

CONDUTIVIDADE TÉRMICA EM ROCHAS SILICÁTICAS CRISTALINAS E SUA CORRELAÇÃO COM A GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES

Edgar Romeo Herrera de Figueiredo¹
Antonio Carlos Galindo²
Fernando Pessoa Lira Lins³
José Antonio de Morais Moreira⁴

¹romeoufrn@hotmail.com

²PPGG-UFRNgalindo@ccet.ufrn.br

³PPGG-UFRN, flins@geologia.ufrn.br

⁴DFTE-CCET-UFRN, moreira@dfte.ufrn.br

RESUMO

Este trabalho discute a relação entre condutividade térmica (λ) e a geoquímica de elementos maiores em rochas silicáticas cristalinas. Os resultados demonstraram haver correlação positiva com o teor de SiO_2 , e correlação negativa com Fe_2O_3 , CaO , MgO e TiO_2 . Estas correlações corroboram o aumento e queda da condutividade observadas com quartzo e minerais máficos, respectivamente, obtidas em trabalhos por Figueiredo (2006) e Figueiredo et al. (2008). Os diagramas para Al_2O_3 , Na_2O e K_2O exibem relações mais complexas. Estes elementos são dominantes nos feldspatos, minerais que apresentam correlações ainda não muito bem definidas com a condutividade térmica. Outros diagramas corroboram ainda mais estas afirmações mostrando que há excelentes correlações entre a média dos intervalos de SiO_2 e a condutividade térmica e demonstram ainda que a relação entre os óxidos máficos vs félsicos evidenciam altas condutividades para as rochas ricas em $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$. Por fim rochas com mais de 62% de SiO_2 (ácidas) tendem a apresentar valores de condutividade térmica acima de 2,5 W/mK e rochas com menos de 62% de SiO_2 (intermediárias e básicas) tendem a apresentar valores menores que 2,5 W/mK.

Palavras chave: Condutividade Térmica, Parâmetros físicos, Geoquímica.

ABSTRACT

This work focuses on the rock thermal conductivity (λ) and its correlation with major elements geochemistry in silicatic crystalline rocks. The results show positive correlation with SiO_2 , negative correlation for FeO_3 , CaO , MgO and TiO_2 , corroborating with increase and fall of the thermal conductivity observed for quartz and the mafic minerals, respectively, by Figueiredo (2006) and Figueiredo et al. (2008). The diagrams for Al_2O_3 , Na_2O and K_2O show more complex relationships. These elements are dominant in the feldspars, that still present correlations not very well defined with the thermal conductivity. Other diagrams corroborate these affirmation, showing there is excellent correlations between the average of the intervals of SiO_2 and the thermal conductivity and still demonstrate that the relation between felsics vs mafics oxides evidences high conductivity for the rocks rich in $\text{SiO}_2 + \text{AlO}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{NaO}$. Finally rocks with more than 63% of SiO_2 (acid) tend to present values of thermal conductivity above 2,5 W/mK and rocks with less than 63% of SiO_2 (intermediate and basic) tend to present values below 2,5 W/mK.

Keywords: Thermal Conductivity, Physical parameter, Geochemistry

INTRODUÇÃO

O estudo petrofísico de rochas tem como principal objetivo a determinação das propriedades físicas das rochas. Parâmetros tais como mineralogia, densidade, pressão, temperatura, estrutura, textura, porosidade, etc. definirão o comportamento de cada litotipo diante de determinado fenômeno físico. Desta forma a condutividade térmica (λ , medido em W/mK), sofrerá influência quando se variar qualquer um deste parâmetros inclusive a proporções entre os minerais. Este parâmetro está intimamente relacionado a composição química do sistema mineral/rocha, que possui portanto sua parcela de influência sobre as condutividades térmicas observadas. Os estudos de condutividade térmica em rochas podem ser úteis em várias aplicações como, por exemplo: estudo de fluxo térmicos regionais; estudos de sensoriamento remoto fornecendo dados de propriedades térmicas para uma melhor compreensão do comportamento dos litotipos sob diversas bandas, em especial no infravermelho termal; na indústria de rochas ornamentais onde este parâmetro pode estar relacionado com o conforto térmico, entre outros.

OBJETIVOS

No que se refere a condutividade térmica em rochas, diversos trabalhos da área enfocam em grande parte as correlações da mineralogia e/ou aspectos relacionados a estrutura, textura etc. Este trabalho procura avaliar as correlações existentes entre a condutividade térmica em rochas silicáticas cristalinas e a geoquímica de elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO e TiO_2). Portanto serão correlacionados parâmetros quantitativos (dados numéricos) com os dados geoquímicos tentando entender e definir o intervalo de variação da condutividade térmica, e ainda correlacioná-los com os resultados observados com os aspectos mineralógicos

(dados petrográficos modais) estudados por Figueiredo (2006).

CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Os três mecanismos essenciais de transporte do calor são: radiação, convecção e a condução. O transporte radiativo de calor faz-se através do espaço sob a forma de ondas eletromagnéticas. O transporte por convecção é o mecanismo geralmente mais importante quando o meio que lhe serve de suporte é um fluido. A transmissão de calor por condução é característica do transporte através dos sólidos. As entidades responsáveis por este transporte são os elétrons de condução e/ou as vibrações da rede cristalina, Incropera & Witt (1981). A condutividade térmica λ é definida como:

$Q = -\lambda \nabla T$, onde Q é o fluxo de calor produzido pelo gradiente de temperatura ∇T .

