

Artigos

Potencialidades hídricas no Aquífero Carstico Salitre na região de Irecê, Bahia

Water potentialities in the Karst Aquifer Salitre in the region of Irecê, Bahia

Thiago Dos Santos Gonçalves¹; Luiz Rogério Bastos Leal¹✉

¹ Universidade Federal da Bahia (UFBA), Programa de Pós Graduação em Geologia - PPGG, Salvador, BA

✉ t.gon@outlook.com, lrogerio@ufba.br

Resumo

Palavras-chave:

Transmissividade.
Capacidade Específica.
Aquífero Cárstico Salitre.
Potencialidades.

Os aquíferos cársticos apresentam propriedade hidráulicas peculiares, dificultando a aquisição de parâmetros hidráulicos, como a transmissividade – T , pelos métodos analíticos concebidos atualmente. Assim, este trabalho propõe estimar T no Aquífero Cárstico Salitre – ACS na região de Irecê através de dados de Capacidade Específica – Sc . Para isto foram processados dados de 213 testes de bombeamento, sendo estes, utilizados os métodos de recuperação de Theis e da avaliação do rebaixamento para estimar T e Sc , respectivamente. Sendo possível a comparação entre esses dois parâmetros, pelo Modelo de Regressão Linear – MRL, e assim, determinar a função empírica, $T = 0,5Sc^{1,18}$, característica para o ACS. Após estabelecido o modelo empírico, foram utilizados valores de Sc extraídos de 1.334 ensaios de bombeamento, e, assim, calculado os valores de T_{emp} em função de Sc . Os valores de T_{emp} foram espacializados resultando em cinco diferentes domínios de produtividade, demonstrando que o ACS se apresenta predominantemente com potencialidades moderadamente baixas. Este trabalho apresentou uma importante ferramenta na concepção de T no ACS e sua disposição espacial. Portanto, uma importante ferramenta para entidades gestoras de perfuradores de poços da região.

Abstract

Keywords

Transmissivity.
Specific Capacity.
Salitre Karstic Aquifer.
Potentials.

Karstic aquifers present peculiar hydraulic properties, making it difficult to acquire hydraulic parameters, such as T - transmissivity, by analytical methods currently conceived. Thus, this work proposes to estimate T in the Aquifer of the Salitre Formation - ACS in the region of Irecê through data of Specific Capacity - Sc . For this, 213 pumping tests were analyzed, where Theis recovery methods and the kneeling evaluation were used to estimate T and Sc , respectively. It is possible to compare the two parameters, by the Linear Regression Model - LRM, and thus, determine the empirical function, $T = 0,5Sc^{1,18}$, characteristic for ACS. After the empirical model was established, values of Sc extracted from 1,334 were used, and, therefore, the values of T_{emp} as a function of Sc were calculated. The values of T_{emp} were spatialized resulting in five different domains of productivity, demonstrating that the ACS is dominant with moderately low potentials. This work presented an important tool in the design of T in the ACS and its spatial arrangement. Therefore, a valuable tool for well management entities and drillers in the region.

Revisado por pares.
Recebido em: 19/09/2017.
Aprovado em: 18/05/2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.28940>

1. INTRODUÇÃO

Aquíferos cársticos têm elevada anisotropia e por essa razão a determinação de seus parâmetros hidráulicos como transmissividade – T , condutividade hidráulica – K , coeficiente de armazenamento – S e capacidade específica – Sc não são convencionalmente concebidos, geralmente requerendo o uso e aplicação de modelos empíricos. No ambiente anisotrópico a maioria das observações de campo indicam que os valores de T calculados a partir de dados de

Sc , mediante soluções analíticas são coerentes com os valores obtidos através de teste de bombeamento. Assim, muitos hidrogeólogos, devido a facilidade de se obter valores de Sc , tem tentado estabelecer relações empíricas para a determinação de T a partir de Sc em aquíferos heterogêneos anisotrópico (EL-NAQA, 1994, FABBRI 1997, MACE 1997, RAZACK e LASM 2004, GALVÃO 2015, GALVÃO *et al.* 2015) (Tabela 1).

Tabela 1 - Exemplos de estudos de relações empíricas entre T e Sc .

Autor	Aquífero	Localização	Modelo analítico			
			Sc	T	Temp	R ²
Fabbri (1997)	Cárstico	Noroeste da Itália	Vazão constante	Dupuit-Thiem	$T = 0,85(Sc)^{1,07}$	0,95
Jalludin e Razack (2004)	Vulcanoclástico	Djibuti, Horn of Africa	Rebaixamento	Cooper-Jacob, Boulton	$T = 2,99(Sc)^{0,94}$	0,82
Razack e Lasm (2004)	Cristalino fraturado	Man Danane, Ivory Coast	Rebaixamento	Recuperação de Theis	$T = 0,33(Sc)^{1,30}$	0,88
Mace (1997)	Cárstico	Edwards-TX, EUA	Escalonado	Cooper-Jacob	$T = 0,76(Sc)^{1,08}$	0,8
Mace (1997)	Cárstico	Floridan aquifer - Florida, EUA	Escalonado	Cooper-Jacob	$T = 1,23(Sc)^{1,05}$	0,89
Verbovsek (2008)	Cárstico	Slovenia	Vazão constante	Dupuit-Thiem	$T = 2,39(Sc)^{1,07}$	0,80
Mustafa e Lawson (2002)	Cárstico	Sudoeste da Austrália	Vazão constante	Recuperação de Theis	$T = 3,95(Sc)^{0,89}$	0,82
Hamm <i>et al.</i> (2005)	Vulcanoclástico	Jeju, Korea	Vazão constante	Moench	$T = 0,99(Sc)^{0,89}$	0,94
El Naqa (1993)	Cárstico	Ammam - Wadi Sir aquifer, Jordan	Vazão constante	Huntush	$T = 1,81(Sc)^{0,92}$	0,95
Galvão <i>et al.</i> (2015)	Cárstico	Sete Lagoas - MG, BR	Vazão constante	Theis - Cooper Jacob	$T = 3,30(Sc)^{0,21}$	0,55
Gonçalves (2017)	Cárstico	ACS porção Sul, BA, BR	Vazão constante	Recuperação de Theis	$T = 0,42(Sc)^{1,08}$	0,82
Eagon e Johe (1972)	Cárstico	Noroeste de Ohio, EUA	Rebaixamento	Theis, Cooper-Jacob	$T = 3,24(Sc)^{0,81}$	0,80

