

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARCOS DE SENA LOPES

**TIPOLOGIA DE ZIRCÃO: ANÁLISE DO MÉTODO APLICADO A ROCHAS
VULCÂNICAS SILÍCIAS DO CRÁTON AMAZONAS**

**Caçapava do Sul
2024**

MARCOS DE SENA LOPES

**TIPOLOGIA DE ZIRCÃO: ANÁLISE DO MÉTODO APLICADO A ROCHAS
VULCÂNICAS SILÍCIAS DO CRÁTON AMAZONAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geologia da Universidade Federal
do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Silva Simões

**Caçapava do Sul
2024**

TIPOLOGIA DE ZIRCÃO: ANÁLISE DO MÉTODO APLICADO A ROCHAS VULCÂNICAS SILÍCICAS DO CRÁTON AMAZONAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geologia da Universidade Federal
do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 10 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Matheus Simões

Orientador

Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Felipe Leitzke
(UFPEL)

Prof. Dr. Vinicius Matté

Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **MATHEUS SILVA SIMOES, PROFESSOR DO
MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/12/2024, às 19:36, conforme horário oficial
de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **VINICIUS MATTE, PROFESSOR DO
MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2024, às 19:07, conforme
horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
[https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?
acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código
verificador **1616347** e o código CRC **5392CA9D**.
Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

L864t Lopes, Marcos de Sena

Tipologia de Zircão: Análise do Método Aplicado a
Rochas Vulcânicas Silícicas do Cráton Amazonas / Marcos de
Sena Lopes.

100 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2024.

"Orientação: Matheus Silva Simões".

1. Tipologia de Zircão. 2. Petrogênese. 3. Cráton
Amazonas. I. Título.

RESUMO

O zircão ($ZrSiO_4$) é um mineral acessório muito comum em rochas ígneas, com alta temperatura de cristalização (~ 910 °C), o que o torna termicamente resistente. Além disso, frequentemente apresenta zanações de crescimento e uma composição rica em elementos traço, como U, Pb e Ti, características chave para pesquisas de petrologia e geocronologia. Assim, o presente trabalho tratou de caracterizar amostras de rochas vulcânicas silícicas, com idades conhecidas, oriundas de diversas partes do Cráton Amazonas valendo-se da petrografia, da tipologia de zircão — técnica que classifica química, térmica e petrogeneticamente uma rocha com base na morfologia dos seus zircões — e de dados geoquímicos de rocha total e de química mineral, que foram usados na mensuração da qualidade dos resultados das paleotemperaturas obtidas pela tipologia. Foram analisadas amostras das Formação Vila Riozinho (2,0 - 1,97 Ga), do Grupo Surumu (1,99 Ga), das formações Cachoeira da Ilha (1,96 - 1,98 Ga) e Moraes Almeida ($\sim 1,88$ Ga) e do Grupo Colíder (1,82 - 1,77 Ga). As amostras das formações Vila Riozinho, Cachoeira da Ilha e uma da Moraes Almeida apresentaram afinidade química Calcialcalina, sendo a sua origem híbrida, parte mantélica, parte crustal, enquanto as amostras dos grupos Surumu e Colíder, e uma das amostras da Formação Moraes Almeida, apresentaram afinidade alcalina, sendo seus magmas classificados como quentes, secos e de origem predominantemente mantélica. Já as temperaturas médias de cristalização obtidas pela tipologia para as várias amostras variam entre 727,27 °C e 805,95 °C, enquanto as temperaturas calculadas por química de rocha total com os modelos M e G variam, respectivamente, de 526,09 °C a 1220,47 °C e de 642,45 °C a 848,45 °C. Embora não sendo precisos, os valores de temperatura da tipologia apresentaram boa convergência com os dos outros modelos químicos, especialmente o modelo G. Por fim, os resultados da composição química e mineralógica das amostras manifestaram excelente correlação com os dados da petrografia e da literatura. A tipologia de zircão mostrou-se um método eficaz, barato e de fácil aplicação.

Palavras-Chave: Tipologia de zircão; Cráton Amazonas; Petrografia.

ABSTRACT

Zircon ($ZrSiO_4$) is a very common accessory mineral in igneous rocks, with a high crystallization temperature (~ 910 °C), which makes it thermally resistant. Furthermore, it often presents growth zones and a composition rich in trace elements, such as U, Pb and Ti, key characteristics for petrology and geochronology research. Thus, the present work sought to characterize samples of silicic volcanic rocks, with known ages, from different parts of the Amazonas Craton, using petrography and zircon typology — a technique that chemically, thermally and petrogenetically classifies a rock based on the morphology of its zircons), whole-rock geochemistry and mineral chemistry data, which were used to measure the quality of the paleotemperature results obtained by typology. Samples were analyzed from the Vila Riozinho Formation (2,0 - 1,97 Ga), the Sumuru Group (1,99 Ga), the Cachoeira da Ilha (1,96 a 1,98 Ga) and the Morais Almeida ($\sim 1,88$ Ga) formation, and from the Colíder Group (1,82 - 1,77 Ga). The samples from the Vila Riozinho, Cachoeira da Ilha and one from the Morais Almeida formation contained a Calcalkaline chemical layer with hybrid origin, part from the mantle and part crustal; while the samples from Sumuru and Colíder groups, as well as one sample from the Morais Almeida formation contained an alkaline layer, with its magma classified as hot, dry and of predominantly mantle origin. The average crystallization temperatures obtained by the typology for the various samples vary between 727,27 °C and 805,95 °C, while the temperatures calculated by total rock geochemistry, with models M and G, vary, respectively, from 526,09 °C e 1220,47 °C and from 642,45 °C to 848,45 °C. Although not precise, the typology temperature values showed good convergence with those of other chemical models, especially the G model. Finally, the results of the chemical and mineralogical composition of the samples showed excellent correlation with data from petrography and literature. The zircon typology proved to be an effective, cheap and easy to apply method.

Keywords: Zircon Typology; Amazon Craton; Petrography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa cronoestratigráfico e de distribuição das províncias ígneas estudadas.....	14
Figura 2. Segunda etapa da separação mineral.....	20
Figura 3. Comparação entre uma imagem de catodoluminescência (CL) e outra de elétrons retroespalhados (BSE) do mesmo grupo de zircões.....	22
Figura 4. a) Ilustração dos planos cristalográficos do zircão.....	25
Figura 5. Diagrama de classificação extraído de Pupin (1980).....	25
Figura 6. Distribuição dos pontos médios e TET médios das populações de zircão.....	26
Figura 7. Plagioclásio quebrado e com bordas reabsorvidas na amostra LA01.....	32
Figura 8. Grão de zircão ao lado de mineral opaco, na amostra PGR27.....	32
Figura 9. Imagem à lupa do mount MD-302.....	34
Figura 10. Mosaico de imagens do mount MD-303.....	34
Figura 11. Mosaico de imagens do mount MD-304.....	36
Figura 12. Imagem do mount MD-305.....	36
Figura 13. Zircões da amostra SS39 ilustrando cada um dos graus de fiabilidade.....	37
Figura 14. Diagrama tipológico da amostra VR04.....	38
Figura 15. Diagrama tipológico da amostra VR05.....	39
Figura 16. Diagrama tipológico da amostra TM43.....	40
Figura 17. Diagrama tipológico da amostra TM71.....	41
Figura 18. Diagrama tipológico da amostra LA01.....	42
Figura 19. Diagrama tipológico da amostra MA01.....	43
Figura 20. Diagrama tipológico da amostra MA02.....	44
Figura 21. Diagrama tipológico da amostra GLR24.....	45
Figura 22. Diagrama tipológico da amostra GLR35.....	46
Figura 23. Diagrama tipológico da amostra PGR27.....	47
Figura 24. Diagrama tipológico da amostra SS39.....	48
Figura 25. Gráfico das temperaturas médias calculadas para as amostras de rocha pelos métodos da tipologia e a partir da química de rocha total.....	60
Figura 26. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra VR04.....	62

Figura 27. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra VR05.....	62
Figura 28. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra TM43.....	63
Figura 29. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra TM71.....	63
Figura 30. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra LA01.....	64
Figura 31. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra MA01.....	64
Figura 32. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra MA02.....	65
Figura 33. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra GLR24.....	65
Figura 34. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra GLR35.....	66
Figura 35. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra PRG27.....	66
Figura 36. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra SS39.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Unidades geológicas e províncias ígneas das amostras. Fonte: o autor.....	14
Quadro 2. Mineralogia principal, texturas, classificação petrográfica e classificação química das amostras.....	31
Quadro 3. Discriminação dos minerais e amostras contidos nos <i>mounts</i>	33
Quadro 4. Escala de fiabilidade da classificação tipológica dos grãos de zircão.....	36
Quadro 5. Médias por amostra das medidas de fiabilidade, temperatura e área dos zircões...	49
Quadro 6: Temperaturas obtidas a partir da química de rocha total pelo parâmetro M.....	51
Quadro 7. Temperaturas calculadas a partir da química de rocha total por meio do parâmetro G.....	52
Quadro 8. Resultados de temperatura nos grãos.....	54
Quadro 9. Resultados de temperatura nos grãos.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 ÁREA DE ESTUDO.....	13
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1 Cráton Amazonas.....	15
4.2 Unidades Geológicas.....	15
4.2.1 Formação Vila Riozinho (2,0 - 1,97 Ga).....	15
4.2.2 Grupo Surumu (1,99 Ga).....	16
4.2.3 Formação Cachoeira da Ilha (1,96 - 1,98 Ga).....	16
4.2.4 Formação Moraes Almeida (~ 1,88 Ga).....	17
4.2.5 Grupo Colíder (1,82 - 1,77 Ga).....	18
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
5.1 Petrografia.....	18
5.2 Separação Mineral.....	19
5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	21
5.4 Tipologia de Zircão.....	23
5.4.1 Cristalografia do zircão.....	23
5.4.2 A Tipologia.....	25
5.5 Química de Rocha Total.....	27
5.6 Química Mineral dos Zircões.....	27
6 TRABALHOS QUE APLICARAM A TIPOLOGIA DE ZIRCÃO.....	27
7 REVISÃO DA TIPOLOGIA DE ZIRCÃO.....	28
8 CRÍTICAS À TIPOLOGIA DE ZIRCÃO.....	29
9 RESULTADOS.....	30