Algumas propriedades dos elementos variam periodicamente em função de suas massas atômicas, raio atômico, potencial de ionização, afinidade eletrônica, eletronegatividade, etc, Fonseca (1992). Os poucos mais de 110 elementos da tabela periódica estão divididos em 5 categorias, levando-se em conta suas propriedades químicas e características físicas, são elas: metais, semi-metais, ametais, gases nobres e o hidrogênio que possui comportamento diferenciado em relação aos demais grupos. Como não poderia ser diferente a condutividade térmica dos elementos também varia de acordo com sua característica dentro de um mesmo grupo ou período da tabela periódica (Figura 1).

No que diz respeito à condutividade térmica o grupo dos metais é de longe o mais expressivo condutor, destacando-se a Prata (Ag, 429 W/mK), Cobre (Cu, 401 W/mK), Ouro (Au, 317 W/mK) e Alumínio (Al, 237 W/mK), já o grupo dos semi-metais exibe valores relativamente baixos

quando se comparado com a média dos metais, mas ainda sim podem ser destacados elementos tais como o Silício (Si, 148 W/mK) Germânio (Ge, 59,9 W/mK) e Astató (As, 50 W/mK). O grupo dos não-metais, gases nobres e o próprio hidrogênio (H) mostram valores muito baixos de condutividade destacando-se os gases nobres como péssimos condutores (isolantes). Os dois elementos da tabela periódica que exibem os valores extremos de condutividade são a Prata (Ag) com 429 W/mK e o Radônio (Rn) com 0,00364 W/mK, mostrando assim uma diferença de comportamento de aproximadamente 120.000 vezes, entre ambos. É importante destacar que estas condutividades térmicas são referentes as condições

normais de temperatura e pressão (CNTP), obviamente deve ser considerando o estado físico dos elementos nestas condições. Dessa forma a condução térmica em sólidos se dá principalmente por vibração da rede cristalina e/ou pelos elétrons de condução, Incropera & Witt (1981). Destaca-se ainda que aquelas substâncias com maiores números de elétrons livres tenderão a potencializar a condução térmica como o caso dos metais que associado ao tipo de ligação (metálica) justificaria suas altas condutividades térmicas. No caso dos gases nobres a própria natureza física (gás), torna-os isolantes térmicos, sendo a transferência de calor realizada principalmente por convecção e não por condução.

**TABELA PERIÓDICA DOS ELEMENTOS
Condutividade Térmica**

	Grupo																						
Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
1	H 0,1815																						
2	Li 84,7	Be 200																					
3	Na 141	Mg 156																					
4																							
5	K 102,5	Ca 200	Sc 15,8	Ti 21,9	V 30,7	Cr 93,7	Mn 7,82	Fe 80,2	Co 100	Ni 90,7	Cu 401	Zn 116	Ga 40,6	Ge 59,9	As 50	Se 2,04	Br 0,122	Kr 0,00949					
6	Rb 85,4	Sr 35,3	Y 17,2	Zr 22,7	Nb 53,7	Mo 138	Tc 50,6	Ru 117	Rh 150	Pd 71,8	Ag 429	Cd 96,8	In 81,6	Sn 66,6	Sb 24,3	Te 2,35	I 0,449	Xe 0,00569					
7	Cs 35,9	Ba 18,4	La 13,5	Hf 23	Ta 57,5	W 174	Re 47,9	Os 87,6	Ir 147	Pt 71,6	Au 317	Pb 46,1	Tl 35,5	Po 20	Bi 7,87	At 1,7	Rn 0,00364						
8	Fr 15	Ra 18,6	Ac 12	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub											
Lantanídeos																							
	Ce 11,4	Pr 12,5	Nd 16,5	Pm 17,9	Sm 13,3	Eu 13,9	Gd 10,6	Tb 11,1	Dy 10,7	Ho 16,2	Er 14,3	Tm 16,8	Yb 34,9	Lu 16,4									
Actinídeos																							
	Th 54	Pa 47	U 27,6	Np 6,3	Pu 6,74	Am 10	Cm 10	Bk 10	Cf 10	Es 10	Fm 10	Md 10	No 10	Lr 10									
	Elemento químico sem referência de condutividade térmica Elemento químico Condutividade Térmica (W/mK a 300 K)																						
	Cs 35,9	Rf														0-33	33-66	66-100	100-133	133-166	166-200	200-233	233-

Condutividade Térmica (W/mK) a 300 K

Figura 1 – Tabela periódica dos elementos e respectivas condutividades térmicas. Modificado do Massachusetts Institute of Technology, 2005

Se levarmos em consideração os principais elementos formadores de minerais na crosta terrestre ficará claro o domínio de elementos tais como o Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Na e Ti, Kirsh, (1965). Os dois elementos mais abundantes, Si e Al, apresentam condutividade térmica de 148 e 237 W/mK, respectivamente. Dentre os demais elementos se destacam o Ca, Mg, Na, K e Fe com

elevadas condutividades, 200, 156, 141, 102,5 e 80,2 W/mK, respectivamente. Em comparação com os elementos citados o Titânio (Ti) é o que apresenta menor condutividade atingindo 21,9 W/mK e o alumínio (Al) a maior chegando a 237 W/mK. A figura 2 mostra a relação entre os elementos maiores da crosta terrestre supracitados, e as respectivas condutividades térmicas.