O aquífero cárstico Salitre (ACS) tem sido alvo de estudos científicos nos últimos trinta anos, com destaque para aqueles desenvolvidos por Guerra (1986) que definiu os principais domínios de carstificação em função das variações litológicas e climáticas, Negrão (1987) e Nossa (2011) definiram as variações hidroquímicas das águas e a vulnerabilidade natural do ACS; Bastos Leal & Silva (2005) caracterizou o aquífero sob seus aspectos hidrodinâmicos, Luz *et al.* (2004) e Silva (2005) realizaram tratamento estatístico e espacializaram os parâmetros hidrodinâmicos, Ramos *et al.* (2007) realizou monitoramento dos níveis estáticos de poços e das precipitações em períodos chuvosos e secos, Valle (2003), Salles (2017) e Salles *et al.* (2018) avaliaram a evolução morfológica e sua influência nas características hidrodinâmicas do aquífero.

É objetivo deste trabalho cartografar os domínios de potencialidade do ACS através da quantificação e espacialização de valores da transmissividade (T) a partir das relações com a capacidade específica (Sc). Adicionalmente, pretende-se estabelecer a equação característica da relação entre T e Sc para o ACS que será um importante instrumento para a determinação dos valores de transmissividade em diferentes seguimentos deste aquífero, servindo como orientador para a exploração e gestão das águas subterrâneas na região.

2. ASPÉCTOS HIDROGEOLÓGICOS REGIONAIS

O ACS ocupa uma área aproximadamente de 22.385 km² da região centro norte do Estado da Bahia (Figura 1). Trata-se de um aquífero livre associado as rochas carbonáticas neoproterozoicas do Grupo Una (GU), formando um platô dissecado com altitudes médias de 800 m, circundado por metassedimentos siliciclásticos mesoproterozoicos do Grupo Chapada Diamantina (GCD). Segundo Reis (2013) e 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 sobrepostos aos sistemas de dobramentos e empurrões da Chapada Diamantina. 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, predomi-

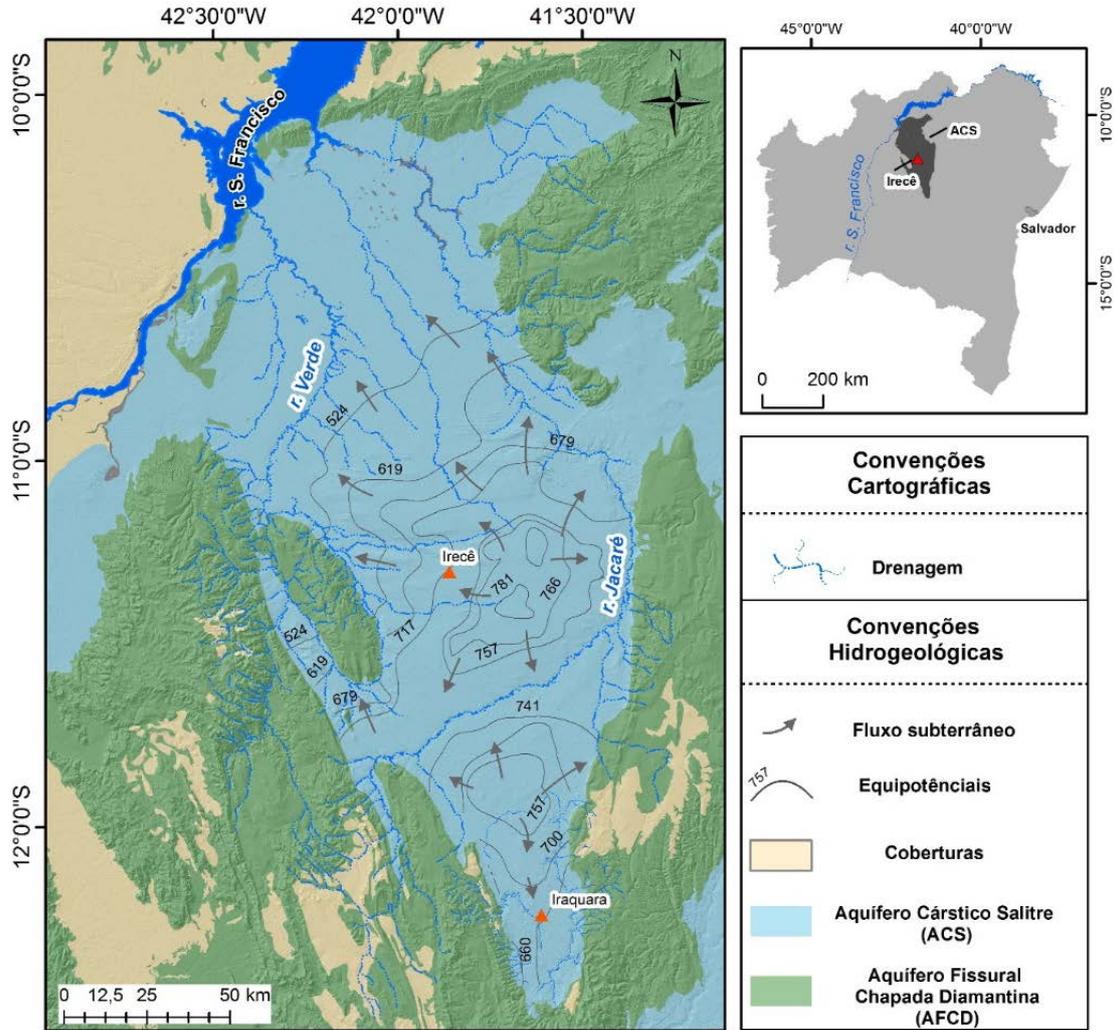
nando dobras em Chevron, de duplo caimento, e abundância em estruturas de interferências do tipo domos e bacias (SOUZA *et al.*, 1993).