9.1 Petrografia e tipologia.....	30
9.2 Apresentação dos mounts.....	33
9.2 Critérios de seleção prévios à tipologia.....	36
9.3 Escala de Fiabilidade.....	36
9.4 Classificação tipológica.....	37
9.4.1 Amostra VR04.....	38
9.4.2 Amostra VR05.....	39
9.4.3 Amostra TM43.....	40
9.4.4 Amostra TM71.....	41
9.4.5 Amostra LA01.....	42
9.4.6 Amostra MA01.....	43
9.4.7 Amostra MA02.....	44
9.4.8 Amostra GLR24.....	45
9.4.9 Amostra GLR35.....	46
9.4.10 Amostra PGR27.....	47
9.4.11 Amostra SS39.....	48
9.5 Temperaturas a partir da química de rocha total.....	50
9.6 Temperaturas a partir do conteúdo de Ti nos zircões.....	52
10 DISCUSSÕES.....	56
10.1 Tipologia de Pupin (1980): química e temperatura.....	56
10.1.1 Tipologia de zircão e química magmática nas unidades geológicas.....	57
10.2 As temperaturas da Tipologia e as da química de rocha total.....	59
10.3 As temperaturas da Tipologia e as da química mineral.....	60
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICES.....	74

1 INTRODUÇÃO

O zircão ($ZrSiO_4$) é um silicato de zircônio muito comum em rochas ígneas e de significado excepcionalmente importante para o estudo de processos petrogenéticos (Corfu *et al.*, 2003; Poldervaart, 1956; Pupin, 1980). No Cráton Amazonas, diversos trabalhos têm empregado zircões em suas análises, principalmente para a datação radiométrica de U-Pb (e.g., Santos *Et Al.*, 2000; Tassinari & Macambira, 2004), justamente por ele ser um mineral que apresenta propriedades tais como alta resistência ao intemperismo (fator fundamental em regiões com clima equatorial, já que a alteração supergênica modifica a composição de diversos minerais) e alta temperatura de cristalização e fechamento, iniciando a cerca de 910 °C, o que implica a indissolubilidade dos cristais face a ocorrência de eventos magmáticos e metamórficos, que por sua vez deixam registros na morfologia de cada grão. Assim, essa insolubilidade do zircão em magmas e fluidos crustais, bem como a sua resistência à degradação mecânica e química, frequentemente resulta na existência de várias gerações de informações geoquímicas em um único grão de zircão (Harrison *et al.*, 2007).

O presente trabalho pretende extrair, tanto por meio da análise petrográfica, quanto pela utilização da tipologia de zircão, dados concernentes aos magmas formadores das rochas vulcânicas silícicas de diversas partes do Cráton Amazonas, de modo a contribuir com as discussões que envolvem os seus modelos tectônicos e história geológica. Poldervaart (1956) reconhece que o zircão é um valioso guia para estudos de petrogênese, enquanto Watson e Harrison (1983) mencionam como os estudos com isótopos de Pb, assim como estudos de saturação de zircão em laboratório, atestam a sua estabilidade em líquidos magmáticos, dada a preservação de Pb radiogênico com milhões de anos em grãos de zircão pertencentes a rochas de idade muito mais nova, evidenciando a sua resistência a eventos de fusão crustal.

Desta maneira, Pupin (1980) desenvolve uma técnica baseada na morfologia de zircões imageados, encontrados em rochas graníticas, que usa como parâmetro as relações de proporção do desenvolvimento dos planos cristalográficos, expressos pela notação dos índices de Miller, bem como o tamanho do cristal e uma breve análise da assembleia mineralógica da rocha. A partir dessa técnica obtém-se uma classificação genética, que neste caso será aplicada a rochas vulcânicas, já que o principal objeto de análise não é propriamente a velocidade com a qual a rocha se solidifica, mas sim a influência que cada processo gerador teve na forma dos grãos de zircão. Embora a técnica de Pupin (1980) não seja uma abordagem usual em rochas vulcânicas, não existe nenhum impedimento ou incompatibilidade, como atestam os trabalhos de Akin *et al.* (2019) e de Araujo (2014).

Este trabalho faz parte do projeto "Grandes Províncias Silíceas do Cráton Amazonas" do CNPq e contou com o seu apoio para a confecção de lâminas delgadas, separação mineral, e realização do imageamento por MEV dos zircões, no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar térmica e quimicamente, usando a petrografia e a tipologia das populações de zircão (Pupin, 1980), os magmas geradores das rochas vulcânicas do Cráton Amazonas, bem como relacionar os resultados deste último método a outras análises, como a de geoquímica de rocha total e a de química mineral, a fim de mensurar a sua qualidade.

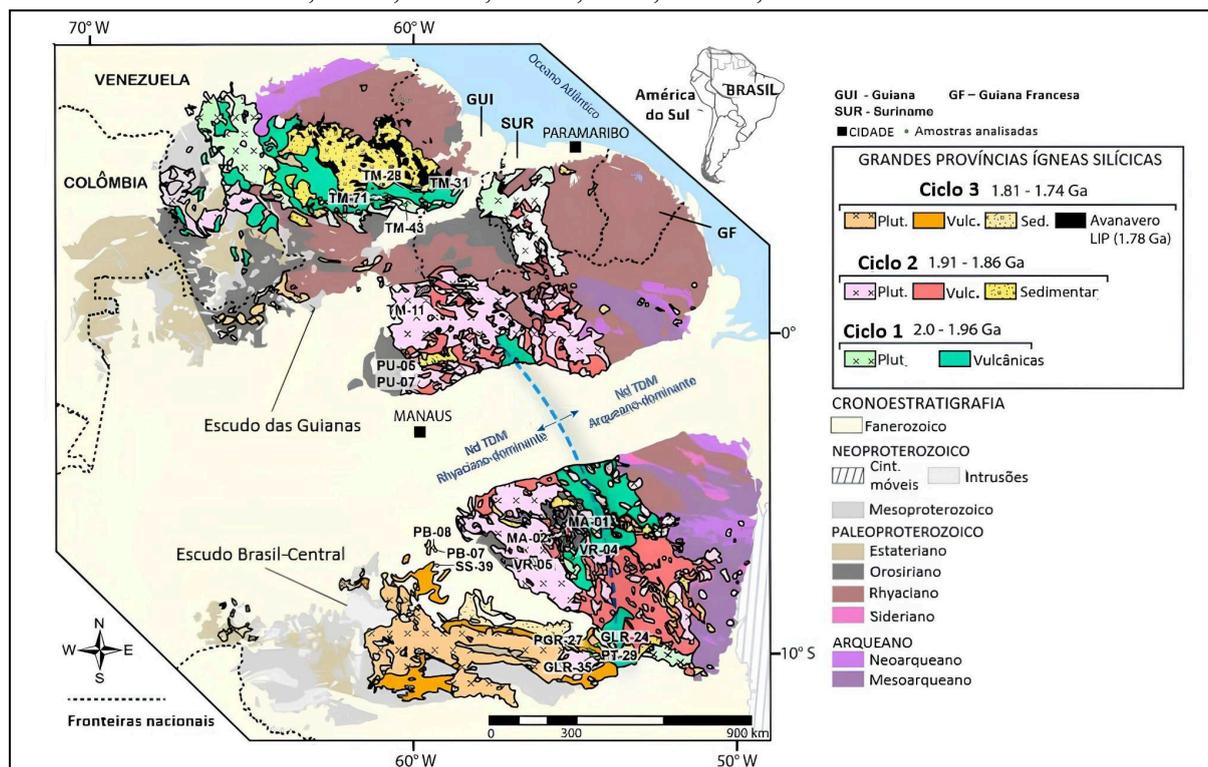
2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são: (i) caracterizar petrograficamente amostras de regiões do Cráton Amazonas, com idade conhecida; (ii) analisar morfologicamente os seus grãos de zircão em lâmina delgada e *mounts* com grãos separados; (iii) reconhecer processos petrogenéticos relacionados com a cristalização de zircões; (iv) inferir as paleotemperaturas, grau de saturação em zircônio e outras características da química do magma durante as etapas de cristalização.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho (Figura 1) abrange diversas partes do Cráton Amazonas, nos estados de Roraima, Pará, Amazonas e Mato Grosso. As 13 amostras investigadas neste trabalho (Quadro 1) foram coletadas em diferentes províncias ígneas, de acordo com Teixeira *et al.* (2019).

Figura 1. Mapa cronoestratigráfico e de distribuição das províncias ígneas estudadas, modificado de Cordani *et al.* (2016), mostrando a localização das amostras TM43, TM31, TM28, TM71, LA01, VR04, VR05, MA01, MA02, SS39, GLR24, GLR35 e PGR27.



Quadro 1. Unidades geológicas e províncias ígneas das amostras. Fonte: o autor.

Unidade Geológica	Província ígnea		
	Orocaima (2000 - 1984 Ma)	Uatumã (1891 - 1886 Ma)	Alta Floresta/Colíder (1820 - 1740 Ma)
Grupo Surumu (Norte de Roraima)	TM43, TM31, TM28, TM71		
Formação Cachoeira da Ilha (Norte de Roraima)	LA01		
Formação Vila Riozinho (SW do Pará)	VR04, VR05		
Grupo Colíder (Norte do Mato Grosso, SE do Amazonas)			SS39, GLR24, GLR35, PGR27
Formação Moraes Almeida (SW do Pará)		MA01, MA02	

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Cráton Amazonas

O Cráton Amazonas (Santos, 2003) possui cerca de 5.600.000 km² e é uma unidade geotectônica que representa uma das maiores áreas pré-cambrianas do mundo. Apesar dos seus abundantes recursos minerais, a região permanece com níveis de conhecimento geológico ainda muito baixos (Santos, 2003, Lagler, 2011, Coutinho, 2008). Localizado predominantemente no noroeste do Brasil, seus limites se estendem ao norte para a Venezuela, a Guiana, o Suriname e a Guiana Francesa e estão encobertos por rochas sedimentares fanerozoicas. A leste e sudeste, é limitado pelo Cinturão Móvel Araguaia, do Neoproterozoico, e a oeste pela Cadeia Andina (Cordani *et al.* 2009). O Cráton Amazonas é constituído por áreas estáveis anteriores ao Ciclo Brasileiro, e pode ser dividido em oito províncias geotectônicas (Santos *et al.* 2000; 2006), sendo que quatro delas - Carajás-Imataca (3,10 - 2,53 Ga), Transamazonas (2,25 - 2,00 Ga), Tapajós-Parima (2,01 - 1,87 Ga), Rondônia-Juruena (1,75 - 1,47 Ga) - formaram-se por processos de acreção relacionados ao desenvolvimento de arcos magmáticos; enquanto as outras quatro - Amazônia Central (1,88 - 1,70 Ga), Rio Negro (1,86 - 1,52 Ga), K-Mudku (1,25 - 1,10 Ga), Sunsás (1,20 - 0,99 Ga) - estão relacionadas à reciclagem de crosta continental (Santos *et al.* 2000).