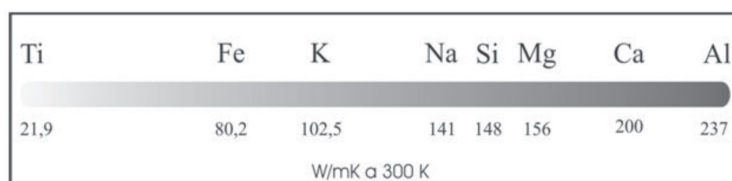


Figura 2 - Relação entre os elementos químicos principais na crosta terrestre e suas respectivas condutividades térmicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

As medidas de condutividade térmica foram realizadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Rochas do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica_PPGG da UFRN, e para tanto foi utilizado um medidor de propriedades térmicas (condutividade térmica, difusividade térmica e capacidade térmica volumétrica) da marca Anter Corporation, modelo Quickline™ -30, o qual utiliza a técnica de medida de regime dinâmico (Figura 3). Os procedimentos técnicos utilizados para as medidas seguiram as diretrizes já apresentadas em Figueiredo (2006) e Fi-

gueiredo et al. (2008), os quais envolvem fundamentalmente medidas realizadas em amostras compondo chapas com dimensões de 15x15x2, assim dimensionadas para permitir pelo menos 4 medidas em locais distintos. É importante salientar que as avaliações e interpretações levaram em consideração o erro máximo do equipamento (0,2 Wm/K aproximadamente). Baseado em informações do fabricante e testes realizados em algumas amostras sugere-se que os efeitos térmicos são sensíveis até a profundidade (espessura) de 1 cm aproximadamente, limite levado em consideração aqui.

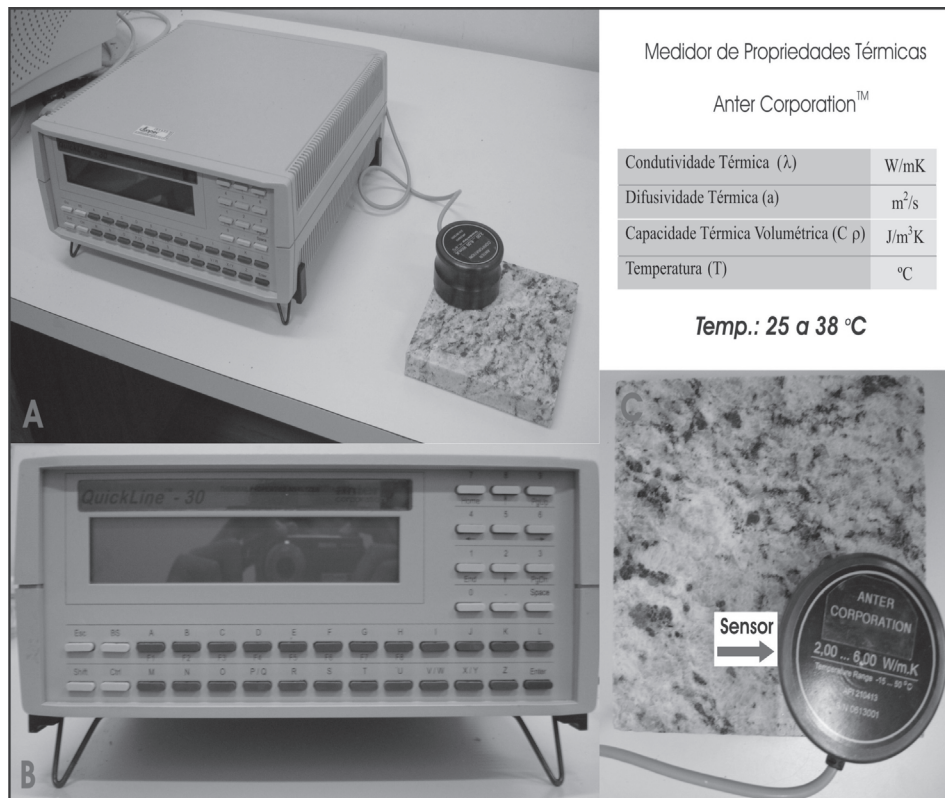


Figura 3 – Medidor de condutividade térmica e uma amostra conforme as dimensões padrão de medição deste trabalho.

O conjunto de dados aqui apresentados, vinte e nove amostras, são parte de um total de 96 medidas, realizadas em rochas silicáticas cristalinas, estudadas petrograficamente por Figueiredo (2006). Em sua grande maioria são amostras de granitos ornamentais adquiridas no mercado de Natal-RN. Desse total de 96 amostras algumas, vinte e seis, dispõem de análises químicas para elementos maiores, e outras três, apresentadas neste trabalho, foram selecionadas de um conjunto de dados de litologias da Bacia do Paraná (Marangoni & Raposo (1988), compondo assim as 29 amostras aqui apresentadas e discutidas.

APRESENTAÇÃO DOS DADOS

O conjunto das vinte e nove (29) amostras estudadas é compos-

to por: quinze (15) de rochas ácidas ($\text{SiO}_2 > 63,0\%$, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \geq 7,0\%$, e $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO}+\text{MgO}+\text{CaO}+\text{TiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5 \geq 1,6\%$), sete (7) de rochas intermediárias ($63\% > \text{SiO}_2 > 52\%$, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \geq 5,0\%$, e $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO}+\text{MgO}+\text{CaO}+\text{TiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5 \geq 5,0\%$) e sete (7) de rochas básicas ($\text{SiO}_2 < 52\%$, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \geq 1,0\%$, e $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO}+\text{MgO}+\text{CaO}+\text{TiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5 \geq 27,0\%$). Os litotipos ácidos são representados por sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, quartzo monzodiorito, e leucognaisse os intermediários por sienitos, gabronorito e fonólitos e as básicas por basaltos, microgabros e quartzo diorito (Tabela 1).