Perfis construtivos de poços tubulares na porção norte do ACS, indicam redução na espessura dos litotipos cársticos, na porção norte do aquífero. Nota-se nesta região, que os litotipos carbonáticos apresentam espessuras média de cinquenta metros. O ACS apresenta grande heterogeneidade e anisotropia resultantes de diferentes ciclos de deformação e processos de carstificação, conferindo grande variabilidade nos valores dos seus parâmetros hidrodinâmicos (GUERRA, 1986). Gonçalves *et al.* (2016) classificou os dados de Sc no ACS com base nos domínios estruturais estabelecidos por Lagoeiro (1990), neste trabalho foi observado que somente o domínio sul do ACS apresentava diferenças expressivas com os demais.

As formas de absorção cársticas são representadas por juntas, falhas e fraturas, além de dolinas, sumidouros, úvalas, condutos e cavernas e se constituem nas zonas preferenciais de recarga, armazenamento e drenagem subterrânea. Em condições normais de precipitação o aquífero apresenta nível freático próximo à superfície, com profundidades menores que 15 metros, observado em cerca de 50% dos poços (RAMOS *et al.*, 2007). Enquanto níveis freáticos mais profundos (> 45 m) são observados nas porções sul e sudeste (ex: região de Iraquara), onde predomina feições tipo vales cegos e amplos sistemas de cavernas (ex: Lapa Doce) alimentados por rede de drenagem alogênica (SILVA 1973, LUZ *et al.*, 2004).

Estima-se que há na região 20.000 poços produtores em operação no ACS. Geralmente são poços com vazões menores que 7 m³/h (~ 50%), sendo que apenas 8% possuem vazões superiores a 25 m³/h (Luz *et al.*, 2004). Os poços de produção com maiores vazões e altos valores de Sc estão geralmente perfurados próximos aos grandes lineamentos estruturais regionais e nas zonas das bordas oriental e ocidental em contato com metassedimentos do GCD, onde o carste se apresenta mais desenvolvido e com melhores condições de recarga e armazenamento de água subterrânea (GUERRA 1986; BASTOS LEAL e SILVA 2005).

Figura 1 - Localização da área de estudo (CPRM/CBPM 2003; IBGE/SEI 2003)



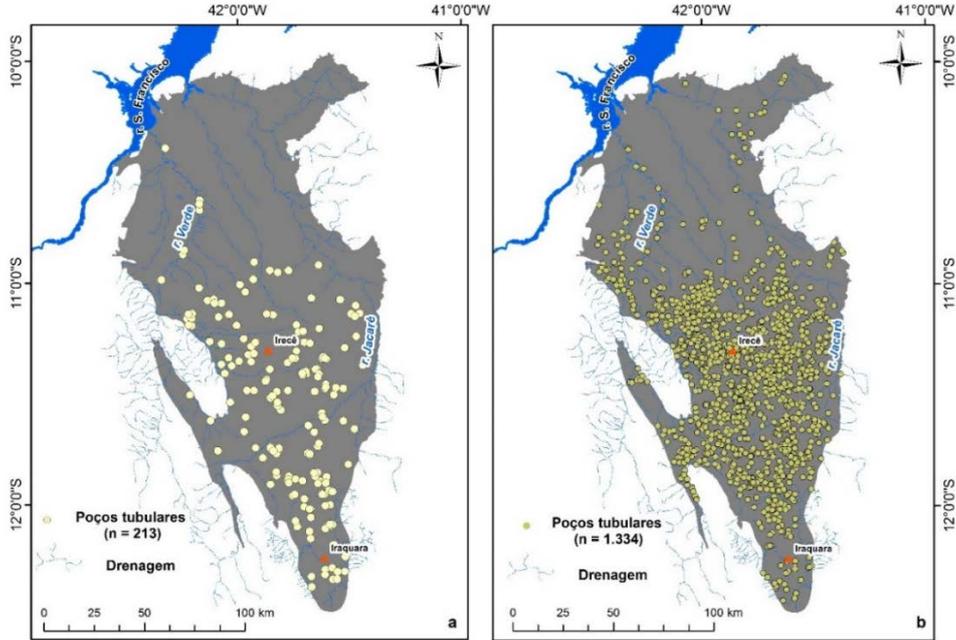
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados dados de vazão e rebaixamento de 1.334 poços perfurados pela Companhia de Engenharia Hídrica e Saneamento da Bahia – CERB para o cálculo da capacidade específica. Por outro lado, foram utilizados 213 testes de bombeamento para calcular a transmissividade (T) através do método da recuperação de Theis (1935) e construção do modelo empírico que corre-