4.2 Unidades Geológicas

4.2.1 Formação Vila Riozinho (2,0 - 1,97 Ga)

A Formação Vila Riozinho é constituída por uma sequência de rochas vulcânicas, que ocorrem em região homônima, no extremo leste da Província Aurífera do Tapajós, sudoeste do estado do Pará. Os seus principais afloramentos estão em uma região de relevo baixo, nos rios Jamanxim e Riozinho das Araras. Suas rochas foram outrora incluídas no Grupo Iriri (Supergrupo Uatumã). No entanto, a Formação Vila Riozinho é mais velha que o Grupo Iriri e está, na verdade, relacionada a outro evento magmático. A sequência de ~ 2,00 Ga pertence à série calcialcalina de alto K (Lamarão *et al.*, 2002) e é composta por andesitos basálticos, traquiandesitos basálticos, traquitos, riolitos, tufos e brechas, sendo que predominam os traquitos, que ocorrem como blocos isolados. Os andesitos também ocorrem em blocos

dispostos aproximadamente a E-W, parecendo-se com diques. Já os riolitos, os tufos e as brechas afloram em grandes extensões ao longo do rio Jamanxim (Lamarão, 2001).

4.2.2 Grupo Surumu (1,99 Ga)

O Grupo Surumu, no nordeste do estado de Roraima (centro-norte do Escudo das Guianas), inclui andesitos, dacitos, riolitos, ignimbritos, rochas subvulcânicas e rochas sedimentares vulcanogênicas de mesma composição, conjunto que foi deformado pela ação do Cinturão Orogênico Orocaima, apresentando dobras regionais e uma textura dínamo-metamórfica salientada pelo seu afloramento em camadas subverticais (Mendes *et al.* 2022). Tais rochas possuem afinidade cálcio-alcálica de alto K, do tipo-I, e idades de cristalização de cerca de 1,99 Ga (Fraga *et al.*, 2010). Os ignimbritos predominam ao norte do grupo e indicam um vulcanismo explosivo predominantemente subaéreo relacionado a grandes caldeiras, geralmente são de cor cinza escura ou preta e apresentam magnetismo brando, com estrutura ora maciça ora bandada. São constituídos por fenocristais milimétricos de feldspatos e quartzo em uma matriz afanítica e possuem em algumas partes fragmentos de púmice de tamanhos lúpili e bomba. Já os andesitos ocorrem em afloramentos isolados entre os ignimbritos ou como diques na Suíte Pedra Pintada, que é cronocorrelata à Formação Surumu. São de cor cinza esverdeada escura, com fenocristais esbranquiçados de plagioclásio, por vezes orientados, em matriz afanítica (Fraga *et al.*, 2010).

Por fim, os riolitos, formados por fenocristais de quartzo e feldspatos, tanto euédricos como fragmentários, ou corroídos, em matriz félsica com textura sacaroidal bastante fina, afloram em um campo alongado a NW-SE formado por subvulcânicas ácidas na porção central, como se fosse um grande dique cortando os granitoides da Suíte Pedra Pintada. Ademais, tanto diques menores do Grupo Surumu cortam a Suíte Pedra Pintada, como xenólitos centimétricos do Surumu são incorporados na suíte, evidenciando a contemporaneidade de ambas unidades (Fraga *et al.* 2010).

4.2.3 Formação Cachoeira da Ilha (1,96 - 1,98 Ga)

A Formação Cachoeira da Ilha (1,96 a 1,98 Ga) é composta por ignimbritos, por riolitos coerentes dispostos em corpos lenticulares, e por rochas subvulcânicas ácidas, que ocorrem como diques, cortando o Grupo Surumu e a Suíte Pedra Pintada. Tais relações de corte indicam que o vulcanismo Cachoeira da Ilha é mais jovem que as outras duas unidades

(Fraga *et al.* 2010; Mendes *et al.* 2022). Os ignimbritos são de cor cinza escura ou preta, havendo também alguns de cores avermelhadas e cinza claro. Eles constituem-se de fenocristais félsicos milimétricos e fragmentos de púmice de tamanho e forma variados em matriz afanítica. Existem tanto ignimbritos soldados como ignimbritos pouco soldados, sendo que os primeiros possuem estruturas foliadas, definidas por fragmentos de púmice achatados, estirados e orientados. Já os ignimbritos pouco soldados apresentam fragmentos de púmice subangulosos não-orientados. As subvulcânicas, por sua vez, são leucocráticas, porfiríticas, de cor rósea a acinzentada e correspondem a álcali-feldspato granitos, riolitos e quartzo sienitos, que ocorrem como diques (Fraga *et al.* 2010).

As rochas da Formação Cachoeira da Ilha possuem assinatura geoquímica compatível com a dos granitoides do tipo-A, produzidos por eventos magmáticos pós-tectônicos que sucederam a Orogênese Transamazônica. A sua idade é semelhante à do Grupo Surumu, e a distinção entre uma e outra unidade é definida por critérios geoquímicos. A relação de empilhamento estratigráfico entre as duas unidades é difícil de ser estabelecida devido à ocorrência de dobras que se formaram em zonas de cisalhamento transpressivas, onde a tensão concentrada em bandas deformou as sucessões vulcânicas e sedimentares, assim como as bordas dos granitoides associados (Fraga *et al.* 2010; Mendes *et al.* 2022).

4.2.4 Formação Moraes Almeida (~ 1,88 Ga)

A Formação Moraes Almeida é uma sequência vulcânica com aproximadamente 1,88 Ga que se sobrepõe à Formação Vila Riozinho na mesma região sudoeste do Pará e é geoquimicamente similar aos leucogranitos da Suíte Maloquinha, pois tem afinidade do tipo-A. É composta por ignimbritos, que afloram em áreas topograficamente baixas ou em morros próximos ao municípios de Moraes Almeida; por riolitos, que formam pequenos morros abaulados ao longo da rodovia Transgarimpeira e ao norte de Moraes Almeida; e por raros traquitos, que embora quimicamente semelhantes às vulcânicas da Formação Vila Riozinho, contrastam bastante com elas em idade (Lamarão, 2001).

4.2.5 Grupo Colíder (1,82 - 1,77 Ga)

O Grupo Colíder é uma sucessão vulcanossedimentar largamente distribuída na Província Aurífera de Alta Floresta (Santos *et al.*, 2019). Pode ser dividido em três sucessões: a inferior, formada por correntes de densidade piroclástica, que se constituem de lópili-tufos riolíticos ricos em quartzo com textura eutaxítica e de cristais de feldspato alcalino (Santos *et al.*, 2019). Essa sucessão, que possui idades de cristalização de cerca de 1,82 Ga, acha-se espalhada nas porções central e sul da unidade; a intermediária, composta por arenitos vulcanogênicos estratificados e subordinadamente por pelitos (Santos *et al.* 2019); e a superior, que apresenta rochas vulcânicas félsicas, pobres em quartzo, representadas por feno-latitos porfíricos, provavelmente hipabissais, tufos vítreos e tufos reomórficos. Essa sucessão, com idades de cristalização datadas de cerca de 1,77 Ga, acha-se principalmente na porção norte da unidade e é contemporânea ao magmatismo dos granitoides Teles-Pires. O magmatismo félsico do grupo Colíder é calcialcalino com alto K, possui um caráter metaluminoso a levemente peraluminoso e afinidade com magmas do tipo-A, tanto para a sucessão inferior quanto para a superior. (Santos *et al.* 2019).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos apresentados a seguir compreendem principalmente as etapas de preparação de amostras e de obtenção dos primeiros resultados da investigação.

5.1 Petrografia

A descrição das rochas neste trabalho empregou alguns dos conceitos definidos ainda no século XIX por Bayley (1888), que estabeleceu categorias quanto aos graus de cristalinidade de uma rocha (holocristalina, hipocristalina), quanto ao grau de perfeição dos minerais, sendo idiomórfico um cristal limitado por seus planos cristalinos e alotriomórfico um cristal que deve sua forma principalmente a ação de “forças externas”, e quanto ao arranjo entre os seus grãos, onde granular é a textura que designa a rocha com grãos crescidos em uma mesma geração, e porfírica, a de rocha com minerais de diferentes gerações.

No entanto, nem todas as texturas e minerais podem ser observados e descritos macroscopicamente, o próprio zircão como mineral acessório em diversos tipos de rocha, como por exemplo, as vulcânicas, possui tamanhos de em média de 20 a 200 micrômetros

(Corfu *et al.*, 2003). Por isso, as lâminas delgadas das amostras foram descritas no microscópio de luz polarizada, no Laboratório de Microscopia da Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul. Enfoque especial foi dado às características dos zircões e com o auxílio de uma câmera acoplada ao microscópio e do *software* ToupView, os grãos de zircão foram fotografados em seu contexto petrográfico¹. Tanto nas descrições macroscópicas como nas microscópicas, utilizou-se a classificação do diagrama QAPF para rochas vulcânicas estabelecida por Le Maitre (2002), e recomendada pela IUGS (*International Union of the Geological Sciences*).