Para o conjunto de rochas ácidas os valores de condutividade térmica são sem-

pre $\geq 2,2$ W/mK (2,29-3,52), para os litotipos intermediários $\geq 1,6$ W/mK, mas como relativa pequena faixa de variação (1,67-

2,43), e para os litotipos básicos $\geq 1,7$ W/mK, e com menor faixa ainda de variação (1,79-2,15).

Tabela 1 - Dados geoquímicos (elementos maiores) dos litotipos ácidos, intermediários e básicos e respectivos valores de condutividades térmica.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Pf	Total	λ	Referências	Petrografia
Casablanca	76,21	14,53	0,21	0,02	0,06	1,26	5,83	1,11	0,02	0,03	0,33	99,61	3,12	Lima (2006)	Gn Monzogranítico
CR-105/SL-150b	76,09	11,33	2,07	0,03	0,25	1,12	2,77	4,47	0,27	0,13	0,12	98,65	2,29		
Rosa Iracema	74,96	13,40	1,51	0,02	0,24	0,79	3,27	5,48	0,09	0,01		99,77	3,23	Galindo (1993)	Monzogranito
Cabo	73,49	12,46	2,69	0,04	0,15	0,25	3,78	5,11	0,14	0,01	0,64	98,76	2,87	Mattos (2005)	Monzogranito
Flores	73,35	13,70	2,55	0,02	0,45	1,10	3,10	5,40	0,30	0,10	0,38	100,45	3,52	Nascimento (2003)	Alc-fds-granito
Branco Cristal	72,76	14,13	2,15	0,03	0,32	1,16	3,70	5,50	0,17	0,05		99,96	3,32	Galindo et al. (2005a)	Monzogranito
MA-21	72,59	14,61	0,99	0,03	0,10	0,57	5,18	4,86	0,07	0,02	0,10	99,07	2,67	Mattos (2005)	Siengranito
MA-112	71,81	14,93	0,87	0,02	0,08	0,63	5,87	4,82	0,03	0,01	0,20	99,21	2,59	Nascimento (2000)	Alc-fds-granito
CR-102/AP-08	70,60	15,00	2,80	0,03	0,72	1,70	3,60	5,00	0,35	0,12	0,22	100,14	2,86	Nascimento (2000)	Alc-fds-granito
LG 15 A	69,37	15,55	2,89	0,04	0,68	2,13	3,75	5,02	0,43	0,14	0,38	100,38	2,56	Galindo et al. (2005b)	Monzogranito
RC 65	69,00	15,80	3,30	0,04	0,84	2,60	3,80	4,30	0,49	0,18	0,55	100,90	2,53	Silveira (2006)	Qz-Monzodiorito
CR-106/T-10a	68,84	14,33	2,56	0,02	0,40	1,77	2,97	6,26	0,38	0,17	0,65	98,35	3,04	Galindo et al. (2005c)	Monzogranito
CR-103/C-134	68,61	14,13	3,79	0,05	0,72	2,13	3,23	5,06	0,57	0,29	0,46	99,04	2,34	Galindo (1993)	Monzogranito
U-118	67,53	15,74	4,02	0,06	0,30	1,77	3,34	6,55	0,17	0,44	0,25	100,17	2,35	Galindo (1993)	Qz-Sienito
LG-01	67,20	15,41	3,54	0,05	1,90	2,63	3,41	4,93	0,70	0,23	0,56	100,56	2,49	Silveira (2006)	Monzogranito
Cafê Bahia	60,08	13,73	6,00	0,15	3,48	4,03	2,88	6,63	0,85	0,60	0,58	99,01	2,43	Paim et al. (1998)	Qz-alc-fds-sienito
LG-206	59,34	16,10	7,36	0,09	3,67	4,99	3,12	3,72	1,29	0,32	0,56	100,56	2,03	Silveira (2006)	Norito
Fonólito A	59,30	20,50	3,40	0,30	0,30	1,20	8,60	6,40	0,40	0,00	1,10	101,50	1,67	Marangoni & Raposo (1988)	Fonólito
Azul Bahia	58,30	19,23	4,59	0,15	0,82	2,00	6,90	5,31	0,74	0,29	1,26	99,59	2,24	CRONOBORO (2005)	Fonólito
Lilás Imperial	56,80	15,96	5,52	0,08	4,74	4,65	3,95	4,46	0,83	0,55	0,52	98,06	2,29	Rosa et al. (2004)	Qz-Sienito
Fonólito B	56,10	22,00	3,20	0,20	0,10	0,90	9,70	5,80	0,30	0,10	2,90	101,31	1,67	Guimarães (1989)	Qz-Sienito
728	53,53	12,65	13,74	0,20	2,91	6,95	2,52	2,15	1,77	0,33	0,00	96,75	1,90	CRONOBORO (2005)	Fonólito
602	51,09	15,94	9,56	0,16	6,07	10,70	2,20	1,16	1,04	0,00	0,00	98,10	2,10	Marangoni & Raposo (1988)	Basalto
LG 15C	51,01	15,48	9,50	0,15	8,17	7,18	3,14	3,32	1,40	0,65	0,41	100,41	1,79	Silveira (2006)	Qz-Diorito
2053	49,37	13,83	13,94	0,22	5,38	9,04	2,75	2,04	2,27	0,32		99,16	1,90	Marangoni & Raposo (1988)	Basalto
Basalto A	48,90	13,10	11,50	0,20	11,10	8,80	2,70	1,40	1,90	0,40	1,50	101,50	2,01	CRONOBORO (2005)	Basalto
Microgabro	48,80	14,70	10,50	0,13	6,80	9,10	2,80	0,86	1,80	0,28	5,59	101,36	1,86	CRONOBORO (2005)	Microgabro
Basalto B	45,00	12,81	12,30	0,20	12,20	9,70	3,90	1,40	2,20	0,80	1,50	102,01	2,07	CRONOBORO (2005)	Basalto
Basalto C	42,40	11,40	13,20	0,20	13,00	10,70	3,40	1,50	2,50	1,00	1,90	101,17	2,15	CRONOBORO (2005)	Basalto