laciona a transmissividade (T) com a capacidade específica (S_c). A CERB utiliza o tempo de doze horas para testes de bombeamento em poços inseridos nos aquíferos cársticos.

A Figura 2a apresenta os poços onde foram determinados os valores de transmissividade analítica pelo método de recuperação de Theis (1935) e a Figura 2b mostra o total de poços utilizados para espacialização da transmissividade na sua forma empírica.

Figura 2ª - Distribuição espacial dos poços usados na modelagem da transmissividade pelo método de recuperação de Theis. Figura 2b. Distribuição espacial do total de poços usado na modelagem da transmissividade pelo método empírico



Considerando o fluxo linear durante os períodos de bombeamento e recuperação, o método da recuperação de Theis (1935) é representado pela seguinte função:

$$m(r, t) = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi T} \cdot \log \frac{t}{t'} \quad (1)$$

Onde $m(r, t)$, é a recuperação, Q a vazão, T é a transmissividade e (t/t') o tempo total pelo tempo de recuperação.

Os valores de recuperação (r) e o $\log(t/t')$ são plotados no gráfico (s) vs. $(\log(t/t'))$, onde é calculada a tangente entre esses dois parâmetros. Resultando na expressão de T , dada por:

$$T = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi \Delta p} \quad (2)$$

Sendo, Δp a relação direta entre (m) e $(\log(t/t'))$. Os valores de T são representados pelas grandezas área e tempo. Nesse trabalho adotou-se a unidade de medida m^2/dia para T afim de se estabelecer comparações com a literatura internacional (EL NAQA 1994; MACE 1997; MACE 2001).

A correlação de T e Sc se ajusta a uma reta de regressão linear representada pela seguinte equação (THOMASSOM *et. al.*, 1960)

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_i \quad (3)$$

Sendo,

$$\hat{Y} = \log(T)_i \quad (4)$$

$$X_i = \log(Sc)_i \quad (5)$$

$$b_i = (SS_{XY}) / (SS_X) \quad (6)$$

Onde,

$$SS_{XY} = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i) \quad (7)$$

Temos,

$$SS_X = \sum_{i=1}^n X_i^2 = - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n X_i)^2 \quad (8)$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad (9)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (10)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (11)$$

A partir da determinação b_0 e b_i (equações 9 e 6) é possível calcular o \log de T pela equação 3. Essa equação pode ser convertida para função linear a partir da retirada do \log da função. Deste modo, T em função da Sc será representada por:

$$T_{\text{emp}} = 10^{b_0} \cdot Sc^{b_1} \quad (12)$$

A modelagem descritiva univariada e bivariada dos dados foi realizada a partir do software Microsoft Excel e a espacialização com o uso do método Inverso Ponderado da Distância - IPD através do Sistema de Informações Geográficas - SIG QGIS 3.0.1.

O IPD é um interpolador determinístico da média ponderada caracterizado pela ponderação durante a interpolação. Ou seja, a influência de um ponto sobre o outro decresce com o aumento da distância. A função que representa o IPD é demonstrada a seguir:

$$\hat{Z}_j = \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^p} \quad (13)$$

Onde: \hat{Z} representa o valor interpo

lado pelo IPD, h_{ij} a distância efetiva entre o valor amostrado e o valor interpolado e Z_i os valores dos pontos vizinhos. O uso do IPD, neste trabalho, foi motivado principalmente pela pequena escala da área em estudo.

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Conforme observado na Tabela 2, a análise univariada dos dados de T e Sc revela diferenças entre a média e a mediana demonstrando uma distribuição não paramétrica positiva, conforme os histogramas apresentados nas figuras 3a e 3b. Enquanto o valor do Coeficiente de Variação - CV é maior para T quando comparado com Sc demonstra que há maior dispersão entre os dados. Esta diferença também foi observada por Razack & Lasm (2004) ao calcular a transmissividade em aquíferos cristalinos no noroeste da África.

Tabela 2 - Sumário descritivo dos dados de T e Sc usados na construção do modelo empírico

	T (m ² /dia)	Sc (m ² /dia)
Número de valores	213	213
Mínimo	0,271	0,639
Máximo	3.490,494	3.738,710
Média	201,044	185,104
Mediana	54,203	66,819
Desvio Padrão	413,625	357,871
Coeficiente de Variação	2,057	1,933

Os histogramas das figuras 2.4a e 2.4b revela expressiva assimetria positiva com representação de dois grupos amostrais principais de T e Sc . Essa característica pode sugerir a ocorrência de diferentes domínios hidrodinâmicos e de carstificação no ACS, tal como sugerido originalmente por Silva (1973) e Guerra (1986). Também observado em aquíferos inseridos em rochas com diferentes graus de deformação dútil, trabalhados por El Naqa (1994) e Razack e Lasm (2004).