5.2 Separação Mineral

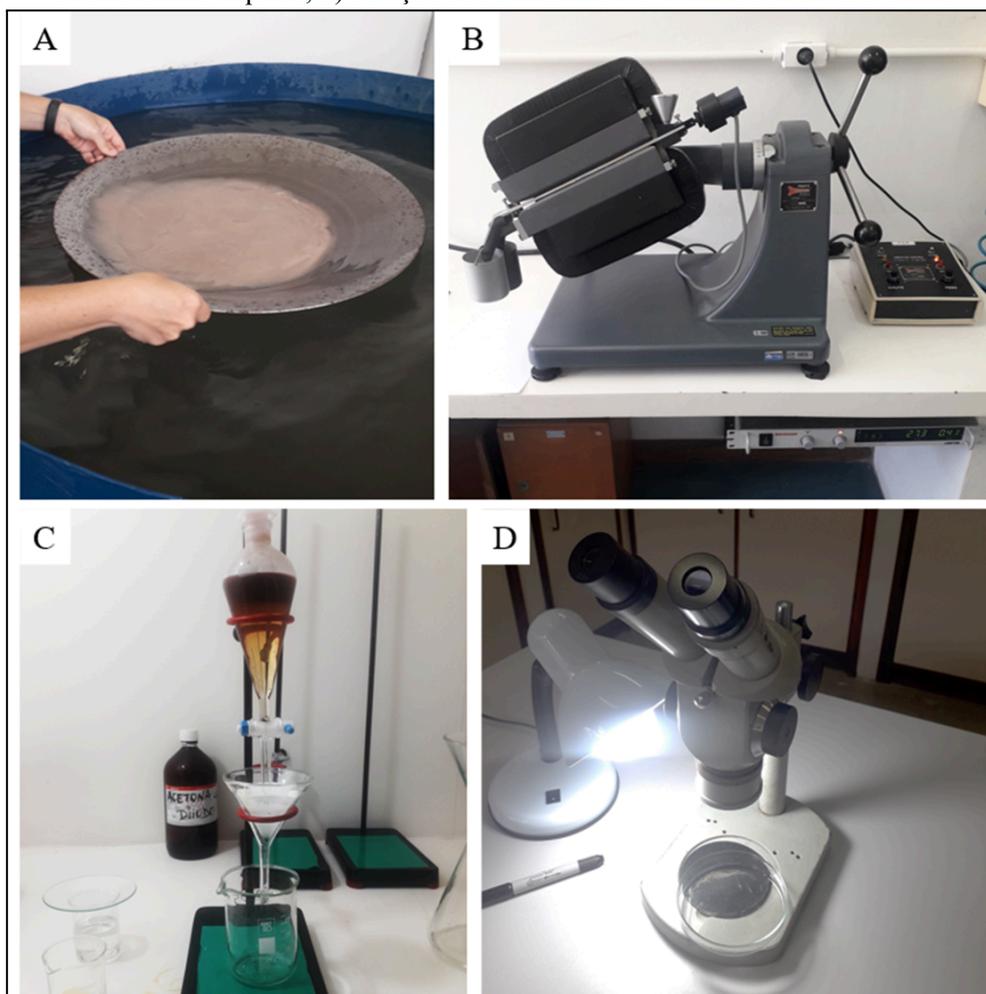
O processo de separação de zircões envolve a seleção criteriosa de amostras, baseada no interesse geológico, probabilidade estimada de conter zircões, e investigação em torno da concentração de Zr em rocha-total. Após a seleção das amostras a rocha é pulverizada para obtenção das frações correspondentes ao tamanho médio dos zircões. Nessa etapa, procedeu-se a desagregação, com marreta, de cada amostra que tivesse volume superior ao de um punho cerrado a fim de que os fragmentos pudessem ser levados ao britador de mandíbulas, este já calibrado para produzir o menor tamanho possível de brita. Depois da britagem, cada amostra foi peneirada em peneira de 6 *mesh*, e a porção passante foi levada ao moinho de discos, onde se procedeu efetivamente a pulverização. O pó foi em seguida agitado em peneiras de 60, 80 e 120 *mesh*, sendo a porção passante embalada e identificada. É importante salientar que essa primeira etapa constitui um ciclo inteiro que se opera a cada amostra pulverizada, e todo o material utilizado é limpo para evitar contaminação. Todos os utensílios empregados são higienizados e soprados com ar comprimido, que assegura a completa eliminação das partículas de rocha. Também o britador e o moinho funcionam dentro de capelas de exaustão e são igualmente higienizados.

Na segunda etapa (Figura 2), procedeu-se primeiramente a retirada dos minerais leves, argilas e coloides por decantação em um balde e depois com o auxílio de duas bateias. A fração restante, de minerais pesados, como o zircão, é levada a uma estufa para a secagem. Em seguida, com as amostras já secas, faz-se a separação dos minerais magnéticos de cada amostra, sendo as magnetitas retiradas com o auxílio de um superimã de neodímio, e os

¹ O que é muito importante, visto que “as variações observadas com a tipologia de zircão são acompanhadas petrograficamente por mudanças das associações de minerais tanto acessórios como essenciais.” (PUPIN, 1980).

demais minerais com susceptibilidades magnéticas inferiores retirados pelo separador magnético Frantz. Nele, cada amostra é processada quatro vezes sob correntes de 0,4A, 0,8A, 1,2A e 1,8A, deixando os concentrados completamente livres dos minerais magnéticos, que são guardados separadamente em pacotes devidamente identificados. O concentrado de não magnéticos é encaminhado para a separação por líquidos densos.

Figura 2. Segunda etapa da separação mineral: a) lavagem dos minerais leves em bateia; b) retirada dos minerais pesados magnéticos no separador Frantz; c) separação do zircão por densidade em bromofórmio líquido; d) catação dos concentrados de zircão. Fonte: o autor.



A separação por diferença de densidade foi feita em uma capela de exaustão, colocando-se o concentrado de minerais pesados não magnéticos em um funil de separação (*squibb*) com bromofórmio, líquido que apesar de denso possui baixa viscosidade. Desse modo, os cristais de zircão, por serem um pouco mais densos do que o bromofórmio, afundam enquanto os demais minerais flutuam. Quando a decantação termina, abre-se a torneira do funil de separação sobre um outro funil, com filtro, a fim de remover o bromofórmio e reter os cristais de zircão, que logo são postos numa placa de petri com álcool

e levados a uma lupa a fim de que se proceda a retirada, por catação, dos outros minerais que ainda restam no concentrado. Essa é a última etapa antes da montagem do *mount*.

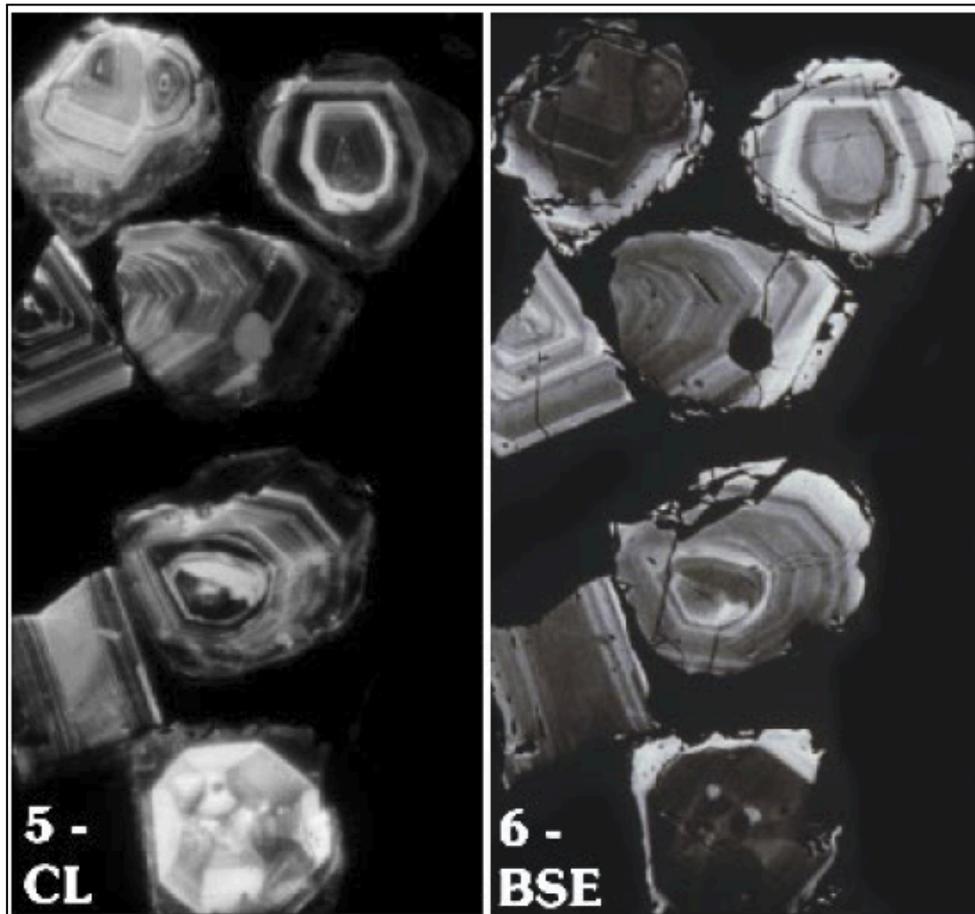
5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

A microscopia eletrônica de varredura é uma ferramenta para observar qualquer superfície de amostra sólida sob muito maior ampliação do que os métodos ópticos. O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) funciona com um vácuo, onde um filamento metálico aquecido, finamente focalizado, emite um feixe de elétrons que incide e penetra a amostra, de modo a escaneá-la em um movimento regular. O bombardeamento desses feixes emite elétrons secundários, elétrons retroespalhados e raios de catodoluminescência. Os elétrons retroespalhados são os originais, procedentes da fonte do feixe, que é refletida na superfície da amostra, enquanto os elétrons secundários são produto da descarga da superfície da amostra causada pelo bombardeamento. A intensidade dos elétrons retroespalhados e secundários é influenciada pelo relevo da superfície e pelas propriedades físico-químicas da amostra. Portanto, a imagem eletrônica de varredura é produzida pelos elétrons retroespalhados e secundários, que por sua vez são sincronizados com um ponto de luz modulado em um tubo de raios catódicos e a integração de tais pontos de luz gera a imagem ampliada do objeto. Assim, a imagem eletrônica de varredura é formada na tela no mesmo momento do escaneamento pontual da superfície do objeto (Kimoto & Honjo, 1968) e representa em tons de cinza o mapeamento e a contagem de elétrons secundários e retroespalhados emitidos pelo material analisado (Duarte *et al.*, 2003). Esse procedimento foi realizado nos dias 31 de julho e primeiro de agosto de 2023, no Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

No caso do estudo de minerais, o imageamento por elétrons retroespalhados fornece a melhor resolução de texturas internas se comparado a outras técnicas de microscopia (Corfu *et al.*, 2003). Já as imagens de catodoluminescência mostram se um zircão é polifásico, mesmo que as fases não sejam visíveis no microscópio de luz transmitida, já que a catodoluminescência do zircão é um espectro de cinco faixas de energia superpostas, levando em consideração os efeitos de mudança química. Mesmo espectros bastante diferentes (como os de bordas ígneas ou de núcleos detríticos) podem ser explicados em termos de uma variação correspondente à intensidade dos componentes desta propriedade. Desse modo, os espectros da catodoluminescência também mostram se um núcleo é herdado, quando existirem diferenças espectrais significativas, ou cogenético, quando possui conformidade

com a borda ígnea. Essas imagens (Figura 3) são imprescindíveis ao se escolherem os zircões para estudos de datação de rocha, já que sem a distinção das fases e da origem dos núcleos podem ser produzidas idades ígneas imprecisas, especialmente quando se trabalha com zircões grandes (Koschek, 1993).