λ (Condutividade térmica)

DISCUSSÃO DOS DADOS

Inicialmente foi possível observar que a correlação, quando existe, é do tipo linear. Este comportamento foi verificado principalmente na correlação com o SiO₂. Neste caso nota-se um comportamento bastante similar ao observado com o quartzo por Figueiredo et al. (2008), ou seja, aumento da condutividade térmica com o incremento de SiO₂. A figura 4 A, mostra que no geral há tendência de aumento das rochas básicas para as intermediárias e ácidas, nestas últimas são encontrados os maiores valores de condutividade térmica. Um outro aspecto observado é que rochas básicas a inter-

mediárias apresentaram valores sempre inferiores a 2,5 W/mK. Já as rochas ácidas apresentaram em sua maioria valores acima de 2,5 W/mK, comportamento similar ao observado em rochas com mais de 20% de quartzo (Figueiredo et al. 2008).

Quanto ao Al₂O₃, K₂O e Na₂O os resultados não são conclusivos havendo estatisticamente dispersão, com fator de correlação igual ou muito próximo a zero, figura 4 B, C e D. Nos demais casos os fatores de correlação são sempre baixos todavia apresentando no geral comportamento inverso, ou seja, tendência de queda da condutividade térmica com o incremento do óxido,

sendo observado para Fe_2O_3 , CaO , MgO , e TiO_2 , figura 4 E, F, G, H. Em todas as situações verificam-se comportamentos distintos entre os três grupos de rochas, onde as básicas apresentam em sua maioria condutividades térmicas baixas e as ácidas condutivi-

dades sempre mais altas. O grupo de rochas intermediárias (52 a 63% de SiO_2) possuem comportamento relativamente variável, mas com valores de condutividade térmica em sua grande parte não superiores aos verificados nas ácidas.

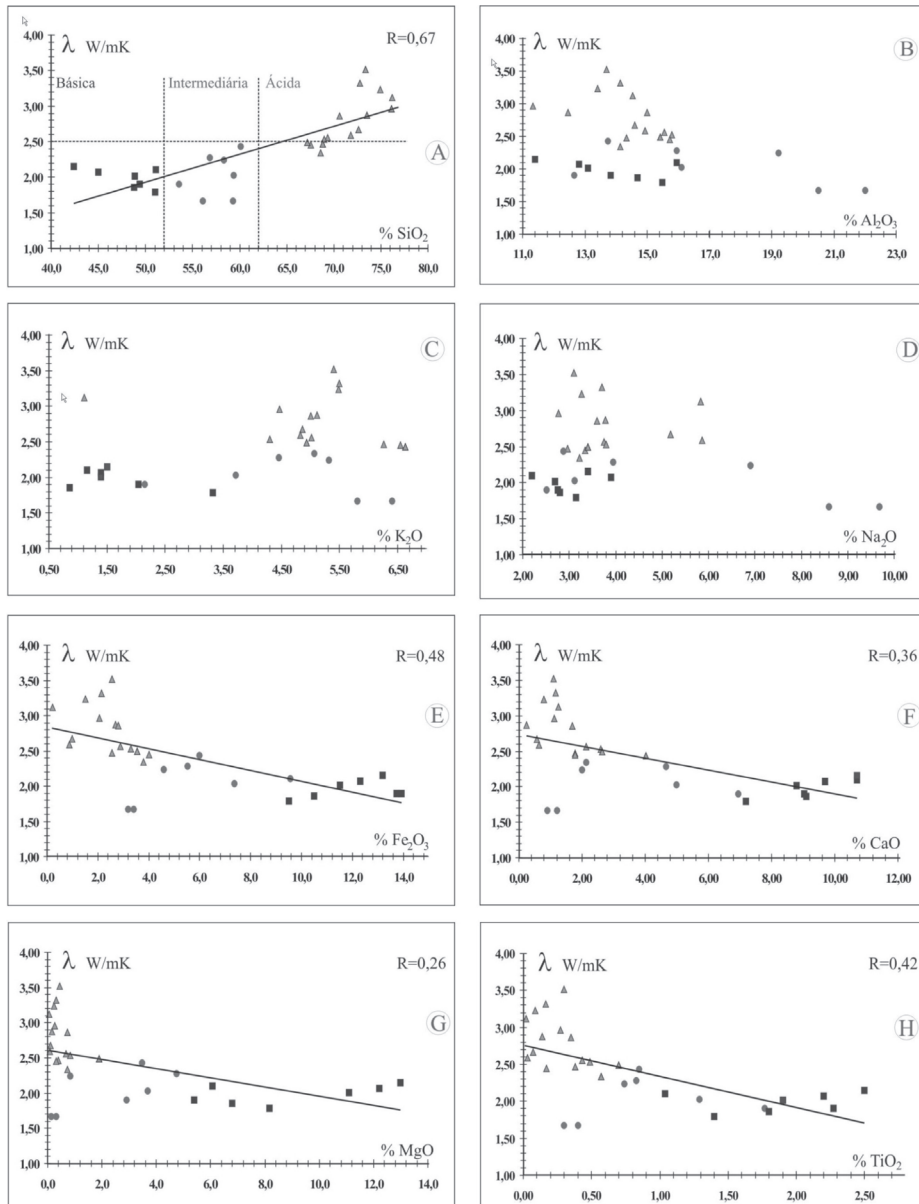


Figura 4 - Relação entre Condutividade Térmica e: % de SiO_2 (A), % de Al_2O_3 (B), % de K_2O (C), % de Na_2O (D), % de Fe_2O_3 (E), % CaO (F), % de MgO (G) e TiO_2 (H), destacando as rochas ácidas, intermediárias e básicas.

