atrás do domínio V, como o de menor potencial produtivo. Portanto, não foi observado correlação dos domínios estruturais proposto por Lagoeiro (1990) com a distribuição espacial da produtividade dos poços com base nos valores da capacidade específica.

Em profundidade, o parâmetro utilizado para avaliar a produtividade foi a quantidade de entradas d'água. Este parâmetro forneceu resultados expressivos, ao demonstrar que as entradas d'água se concentram num dado intervalo de profundidade, principalmente entre 40 e 110 metros, sugerindo que, neste domínio, o aquífero é mais produtivo. Para uma melhor avaliação da

produtividade em função da produtividade, é necessário conhecer a vazão que cada entrada d'água fornece. E assim sugerir o modelo com maior embasamento empírico.

Referências

AULER, A.; RUBBIOLI, E. BRANDI, R. – 2001- As Grandes Cavernas do Brasil. GBPE. Belo Horizonte/MG – Brasil.

BRASIL. Ministério da Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL, Folha SD24 Salvador. Mapa de Vegetação, Geologia, Geomorfologia e Solos. Rio de Janeiro, 1981

BRITO NEVES, B.B.; ALBUQUERQUE, T. P. Tectônica e água subterrânea em rochas pré cambrianas do Nordeste do Brasil – A diversidade do sistema aquífero. *Revista Geol. USP*, São Paulo, v. 4, n. 2p.71-90, 2004.

BRITO NEVES, B.B.; CORDANE, U.G.; TORQUATO, J.R. Evolução geocronológica do pré cambriano no estado da Bahia. In: INDA, H.A.V; DUARTE, F. *Geologia dos recursos minerais da Bahia: textos básicos*, vol. 3, p 1-101. Salvador, Bahia, 1980.

CPRM/CBPM. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia – Sistema de Informações Geográficas – SIG, escala 1:1.000.000, 2003.

DANDERFER FILHO, A., LAGOEIRO, L. E., ALKMIM, F. F. (1993). O Sistema de dobramentos e empurrões da Chapada Diamantina (BA): Registro da inversão do Aulacógeno do Espinhaço no decorrer do Evento Brasileiro. In: J. M. L Dominguez, A. Misi (Eds.), *O Cráton do São Francisco* (v.1, 197-199). Salvador: SBG/SGM/CNPq.

DOMINGUES, J.M.L. As coberturas do cráton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista de análise de bacias. In: J.M.L. DOMINGUES, A. Misi, *O cráton do São Francisco*, v.1, 137-159. Salvador: SBG/SGM/CNPq, 1993.

GUERRA, A. M. Processos de Carstificação e hidrogeologia do grupo Bambuí na região de Irecê-Bahia. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1986, 132 p.

GUIMARÃES, J.T. A formação Bebedouro no estado da Bahia: faciologia, estratigrafia e ambientes de sedimentação. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências - UFBA, Salvador, 1996.

LAGOEIRO, L.E. Estudo da deformação das sequências carbonáticas do grupo Una, na região de Irecê, Bahia. Dissertação (Mestrado), Ouro Preto: Escola de Minas, Departamento de Geologia – UFOP, 1990.

LUZ, J. A. G.; BASTOS LEAL, L. R.; BARRETO, F. S. Tratamento estatísticos dos dados dos poços da região do platô de Irecê-Ba. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrânea, 2004, 18 p.

MACEDO, M. H. F.; BONHOME, M. G. Contribuição à cronoestratigrafia das Formações Caboclo, Bebedouro e Salitre da Chapada Diamantina (Ba), pelos métodos Rb-Sr e K-Ar. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, Vol. 14, n.3. p.153-163. 1984.

NEGRÃO, F. I. Caracterização Hidroquímica e Vulnerabilidade do Sistema Hidrogeológico Cárstico da Região de Irecê. Tese de doutoramento, USP, São Paulo – SP, 1987, 107p.

NOSSA, T. C. B.; BASTOS LEAL, L. R.; ZUCHI, M. R. Hidroquímica e índices de saturação dos minerais do sistema aquífero cárstico Salitre na região de Irecê- Lapão, Bahia, Brasil. Anais: II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, São Paulo, 2011.

ONU BRASIL. **Publicação de artigos científicos.** Pior-seca-dos-ultimos-50-anos-no- nordeste-brasileiro-confirma-estatisticas-da-onu-sobre-escassez.Disponívelem: <http://www.onu.org.br/pior-seca-dos-ultimos-50-anos-no-nordeste-brasileiro-confirmaestatisticas-da-onu-sobre-escassez/print/>. Acessado em: 05 de maio de 2014.

SILVA, H. M. Sistemas de informações geográficas do aquífero cárstico da micro região de Irecê-Ba: subsídios para a gestão integrada das bacias dos rios verde e jacaré. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia, 2005, 146 p.

VILANUEVA, T. C. B.; LEAL, L. R. B. L.; ZUCHI, M. R.; AZEVEDO, A. E. G.; MIRANDA, J. G. M.; VILANUEVA, P. R. Avaliação isotópica e hidroquímica do aquífero cárstico salitre na região de Irecê, Bahia. *Águas Subterrânea*, v. 28, n° 2, 2014, p. 82-94.

SEI. Base Cartográfica Digital do Estado da Bahia. Salvador, BA: SEI, 2008. 2 CD-ROM.

SOUZA, S.L.; BRITO, P.C.R.; SILVA, R.W.S. Estratigrafia, sedimentologia e recursos minerais da formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia. *Série Arquivos Abertos 2*, CBPM, Salvador, 1993.