Figura 3. Comparação entre uma imagem de catodoluminescência (CL) e outra de elétrons retroespalhados (BSE) do mesmo grupo de zircões. Observe-se que as áreas claras em CL são escuras em BSE e vice-versa. Fonte: Corfu *et al.* (2003)



Neste trabalho as imagens de elétrons retroespalhados, foram usadas com foco na caracterização textural dos grãos, enfatizando as suas fraturas e imperfeições, enquanto as imagens de catodoluminescência serviram para distinguir eventos de cristalização registrados nas bandas de crescimento dos grãos de zircão e nos seus eventuais núcleos herdados. Os dois tipos de imagem, por terem uma escala de visualização dos grãos significativamente ampliada, foram usados na mensuração dos cristais de zircão, para o que se utilizou o programa *Image Meter*.

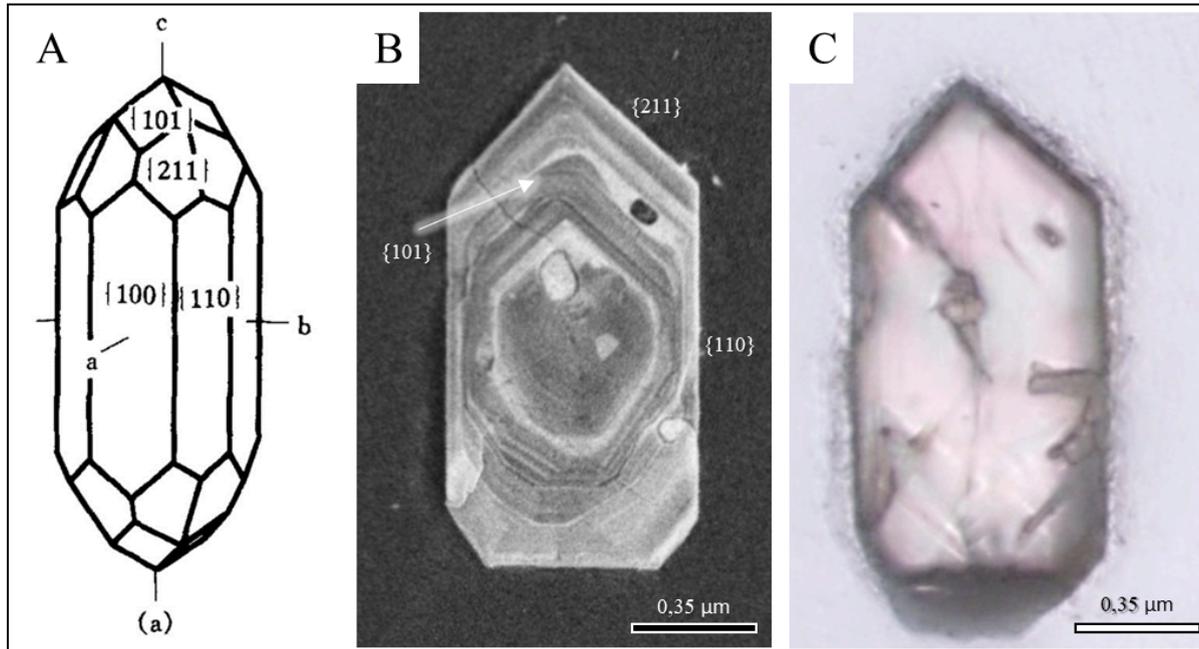
5.4 Tipologia de Zircão

5.4.1 Cristalografia do zircão

A morfologia de um cristal de zircão é tetragonal e o modelo teórico do zircão ideal compõe-se basicamente das faces prismáticas $\{100\}$ e $\{110\}$, e das faces piramidais $\{211\}$ e $\{101\}$ (Figura 4). As diferentes combinações destes planos cristalográficos resultam na grande variedade de tipos morfológicos descrita por Pupin (1980), o que também fica registrado nos padrões de zonação, que revelam o formato e os limites anteriores do cristal.

Outro elemento importante é a alongação dos cristais de zircão, que se define como o desenvolvimento relativo entre faces prismáticas e piramidais (Wang, 1998). Essa proporção normalmente reflete a velocidade de cristalização, onde cristais alongados ou aciculares refletem uma cristalização mais rápida e são frequentes em intrusões rasas, enquanto grãos curtos ou equantes refletem uma cristalização mais lenta e são frequentes em intrusões profundas. Em rochas ígneas as razões de alongação do zircão comumente variam de 1 a 5 (Corfu *et al.* 2003). No entanto, para a tipologia de Pupin a alongação dos cristais não é levada em conta (Pupin, 1980).

Figura 4. a) Ilustração dos planos cristalográficos, em notação de Miller, de um grão de zircão. Fonte: (Wang Xiang, 1998); b) Imagem de catodoluminescência destacando as faces cristalográficas do zircão número 8 da amostra TM43 (Fonte: o autor), que foi classificado como sendo do tipo S10. Os cristais de tipo S costumam ter bem desenvolvidos os planos prismáticos $\{100\}$ e $\{110\}$, e os planos piramidais $\{101\}$ e $\{211\}$ (Pupin, 1980); c) Imagem do mesmo zircão ao microscópio petrográfico, sob luz natural (Fonte: o autor).



5.4.2 A Tipologia

A tipologia de zircão (Pupin, 1980) é uma técnica estatística e analítica que foi desenvolvida com o objetivo de complementar estudos de campo e petrográficos que buscam resolver problemas a respeito das gênese das rochas, visto que o zircão é um mineral acessório muito comum e com muitas características observáveis (forma, dimensões, alongação², cor, zonação, sobrecrescimentos, inclusões etc.). Desse modo, a análise tipológica de uma população é feita em cristais automórficos³ ou subautomórficos, ficando de fora os cristais arredondados ou ovais. No entanto, é importante estabelecer a relação quantitativa de cristais automórficos, subautomórficos e arredondados de uma população, bem como indicar, se possível, as causas da subautomorfia (corrosão, desgaste mecânico ou fenômeno de supercrescimento etc.) e do arredondamento (Pupin & Turco, 1972).

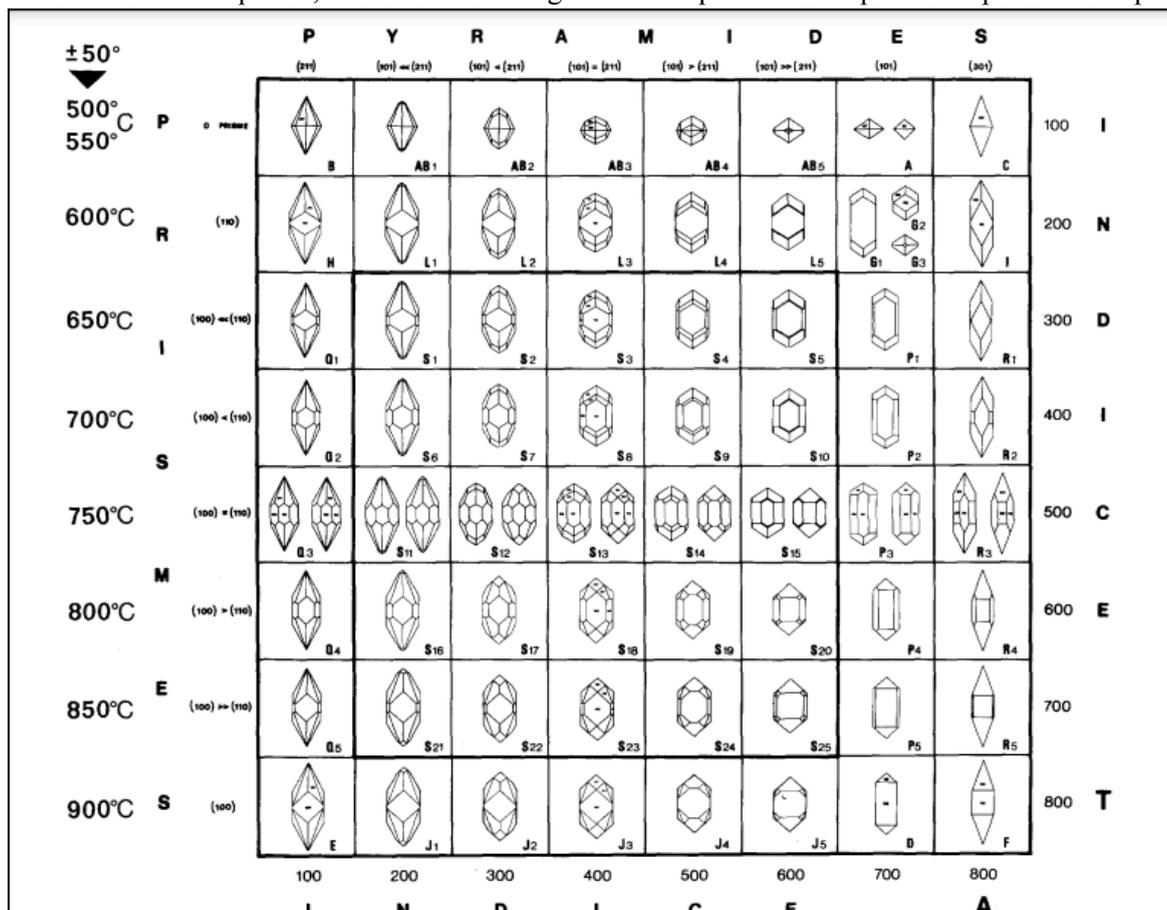
Depois de separar os cristais para análise, é necessário classificá-los de acordo com o tipo, representado por uma ou mais letras, sendo que o tipo corresponde à combinação de

² “É muito importante lembrar que a alongação dos cristais não é levada em conta na tipologia que propusemos.” (Pupin, 1980).