Verbovsek (2008), em estudo comparativo, aponta que ao utilizar a transformada logarítmica dos dados de T e Sc eles tendem ao comportamento simétrico possibilitando a construção do modelo de regressão linear com poucas diferenças quando comparado a modelos de regressão não paramétricos. Caso não sejam realizadas as transformadas logarítmicas, os dados apresentarão um comportamento fortemente assimétrico, como apresentado nas Figuras 3a e 3b, o que dificultaria a construção de um MRL. O resultado das transformadas logarítmicas de T e Sc é apresentado nas Figuras 3c e 3d. Logo, a regressão linear (RL) apresentada na Figura 4 revela uma relação direta entre os dados de T com Sc , com coeficiente de determinação $R^2 = 0,844$. Trabalhos similares, em aquíferos cársticos, realizados por Mace (1997) e Verbovsek (2008) apresentaram coeficiente de determinação similar ao apresentado neste estudo, com valores de $R^2 = 0,89$ e $R^2 = 0,8$, respectivamente. Sendo a função que expressa a RL é apresentada como:

$$\text{Log}(T) = -0,298 + 1,09 \cdot \text{Log}(Sc) \quad (14)$$

Figura 3a e 3b - Representação histogramática para os dados de Sc e T , respectivamente. **Figura 3c e 3d** - Representação histogramática para os logaritmos de T e Sc , respectivamente

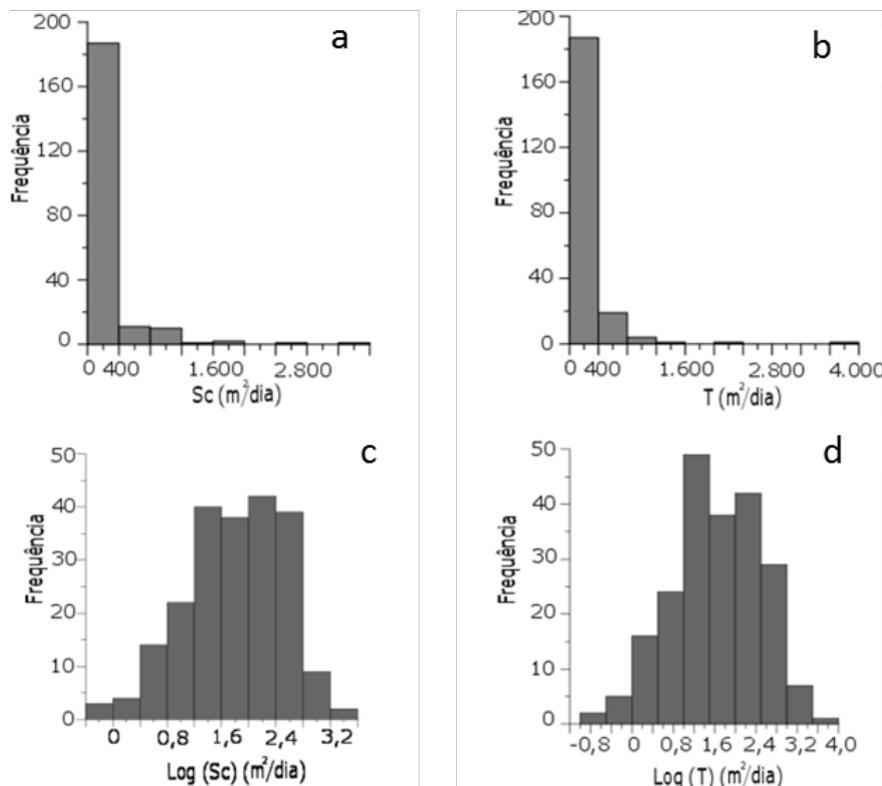
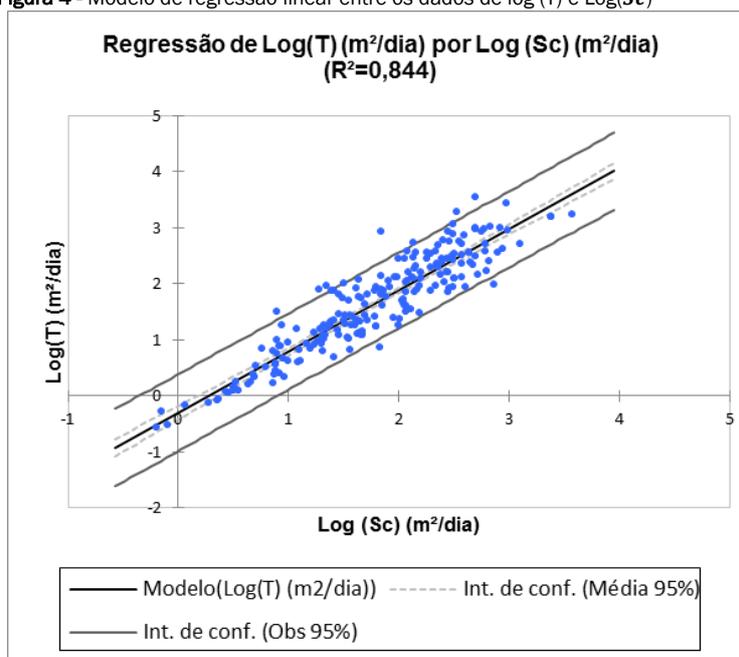