A figura 5 A expressa a média da % de SiO₂ para os intervalos de 40-45, 45-50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70, 70-75 e 75-80%. Assim como verificado com a média para valores de quartzo (Figueiredo et al 2008) a correlação é boa, exibindo um fator de correlação de R=0,80. Já a figura 5 B exibe a relação entre os óxidos que predominam nos minerais máficos (Fe₂O₃+MgO+CaO+TiO₂), e os óxidos predominantes nos félsicos (SiO₂+Al₂O₃+K₂O+Na₂O). Neste gráfico fica clara a relação entre os dois grupos de minerais (máficos e félsicos) demonstrando que as mais baixas condutividades estão sempre associadas a um aumento da mineralogia máfica. Este grupo, assim como os das rochas intermediárias mostrou condutividades térmicas baixas, média em torno

de 2,0 W/mK. Já as rochas félsicas mostram sempre condutividades térmicas altas com média de 2,86 W/mK.

Na tentativa de se entender o comportamento dos óxidos predominantes nos feldspatos (Al₂O₃+K₂O+Na₂O) e dos óxidos predominante nos minerais máficos (Fe₂O₃+MgO+CaO+TiO₂) foram construídos e avaliados os gráficos 5 C e D, para todo o conjunto de amostras. No primeiro ocorre dispersão, já no segundo ocorre uma tendência de queda com correlação baixa e fator igual a 0,38. Todavia ambos os comportamentos são similares aos observados com os dados mineralógicos por Figueiredo et al (2008), ou seja, dispersão para os feldspatos (Al₂O₃+K₂O+Na₂O), e tendência de queda para os máficos, todavia com fator de correlação baixo.

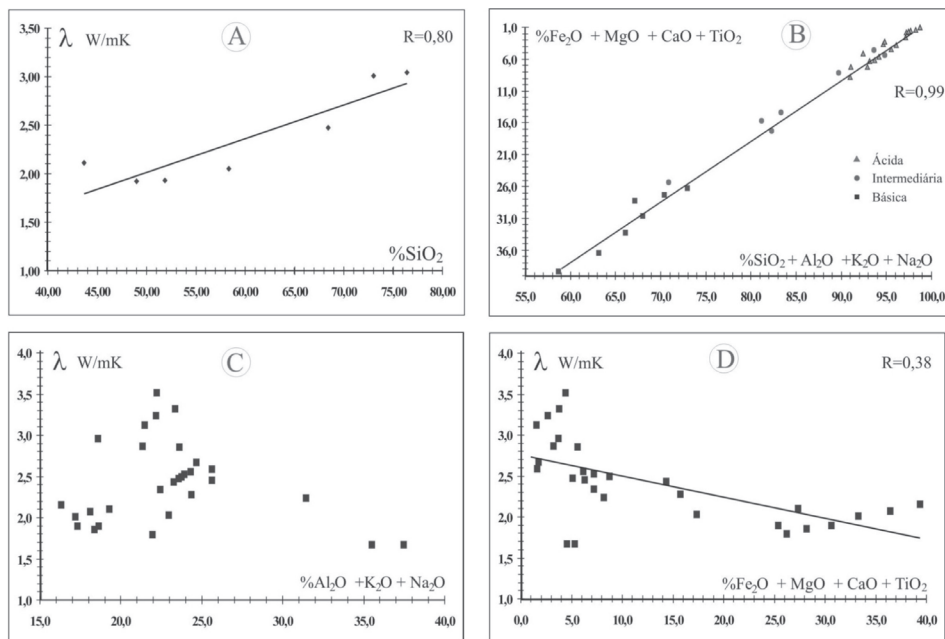


Figura 5 - Relação entre Condutividade Térmica e: média da % de SiO₂ (A), % de Fe₂O₃+MgO+CaO+TiO₂ vs a % de SiO₂+Al₂O₃+K₂O+Na₂O enfatizando as amostras básicas, intermediárias e ácidas (B), % de Al₂O₃+K₂O+Na₂O - félsicos (C), % de Fe₂O₃+MgO+CaO+TiO₂ - máficos (D), para todo o conjunto de amostras.

Visando agora um enfoque apenas nas rochas ácidas (conjunto maior de amostras disponíveis) foram isolados os dados referentes a estes litotipos ($\text{SiO}_2 > 63\%$). Neste momento quando realizada uma comparação entre todos os resultados fica evidente novamente a importância do SiO_2 no aumento da condutividade térmica, pois, apenas neste caso observa-se uma tendência de aumento direto expressivo (figura 6 A). Em quase todas as situações os fatores de correlação são relativamente baixos com tendências discretas de que-

da, como é o caso do Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , e TiO_2 (figura 6 B, C, D e E). Novamente aqui verifica-se o problema relativo aos óxidos que predominam nos feldspatos, ou seja, para K_2O e Na_2O dispersão predomina, figura 6 F e G. Para o MgO , figura 6 H também observa-se dispersão, porém bem menor do que para os álcalis. Novamente esta análise é compatível com os dados mineralógicos já mencionados anteriormente (correlação positiva para quartzo, negativa para os minerais máficos e dispersão para os feldspatos).