³ Automórfico: cristal limitado por seus planos cristalinos, o mesmo que idiomórfico ou euédrico (Bayley, 1888).

certas faces prismáticas e piramidais. Alguns tipos apresentam quantidades de zircão tão abundantes que possibilitaram a distinção de muitos subtipos, representados por números (entre 1 e 25) associado a letra do tipo, que servem para distinguir, por meio de sua distribuição populacional, rochas que possuem porcentagens comparáveis do mesmo tipo de zircão (Pupin & Turco, 1972). Os tipos principais podem ter um ou dois prismas (ou nenhum), ou seja, $\{100\}$, $\{110\}$ em combinação com qualquer uma das três pirâmides $\{101\}$, $\{211\}$ ou $\{301\}$, ou ainda o arranjo $\{101\} + \{211\}$. O tipo S, que é o mais abundante e por isso constitui o principal ponto do diagrama (Figura 5), onde todos os outros tipos principais são organizados logicamente. Contudo, alguns dos tipos principais permanecem inteiramente teóricos (C, I, R, F), estando na parte direita do diagrama (Figura 5), assim como os tipos T e K, que são fortemente ligados aos tipos P e D em rochas alcalinas (Pupin, 1980).

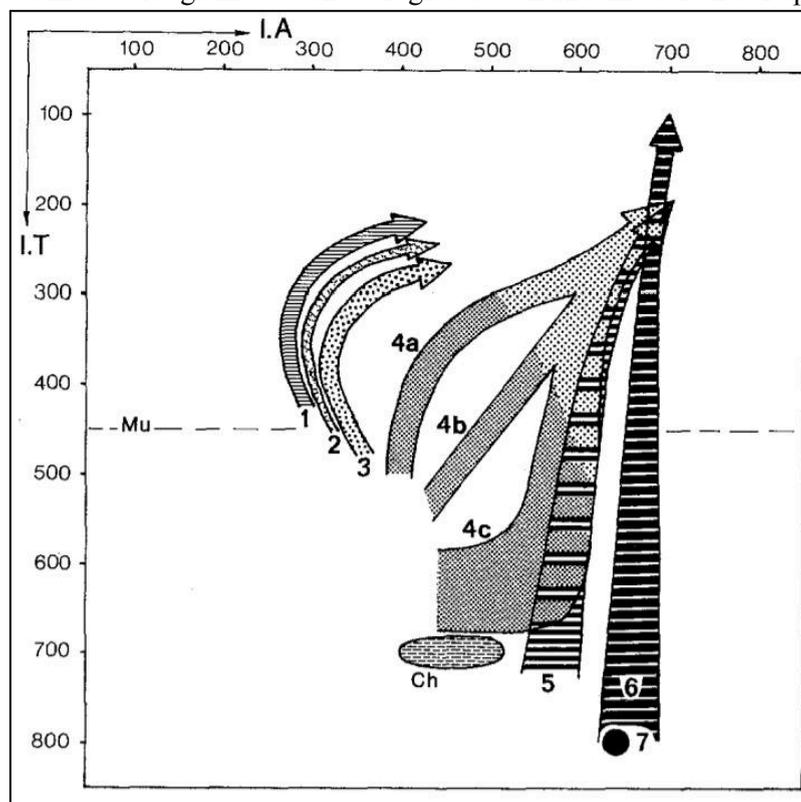
Figura 5. Diagrama de classificação extraído de Pupin (1980). A parte inferior do eixo das abscissas corresponde aos valores do índice A (I.A.), que estão relacionados às faces das pirâmides, discriminadas na parte superior. Já no lado direito do eixo das ordenadas, estão relacionados os valores do índice T (I.T.), que é dado em função das faces dos prismas, descritas do lado esquerdo. Também no lado esquerdo, é dada uma escala geotérmica aproximada à qual correspondem os tipos.



Assim, com base na comparação dos dados petrográficos e geoquímicos de granitos examinados com a distribuição das suas populações tipológicas de zircão (fig. 6) e das suas tendências tipológicas evolutivas (“*Typological Evolutionary Trend*” ou T.E.T.), Pupin (1980) propõe as seguintes classes petrogenéticas:

- A. Granitos de origem crustal ou principalmente crustal (orogênicos)
 - 1. leucogranitos aluminosos autóctones ou intrusivos.
 - 2. monzogranitos (sub) autóctones e granodioritos.
 - 3. monzogranitos aluminosos intrusivos e granodioritos.
- B. Granitos de origem crustal e mantélica ou híbridos (orogênicos)
 - 1. granitos calcialcalinos
 - 2. granitos subalcalinos
- C. Granitos de origem mantélica ou principalmente mantélica (anorogênicos)
 - 1. granitos alcalinos
 - 2. granitos toleíticos

Figura 6. Distribuição dos pontos médios e T.E.T médios das populações de zircão. Granitos de origem crustal ou principalmente crustal (1) leucogranitos aluminosos; (2) monzogranitos e granodioritos autóctones; (3) monzogranitos e granodioritos aluminosos intrusivos. - Granitos de origem híbrida, crustal e mantélica: (4a, b, c) granitos calcialcalinos (área escura = granodioritos e monzogranitos; área clara = monzogranitos e granitos alcalinos); - Granitos de origem mantélica ou principalmente mantélica: (6) granitos alcalinos; (7) granitos toleíticos. Acima da linha tracejada Mu acham-se os muscovita-granitos e Ch é a região dos charnockitos. Fonte: Pupin (1980).



5.5 Química de Rocha Total

Um conjunto de 11 amostras de rochas vulcânicas das unidades estudadas foi selecionado para análise de elementos maiores, traços e terras raras (ETR). As amostras foram preparadas com moinho de bolas de ágata, que permite obter frações inferiores a 200 *mesh*. As análises foram realizadas no Bureau Veritas (Vancouver, Canadá) utilizando o método ICP-ES (Espectrometria de Emissão com Plasma Acoplado Indutivamente) para elementos maiores após fusão metaborato/tetraborato de lítio e digestão nítrica diluída e ICP-MS (Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado). Para a análise de ETR utilizou-se digestão adicional em *Aqua Regia*. Abundâncias totais dos óxidos principais e de vários elementos minoritários foram obtidas a partir de 0,2 g da amostra analisada por ICP-ES com limite de detecção de 0,01% para SiO₂, Al₂O₃, FeO_t, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, MnO, TiO₂ e P₂O₅. Os resultados de terras raras e elementos refratários foram obtidos a partir de 0,2 g de amostra analisada por ICP – MS com limite de detecção de 1 ppm para Ba, Be e Sn, 0,1 ppm para Ce, Cs, Hf, La, Nb, Rb, Ta, U, Y e Zr, 0,2 ppm para Co e Th, 0,3 ppm para Nd e 0,01–0,05 ppm para Dy, Er, Eu, Gd, Ho, Lu, Pr, Sm, Tb, Tm e Yb.

5.6 Química Mineral dos Zircões

As análises químicas dos zircões foram executadas no Laboratório *Laser-Ablation Split-stream Petrochronology* da Universidade da Califórnia - Santa Bárbara com uma instrumentação que consiste em uma unidade de ablação a *laser Cetac Photon Machines Excimer 193 nm* acoplada a um ICP-MS (*inductively coupled plasma - mass spectrometer*) multicoletor Nu Plasma P3D. Os padrões analisados foram o 91500 (Wiedenbeck *et al.*, 1995) e GJ-1 (Horstwood *et al.*, 2016).

6 TRABALHOS QUE APLICARAM A TIPOLOGIA DE ZIRCÃO

Diversos trabalhos de pesquisa no campo da petrogênese e caracterização de rochas ígneas plutônicas (e.g. Bossart *et al.*, 1986; Galembeck *et al.*, 2001) têm-se valido da tipologia de zircão (PUPIN, 1980) como a principal ferramenta de suas investigações. Poucos, porém, são os estudos que aplicam essa técnica a rochas vulcânicas (Araujo, 2014; Akin *et al.*, 2017). Akin *et al.* (2017) fizeram uma comparação entre a tipologia de zircão e as restrições termoquímicas de termometria de zircônio e das composições de rocha total de

várias rochas vulcânicas da Província Vulcânica da Anatólia Central, Turquia, que estiveram em erupção entre o Mioceno Superior e o Quaternário, em ambiente continental com regime extensional pós-colisional.

O vulcanismo riolítico do Mioceno produziu rochas piroclásticas como ignimbritos e depósitos de queda subordinados, enquanto o vulcanismo quaternário gerou domos de lava riolíticos. Nessas rochas, foi atestado que as tendências na saturação de zircônio e as temperaturas de cristalização de zircão em ignimbritos da província vulcânica são amplamente consistentes com as temperaturas estimadas pela tipologia, embora as diferenças de temperatura entre essas estimativas sejam ligeiramente maiores ou menores. Tais diferenças devem-se, provavelmente, ao fato de que a tipologia de zircão foi desenvolvida a partir de rochas graníticas, nas quais as populações de zircão cristalizaram de um modo diverso daquele das rochas vulcânicas investigadas. E de fato, os resultados apresentados no artigo mostram que há diferenças de tipologia até mesmo entre as populações de zircão de ignimbritos do Mioceno e as dos domos de lava riolíticos do Quaternário.