Figura 4 - Modelo de regressão linear entre os dados de log (T) e Log(Sc)



Diante do observado na equação 14, ao converter esta equação para os termos propostos na equação 12, a função que representa a transmissividade no ACS é dada pela seguinte expressão:

$$T_{emp} = 0,5 \cdot Sc^{1,09} \quad (15)$$

Conforme demonstrado na tabela 1, a relação entre T e Sc apresentada na equação 15 deste estudo é semelhante aos modelos definidos para o Aquífero Edward (Texas, EUA), por Mace (1997), e para o aquífero cárstico localizado no noroeste da Itália, o Euganean Hills, por Fabbri (1997). Embora os estudos tenham sido realizados através de métodos analíticos para o cálculo de T_{emp} diferentes, a natureza litológica dos aquíferos é a mesma, tratando-se de aquíferos cársticos. Entretanto, foi observado diferenças significativas com outros autores, a exemplo de Galvão et al. (2015) (Tabela 1).

Isto pode ser justificado pela grande diferença nos regimes pluviométricos que no município de Sete Lagoas, sendo da ordem de 1335 mm/ano e na região de Irecê 600 mm/ano (INMET, 2018) e pelas diferenças nos padrões de carstificação dos litotípos carbonáticos do aquífero.

Embora a porção sul do ACS apresente expressivas diferença de vazão e Sc com os demais domínios, o modelo empírico apresentado é equivalente ao apresentado neste trabalho, conforme apresentado na tabela 1.

Baseado na função empírica do ACS, os dados analíticos de Sc extraídos das 1.334 fichas de ensaios de bombeamento, foram inseridas na equação 15, e assim calculado 1.334 valores de T_{emp} . O sumário descritivo dos resultados apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Sumário descritivo para os valores de T_{emp} .

	T_{emp} (m ² /dia)
Número de valores	1.334
Mínimo	0,916
Máximo	1.245,800
Média	229,066
Mediana	86,866
Quartil inferior	28,002
Quartil superior	313,631
Desvio Padrão	303,128
Coeficiente de Variação	1,323

Os parâmetros descritivos univariados apresentados na tabela 3, demonstram elevada dispersão representados pelo coeficiente de variação - CV de 1,323. Embora este valor seja elevado, ele é quase metade do apresentado pelo modelo analítico da Tabela 2. Destaca-se que o valor máximo de T_{emp} cujo valor é 1.245,8

(m²/dia) apresenta uma elevada diferença com relação à média e a mediana, indicando que valores nessa ordem de grandeza não são representativos. A Tabela 3 demonstra uma predominância de valores entre 28,002 (m²/dia) e 313,63 (m²/dia), e são representativos para o quartil inferior e o quartil superior, respectivamente.

A partir da espacialização dos dados foi possível quantificar as diferentes classes de T_{emp} em função das diferentes zonas aquíferas na região e definindo cinco domínios hidrogeológicos. Esses domínios corroboram a classificação de potencialidades em função dos dados de T_{emp} (DE WIEST, 1965; ŞEN, 1995; ŞEN, 2014). Para o ACS o domínio de alta potencialidade ($T_{emp} > 500$ (m²/dia))

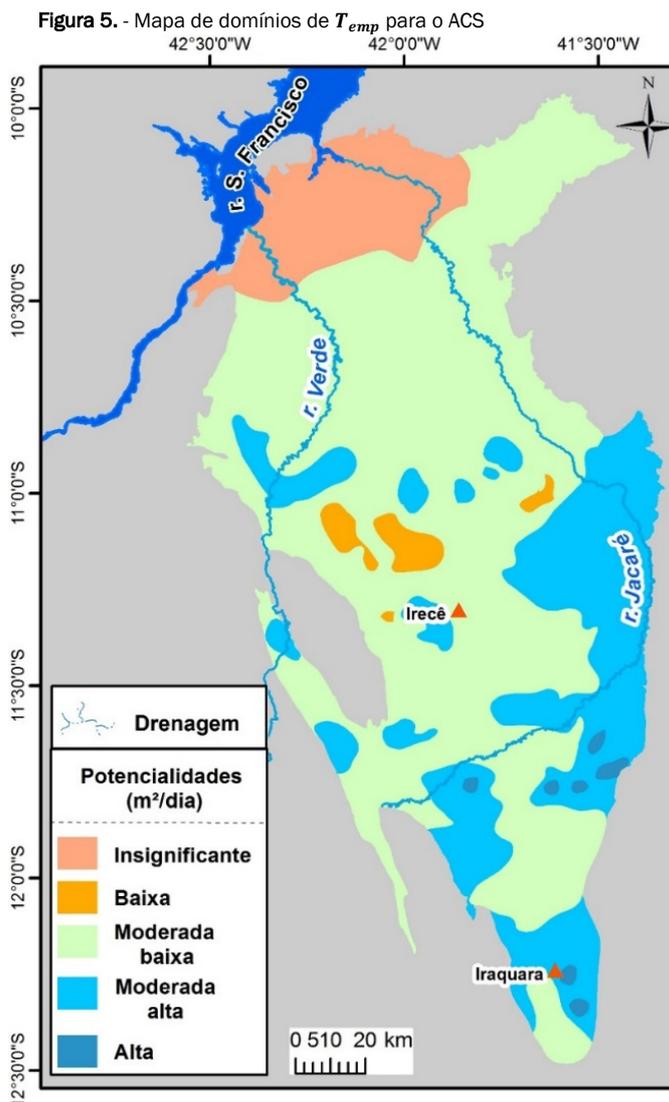
ocupa menos de 1% da área total do aquífero. Já as áreas de moderada alta potencialidade ocupam 22% da área do aquífero, enquanto as áreas de moderada baixa potencialidade ($T_{emp} = 50$ a 250 m²/dia) representa uma área de aproximadamente 66% do aquífero (Tabela 4).