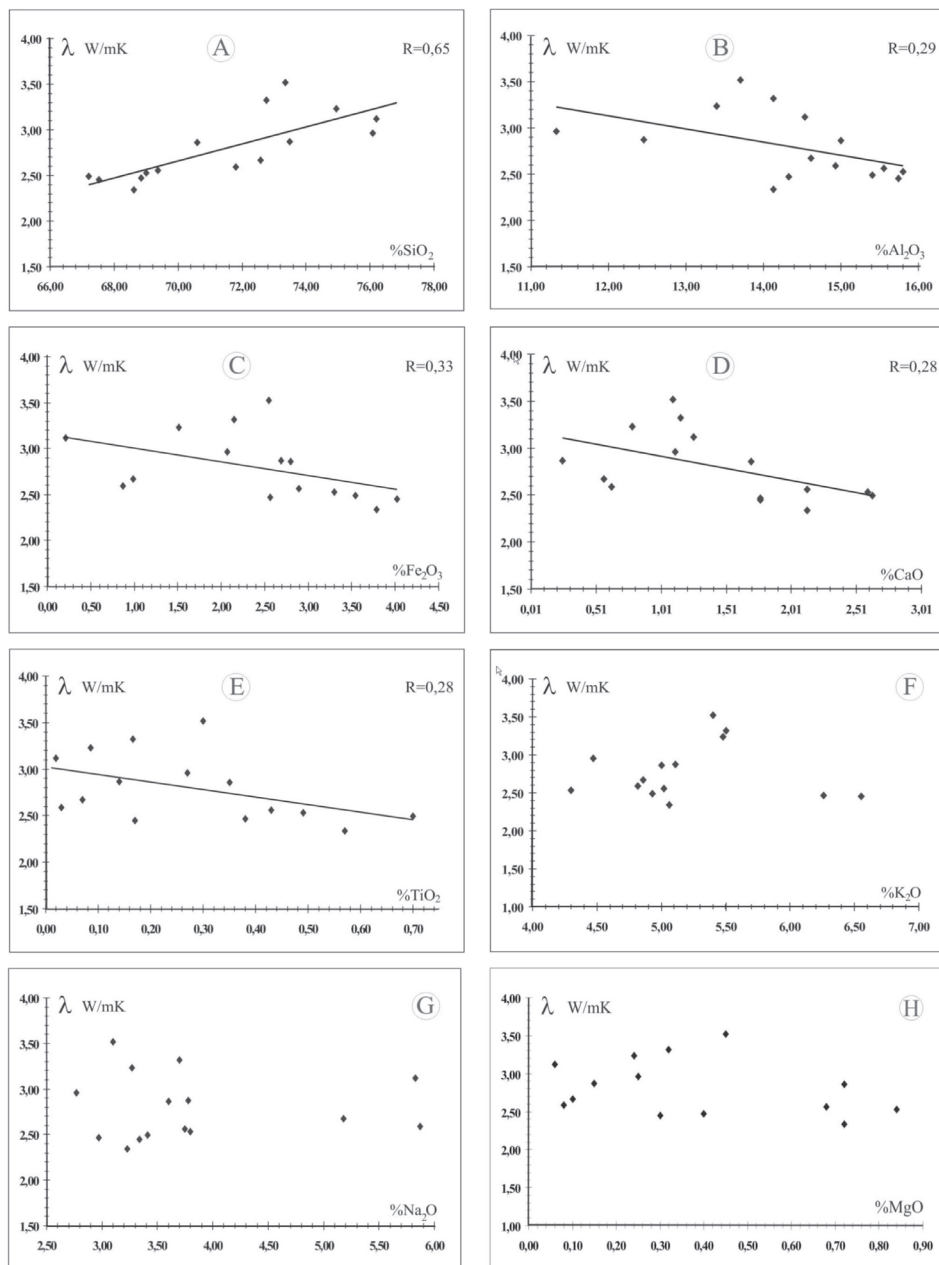


Figura 6 - Relação entre Condutividade Térmica e: % de SiO₂ (A), % de Al₂O₃ (B), % de Fe₂O₃ (C), % CaO (D), % de TiO₂ (E), % de K₂O (F), % de Na₂O (G), e MgO (H), destacando apenas as rochas ácidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ficou demonstrado a relação de alta condutividade em litotipos ácidos e baixas condutividades em litotipos intermediários a básicos. Em todos os casos os dados ratificaram a importância do controle do SiO₂ no aumento da condutividade térmica. O aumento significativo de Fe₂O₃, MgO, CaO, TiO₂ (óxidos dominantes em minerais ferromagnesianos) implicam sempre numa queda relativa da condutividade térmica; Rochas ácidas (>63% SiO₂) apresentaram no geral médias de condutividade térmica superiores a 2,5 W/mK, ratificando assim os dados mineralógicos Figueiredo (2006) e Figueiredo et al (2008).