Belousova *et al.* (2005) aplicaram a tipologia de zircão, auxiliada por análises das assinaturas dos elementos traço e das composições de isótopos de Hf, a granitoides do leste da Austrália com vistas ao desenvolvimento de um modelo petrogenético. Os resultados demonstram que as mudanças na morfologia dos grãos de zircão, tanto considerados individualmente, como em populações, correlacionam-se às mudanças nas assinaturas dos isótopos de Hf e nos elementos traço, refletindo as mudanças composicionais geradas por processos de mistura de magmas ou pela cristalização progressiva. A combinação dessas distintas técnicas de análise com a tipologia forneceu uma análise detalhada da evolução individual dos granitoides e das fontes dos seus magmas, com especial destaque para os processos de mistura de magmas, que raramente podem ser percebidos apenas a partir das análises de rocha total (Belousova *et al.* 2005).

Portanto, a tipologia de zircão segue sendo uma importante ferramenta de investigação da gênese de rochas félsicas não peralcalinas. Embora existam fatores limitantes quanto a precisão das classificações e das próprias estimativas a elas vinculadas, as novas técnicas de mensuração dos grãos ou de geoquímica de elementos traço podem aperfeiçoar a tipologia e, sem dúvida, abrem novos campos de pesquisa.

7 REVISÃO DA TIPOLOGIA DE ZIRCÃO

Após quarenta e quatro anos da publicação de “*Zircon and Granite Petrology* (Pupin, 1980)”, Pupin (2024) fez uma revisão do seu método tipológico e apresentou algumas novidades no sentido de sintetizar a tipologia e ampliar as suas aplicações para mais tipos de rocha, como as metamórficas e as sedimentares. Dentre os conceitos novos, destaca-se o de “tipologia dinâmica”, que considera tanto os possíveis aprisionamentos dos grãos de zircão por outros minerais em diferentes etapas da cristalização fracionada, como contempla uma nova descrição da estrutura interna do zircão.

As imagens de catodoluminescência proporcionaram a identificação de uma tripartição na estrutura dos cristais de zircão, resultado de três gerações (ou fases) de crescimento bem definidas: na fase 1, o zircão é herdado, ocorrendo como núcleo em um cristal, com morfologia, química e estrutura interna distintivas, podendo corresponder a um relicto restante da fusão crustal, em magmas anatóticos, ou a núcleos herdados oriundos da rocha encaixante, ou ainda resultante de processos de mistura de magma; na fase 2, a fase magmática, é a que retém as informações mais significativas a respeito da fonte do magmatismo e onde há o maior crescimento da face prismática {100}; e na fase 3, correspondente ao estágio tardio do magmatismo, geralmente enriquecida com elementos incompatíveis, tais como U, Hf e/ou Y, ocorrem os sobrecrecimentos descritos na literatura, sempre encontrados tipos de menor temperatura nos *trends* de cristalização, nos grãos com os menores índices T (Pupin, 2024).

Sinteticamente, a tipologia é a distribuição da frequência dos tipos de uma população de zircões, para a qual se calcula o ponto médio (A, T) e se determina a uma tendência de evolução (T.E.T.) identificada com determinados tipos de magma e afinidades químicas.

8 CRÍTICAS À TIPOLOGIA DE ZIRCÃO

De acordo com Pupin (1980), as características químicas do meio de cristalização controlam a origem e o crescimento relativo das faces piramidais, sendo que meios hiperaluminosos ou hipoalcalinos favorecem o desenvolvimento de faces {211}, enquanto meios hipoaluminosos ou hiperalcalinos favorecem as faces {101}. Ou seja, a razão Al/alcalinos controlaria o índice A (eixo horizontal). Já a origem e crescimento das faces prismáticas, que determina o índice T (eixo vertical) seria controlada pela temperatura do magma, podendo o zircão ser considerado como um termômetro geológico (Pupin, 1980). A

tese do zircão como geotermômetro é, todavia, contrariada por Vavra (1990) que aponta como inválida a premissa da tipologia de Pupin (1980) que supõe que o crescimento das faces piramidais e prismáticas obedece a controles externos, no caso, a química e a temperatura, e independentes um do outro. “Esta suposição está em contradição com a consideração da cinemática do crescimento do cristal, uma vez que a taxa de crescimento de uma única forma de prisma (*e. g.*, {110}) não afeta apenas as proporções das formas do prisma (eixo vertical), mas também as proporções das formas piramidais (eixo horizontal)”. Assim, as condições externas não determinariam uma morfologia específica do zircão, mas influiriam em uma mudança pontual de hábito durante o crescimento cristalino (Vavra, 1990).

9 RESULTADOS

9.1 Petrografia e tipologia

No quadro 2, juntamente com as afinidades químicas extraídas da bibliografia, foram sintetizadas as texturas, os nomes e a mineralogia das rochas estudadas, no entanto, para a tipologia de zircão, o aspecto de maior relevância é a mineralogia, pois a presença de alguns minerais está diretamente relacionada com os índices T apresentados por uma população de zircão.

Assim, nas amostras VR04, MA01, PGR27, GLR35 e SS39 a existência de clinopiroxênio, de acordo com Pupin (1980), indica uma cristalização a altas temperaturas, uma vez que as populações de zircão de rochas com anfibólios, piroxênios e peridotitos possuem altos valores para o índice T (> 500), que é diretamente relacionado à temperatura. Por outro lado, minerais como biotita e moscovita nas mesmas amostras indica que elas devem conter, além das populações de zircão de alta temperatura, populações de zircão com I.T. baixo (Pupin, 1980) o que seria o reflexo de uma cristalização continuada até as fases tardias do magmatismo. Seguindo o mesmo critério, a amostra VR05, que contém clorita, a amostra TM71, que além de clorita contém epidoto, e amostra TM71, que contém turmalina em quantidades traço e quartzo intersticial, seriam rochas com zircões de baixa temperatura de cristalização, bem como de baixo índice T. Nas figuras 7 e 8 são apresentados exemplares de minerais das rochas descritas.

Quadro 2. Mineralogia principal, texturas, classificação petrográfica e classificação química das amostras, onde: Kf designa o feldspato alcalino; plag designa o plagioclásio; qz, o quartzo; cpx, o clinopiroxênio; or, ortoclásio; ol, oligoclásio; mc, microclínio; mt, magnetita; ep, epidoto; bt, biotita; ms, moscovita; cl, clorita; e opacos para os minerais opacos.

Amostra	Texturas	Mineralogia	Classificação	Afinidade quím.
VR04	holocristalina, porfirítica, matriz microcristalina	plag, qz, cl, cpx, matriz de qz	feno-dacito	calcicalcina de alto K
VR05	holocristalina, porfirítica, matriz microcristalina	qz, Kf, cl, opacos, matriz de Kf	riolito	calcicalcina de alto K
TM28	holocristalina, porfirítica, matriz microcristalina	plag, opacos, ep, matriz de Kf	feno-basalto	calcicalcina de alto K, tipo I
TM31	holocristalina, porfirítica, matriz criptocristalina	opacos, mt, mineral incolor (?), matriz de Kf	metavulcânica	calcicalcina de alto K, tipo I
TM43	holocristalina, porfirítica, matriz microcristalina foliada	plag, Kf, or, cl, ep, qz e matriz qz-Kf	latito	calcicalcina de alto K, tipo I
TM71	holocristalina, porfirítica	f, or, mc, cl, opacos, qz, cl e matriz de Kf	álcali-feldspato -traquito	calcicalcina de alto K, tipo I
LA01	holocristalina, porfirítica, com matriz microgranular	Kf, plag, qz, ol, mc e matriz qz-Kf	feno-quartzo-latito	granitoides tipo A
MA01	holocristalina, porfirítica, matriz microcristalina	Kf, plag, qz, cpx, bt, e matriz qz-Kf	riolito	granitoides tipo A
MA02	hipocristalina, porfirítica, matriz criptocristalina	f, qz, opacos e matriz qz-Kf com vidro	riolito	granitoides tipo A
GLR24	holocristalina, porfirítica	qz, opacos, cl e matriz qz-Kf	álcali-feldspato -riolito	calcicalcina de alto K, tipo A
GLR35	holocristalina, matriz microcristalina	Kf, cl, opacos, cpx, ms e matriz qz-Kf	riolito	calcicalcina de alto K, tipo A
PGR27	holocristalina, porfirítica, matriz microcristalina	Kf, plg, cpx, qz, opacos e matriz qz-Kf	riolito	calcicalcina de alto K, tipo A
SS39	holocristalina, porfirítica, matriz felsítica	qz, Kf, cpx, cl e opacos	riolito	calcicalcina de alto K, tipo A

Figura 7. Plagioclásio quebrado e com bordas reabsorvidas na amostra LA01, a nicóis cruzados com aumento de 5x ao microscópio petrográfico. Fonte: o autor.