Tabela 4 - Escala de potencialidade de aquíferos em função de T_{emp} , adaptado de (DE WIEST 1965; ŞEN, 1995; ŞEN, 2014). Acrescida pela proporção de cada domínio no ACS

T_{emp} (m ² /dia)	Potencialidade	Área (km ²)	Área (%)
0 - 1	Insignificante	2.044	9,13
0 - 50	Baixa	380	1,70
50 - 250	Moderada baixa	14.837	66,28
250 - 500	Moderada alta	4.977	22,23
> 500	Alta	147	0,66

Na Figura 5 é apresentado o mapa de potencialidade do ACS. Observa-se que as áreas com maiores potencialidades se associam às zonas de convergência de fluxo e/ou zonas de descarga, especialmente nas porções sul e lestes do aquífero. Este modelo se aproxima das constatações de Guerra (1986) e Salles *et al.* (2018) que formulou inicialmente a hipótese das maiores potencialidades

hidrogeológicas associadas às zonas mais carstificadas e de convergência de fluxo, sem destaque para os domínios estruturais instalados. Essa configuração hidráulica do aquífero é também convergente com as a ocorrência de importantes sistemas de cavernas e feições cársticas nas áreas de maior potencialidade (AULER *et al.*, 2001; Gonçalves 2017; Salles *et al.* 2018).



5. CONCLUSÕES

A transmissividade empírica no aquífero cárstico da Formação Salitre foi obtida a partir de dados de capacidade específica de 1.334. A função da reta que representa o modelo é dada por $T_{emp} = 0,5 \cdot Sc^{1,09}$. O modelo estabelecido neste trabalho mostra-se similar àquele obtido por Mace (1997) para o aquífero cárstico Edward no estado do Texas, Estados Unidos, bem como àquele obtido por Fabbri (1997) para aquífero cárstico situado na região nordeste da Itália.

A espacialização dos valores de T_{emp} do ACS possibilitou individualizar cinco diferentes domínios em função de suas potencialidades hidrogeológicas, revelando o predomínio de zonas de moderada potencialidade, sendo as zonas de mais altas potencialidades presentes principalmente na porção sul e leste do aquífero.

Os dados foram espacializados a partir do IPD e sua validação foi realizada a partir de métodos descritivos, demonstrando que há uma alta variabilidade dos valores de T_{emp} dentro dos principais domínios. Entretanto, a média desses valores é equivalente ao modelo apresentado pelo IPD.

Este trabalho apresentou um modelo empírico da transmissividade no ACS, em escala regional, o que favorecerá a fácil aquisição deste parâmetro através de um simples teste de bombeamento de 12h sem necessidade de poços de observação. Além disto, o conhecimento das áreas com diferentes potencialidades hídricas, no ACS, pelas entidades gestoras de recursos hídricos, servirá como ferramenta nas tomadas de decisões para orientar o uso e gestão das águas subterrâneas na região.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos primários a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo financiamento do projeto de pesquisa. Em seguida, ao Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente – NEHMA pelo apoio logístico. E, por fim, a Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos – CERB por disponibilizar seu robusto acervo técnico.

REFERÊNCIAS

AULER, A.; RUBBIOLI, E. BRANDI, R. *As grandes cavernas do Brasil*. GBPE. Belo Horizonte/MG – Brasil, 2001.

BASTOS LEAL, L. R.; SILVA, H. P. da. (Org.) *Modelização da dinâmica hidrológica e instrumentos para a gestão do sistema aquífero-rio das bacias hidrográficas dos rios Verde e Jacaré - região semi-árida do estado da Bahia*. Relatório técnico final do convênio de cooperação técnico-científica celebrado entre a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia e a Universidade Federal do Estado da Bahia. 435p, 2004.

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

De Wiest, R.J.M. *Geohydrology*. John Wiley, NewYork, 1965.

EL-NAQA, A. Estimation of transmissivity from capacity data in fractured rock aquifer. *Environmental Geology*, v. 23, n. 1, p.73-80, 1994.

FABBRI, P. Transmissivity in the Geothermal Euganean Basin: A Geostatistical Analysis. *Ground Water*, v. 35, n. 5, 1997.

GALVÃO P.; HALIHAN T; HIRATA R. The karst permeability scale effect of Sete Lagoas, MG, Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 531, p. 85/15-105, 2015.

GALVÃO, P. H. F. *Hydrogeological Conceptual Model of Sete Lagoas (MG) and Associated Implications of Urban Development in Karst Region*. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, 124p., 2015.