Os óxidos SiO₂, Fe₂O₃, CaO, K₂O, Na₂O e TiO₂, somados representam mais de 85% da composição química das rochas e mostraram numa primeira análise, serem os mais significantes no que diz respeito a correlação com condutividade térmica. Portanto os dados de geoquímica (elementos maiores) podem ajudar a ratificar os resultados da avaliação macroscópica e microscópica, podendo servir como diretriz para uma melhor compreensão do fenômeno da condutividade térmica em rochas, contudo não deve ser levado como único parâmetro determinante da condutividade térmica, devendo ser estudado como ferramenta adicional no estudo desta variável.

REFERÊNCIAS

- CRONOBORO, 2005, Distribuição dos sedimentos cenozóicos nas bacias Pernambuco-paraíba, Potiguar e ceará, como função da epirogenia cenozóica da província borborema. Relatório Técnico Final inédito – PETROBRAS/PPGG-UFRN.
- Figueiredo, E.R.H., 2006. Condutividade Térmica de Rochas: Uma aplicação para Granitos Ornamentais. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – UFRN. 91p.
- Figueiredo, E.R.H, Galindo, A.C., Moreira, J.A.M., Lins, F. A.P.L. 2008, Condutividade Térmica em Rochas Silicáticas cristalinas, com ênfase a rochas graníticas da Província Borborema, NE do Brasil, e sua Correlação com Parâmetros Petrográficos e Texturais.
- Fonseca, M. R. M., 1992, Química Geral. Físico-Química. Ed. FTD, São Paulo. 257p.
- Galindo, A.C., 1993, Petrologia dos Granitóides Brasileiros da região de Caraubas-Umarizal (Oeste do Rio Grande do Norte). Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 144 p. il. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, CG, UFPA.
- Galindo, A.C; Silva, Dantas, E. L; Laux, J.H; Maia, S.M.C; Souza, Z.S; Silva, F.C.A; 2005a. Magmatismo Anorogênico Ordoviciano na Porção Centro Norte do Domínio Seridó, Província Borborema: O Granito Flores. Simp. de Geol. do NE. Resumos expandidos. Bol.19 p.133.
- Galindo, A.C., Silva, F.C.A., Plácido, J.S., Cavalcante, R., Jardim de Sá, E.F., 2005b., Diques Micrograníticos da Região de Angicos (RN): Aspectos Geológicos, Petrográficos e Litogeoquímicos. Simp. de Geol. do NE. Resumos expandidos. Bol.19 p.147.
- Galindo, A.C; Cavalcante, R. Silva, F.C.A; Souza, Z.S; Lins, F.A.P.L; Sousa, A.A.T; Costa, L.S. 2005c. Magmatismo Granítico Tipo Itaporanga no Maciço São José do Campestre (Leste da Faixa Seridó): Litogeoquímica e Condições de cristalização do Batólito Barcelona. Simp. de Geol. do NE. Resumos expandidos. Bol.19 p.143.
- Guimarães, I.P., 1989, The petrological evolution and tectonic association of the Bom Jardim Complex, Pernambuco.

- bucos State, NE-Brasil. (Doctor's Thesis). London Imperial College. Royal School of Mines Depto. Geol. 33p.
- Incropera, F & Witt, D.P., 1981, Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Ed. Livros Técnicos e Científicos. São Paulo. 214p.
- Kirsch, H., 1965, Mineralogia Aplicada. Ed. USP. São Paulo. 312p.
- Lima, M.A.B., 2006 Estudo do Comportamento dos Gnaisses Casablanca, Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil) em Atmosfera Salina. Tese de Doutorado. Unesp. p. 150.
- Maragoni, Y.R.; & Raposo, M.I.B. 1988, Condutividade térmica dos diferentes litotipos vulcânicos da bacia do Paraná. Rev. Bras. de Geof. vol. 6. p. 25-31.
- MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. 2005. *Thermal Conductivity of periodic table elements*. Disponível em: <<http://web.mit.edu/3.09/www/pt/pertl4.html>> último acesso em 30 de dezembro de 2005.
- Mattos, I.C. 2005., Geologia, Petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra do Barriga, Sobral (CE) Tese 206 (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de geociências e ciências exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Nascimento, M.A.L. 2000 Petrologia do Magmatismo Tardi-Brasiliiano no Maciço São José de Campestre (RN/PB), com ênfase no Plúton Alcalino Caxexa. Tese de Doutorado - Curso de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN. Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. 164 p.
- Nascimento, M.A.L. 2003. Geologia, Geocronologia, Geoquímica e Petrogênese das Rochas Ígneas Cretácicas da Província Magmática do Cabo e suas Relações com as Unidades Sedimentares da Bacia de Pernambuco (NE do Brasil). Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal/RN, 233p.
- Paim, M.M, Conceição, H. Rosa, M.L.S, Filho, B.E.C, Santos, E.B, Peixoto, A.A, Leahy, G.A.S. 1998, Café Bahia maciço de cara suja: petrologia de uma intrusão tardia do batólito monzo-sienítico de guanambi-urandi (sudoeste da Bahia) e implicações geoquímicas para a gênese dos magmas sieníticos alcalino-potássicos. Contribuição ao estudo dos granitos e rochas correlatas. n 5 p.44-60.
- Rosa, M.L.S, Conceição, H., Macambira, M.J.B., Marinho, M.M, Cunha, M.P, Menezes, R.C.L, 2004 Azul Bahia: Idade Pb-Pb e Aspectos petrológicos da mineralização em sodalita azul do maciço nefelina-sienítico Itarantim, sul do estado da Bahia, Rev. Brás. de Geoc. vol. 34(3):347-354.
- Silveira, L.G.D. 2006, Caracterização geológica, geoquímica e geocronológica do Granitóide Neoproterozóico Serinha, Leste do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.