GONÇALVES, T. S.; BASTOS LEAL, L. R.; SALLES, L. Q.; PEREIRA, R.F.A. Zoneamento do potencial produtivo no aquífero cárstico Salitre, na microrregião de Irecê, a partir de domínios estruturais. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 19., 2016. *Anais...*Campinas – SP, 2016.

GONÇALVES, T. S. *Modelos quantitativos para estimativa da transmissividade no aquífero Salitre na região de Irecê – BA, Brasil*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, 76 p., 2017.

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

HAMM, S. Y.; CHEONG, J. Y.; JANG, S.; JUNG, C. Y.; KIM, B. S. Relationship between transmissivity and specific capacity in the volcanic aquifers of Jeju Island, Korea. *Journal of Hydrology*, 310, pg 111 - 121, 2005.

HUNTLEY, D.; NOMMENSEN, R.; STEFFEY, D. The use of specific capacity to assess transmissivity in fractured rock aquifers. *Ground Water*, v. 30, n. 3, p. 396–402, 1992.

IBGE/SEI. *Cartas plani-altimétricas do Estado da Bahia*. Escala 1:100.000. 2003.

INMET -INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normas climatológicas*. Brasília. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), acessado em janeiro de 2018. < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.

JALLUDIN, M.; RAZACK, M. Assessment of hydraulic properties of sedimentary and volcanic aquifer systems under arid conditions in the Republic of Djibouti (Horn of Africa). *Hydrogeology Journal*, v. 12, p. 159–170, 2004.

JOURNEL, A. G. Nonparametric Estimation of Spatial Distributions. *Mathematical Geology*, v. 15, n. 3, 1983.

LAGOIRO, 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. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEA, 13, 2004. *Anais...* 2004, 18 p.

MACE, R. E. Determination of transmissivity from specific capacity tests in a karst aquifer. *Groundwater*, v. 35, n.5, 1997.

MACE, R. E. Estimating transmissivity using specific data. *Bureau of Economic Geology*. The University of Texas at Austin. Austin, Texas, v. 01, p. 01-44, 2001.

MUSTAFA, S.; LAWSON, J. S. *Review tertiary gambier limestone aquifer properties, lower south-east, south australia*. The Department of Water, Land e Biodiversity Conservation. Report, DWLBC 2002/24.

NEGRÃO, F. I. *Caracterização hidroquímica e vulnerabilidade do sistema hidrogeológico Cárstico da Região de Irecê*. Tese (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. CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2., 2011. *Anais...* São Paulo, 2011.

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. *Revista Brasileira de Águas Subterrâneas*, v. 28, n. 2, p. 82-94, 2014.

- RAMOS, S. O.; ARAÚJO, H. A.; BASTOS - LEAL, L.R.; LUZ, J. A. G.; DUTTON, A. R. V. Variação temporal do nível freático do aquífero cárstico de Irecê - Bahia: contribuição para uso e gestão das águas subterrâneas no semi-árido. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 4, 2007.
- RAZACK, M.; HUNTLEY, D. Assessing transmissivity from specific capacity in a large and heterogeneous alluvial aquifer. *Groundwater*, v. 29, n. 6, p. 856-861, 1991.
- RAZACK, M.; LASM, T. Geostatistical estimation of the transmissivity in a highly fractured metamorphic and crystalline aquifer (Man-Danane Region, Western Ivory Coast). *Journal of Hydrology*, p 164 – 178, 325, 2004.
- SALLES, L.Q.; BASTOS LEAL, L. R.; PEREIRA, R.G.F.A.; LAUREANO, F.V.; GONÇALVES, T.S. Influência dos aspectos hidrogeológicos de aquíferos cársticos na evolução do relevo: porção central da Chapara Diamantina. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 1, p. 94 – 106, 2018.
- SILVA A.B. Contribuição a hidrogeologia dos karsts da região da Bahia. *Rev. Água Subterrânea*, n. 3, p. 11-16, 1973.
- SILVA, H. M. *Sistema de informações geográficas do aquífero cárstico da microrregião de Irecê, Bahia: subsídio para a gestão integrada dos recursos hídricos das bacias dos rios Verde e Jacaré*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia. 145 p., 2005.
- SRIVASTAV, S. K.; LUBCZYNSKI, M. W.; BIYANI, A. K. On aquifer properties, ground water abstraction and recharge in Doon Valley, Uttaranchal. *Bhujal News: Special Issue-Uttaranchal* 21 (in press), 2006.
- SEN, Z. *Applied Hydrogeology for Scientists and Engineers*. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, 444 pp, 1995.
- SEN, Z. *Practical and Applied Hydrogeology*. ITU, Hydraulics Lab. Malask, Instabul, Turkey - First Edition, 2014.
- THEIS, C.V. *Estimating the transmissivity of a water-table aquifer from the specific capacity of a well*. US Geol Surv Water Suppl, 1963.
- THEIS, C.V. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Am. Geophys. Union Trans.*, v. 16, p. 519-524, 1935.
- VALLE, M. A. *Hidrogeoquímica do Grupo Una (Bacias de Irecê e Salitre): Um exemplo da ação de ácido sulfúrico no sistema cárstico*. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. 146 p. 2004.
- VERBOVSEK, T. Estimation of transmissivity and hydraulic conductivity from specific capacity and specific capacity index in dolomite aquifers. *Journal of Hydrology*, v. 13, p. 817-823, 2008.
- 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. *Revista Brasileira de Águas Subterrânea*, v. 28, n.2, p. 82-94, 2014.