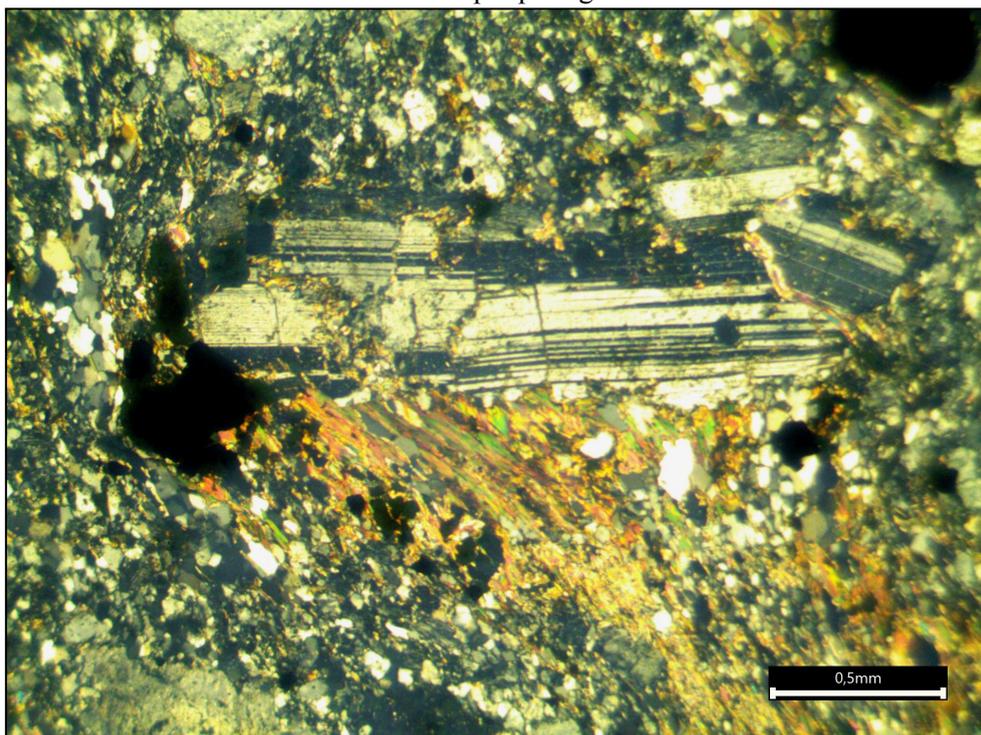
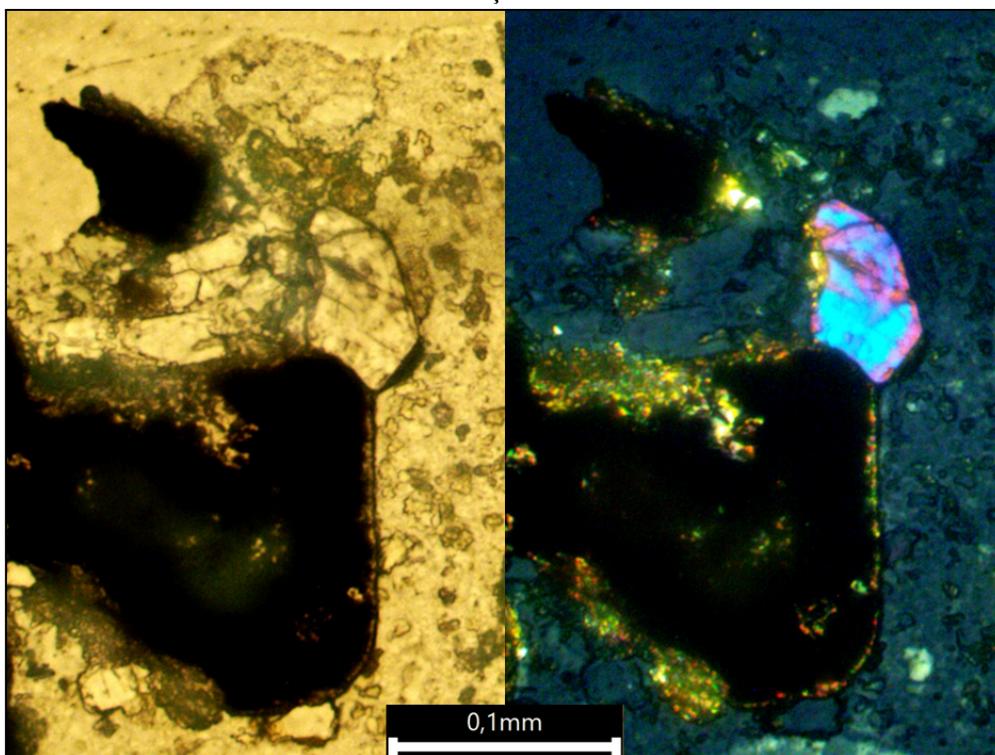


Figura 8. Ao microscópio petrográfico, grão de zircão ao lado de mineral opaco, na amostra PGR27, com ampliação de 20x, à esquerda, com nicóis descruzados, destaca-se o seu alto relevo, e à direita com os nicóis cruzados, as suas cores de interferência, azul e lilás de terceira ordem, variando conforme a zonação. Fonte: o autor.



9.2 Apresentação dos *mounts*

Após os processos de pulverização das amostras de rocha e de separação mineral, foi obtido um conjunto de quatro *mounts* (Figuras 9, 10, 11 e 12). Os *mounts* foram montados e embebidos em resina epóxi, e após a sua secagem foram polidos. Durante a montagem, cuidou-se que os grãos ficassem com a sua maior face prismática paralela à superfície plana do *mount*, a fim de que os cristais fossem mostrados na sua máxima extensão. Já os resultados da análise EDS, apresentados no Quadro 3, discriminam quais minerais nos *mounts* são de fato zircões, já que além de zircão foram encontrados cristais de apatita, de feldspato, de quartzo, de rutilo e de barita.

Quadro 3. Discriminação dos minerais e amostras contidos nos *mounts*.

Conteúdo Mineral dos <i>Mounts</i>					
<i>Mount</i>	MD 302				
Amostra		VR04	VR05	LA01	Totais
Minerais		69	57	54	180
Zircões		69	57	53	179
<i>Mount</i>	MD 303				
Amostra	TM28	TM31	TM43	TM71	Totais
Minerais	24	45	47	49	222
Zircões	4	0	47	49	153
<i>Mount</i>	MD 304				
Amostra			MA-01	MA-02	Totais
Minerais			52	50	102
Zircões			52	49	101
<i>Mount</i>	MD 305				
Amostra	GLR-24	GLR-35	SS-39	PGR-27	Totais
Minerais	62	58	53	56	229
Zircões	62	51	51	55	219
Totais	Minerais	733	Zircões	652	

Figura 9. Imagem à lupa do *mount* MD-302, que contém as amostras LA01, VR04 e VR05, assim dispostas. Fonte: o autor.

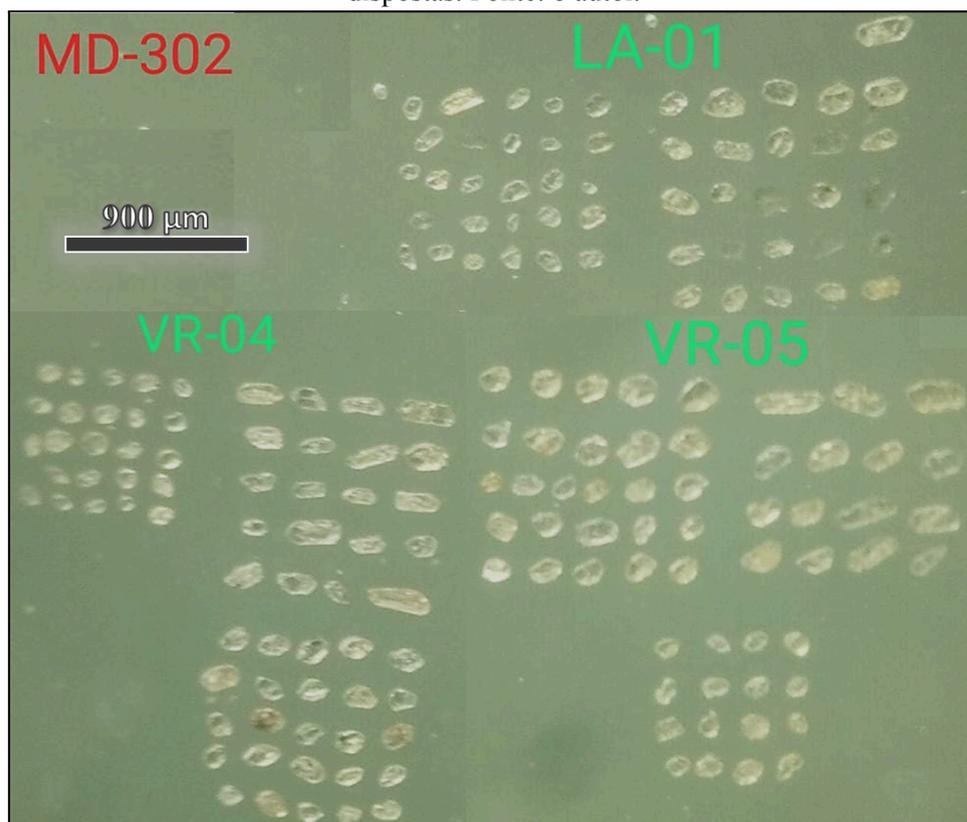


Figura 10. Mosaico de imagens do *mount* MD-303, que contém as amostras TM28, TM31, TM43 e TM71. Fonte: o autor.

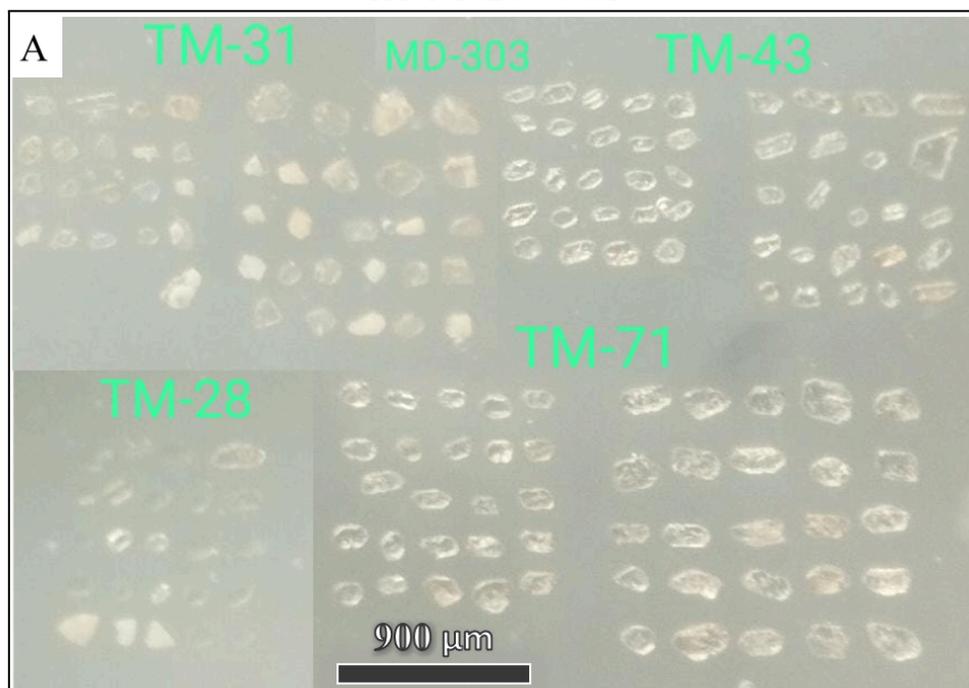


Figura 11. Mosaico de imagens do *mount* MD-304, que contém as amostras MA01 e MA02. Fonte: o autor.

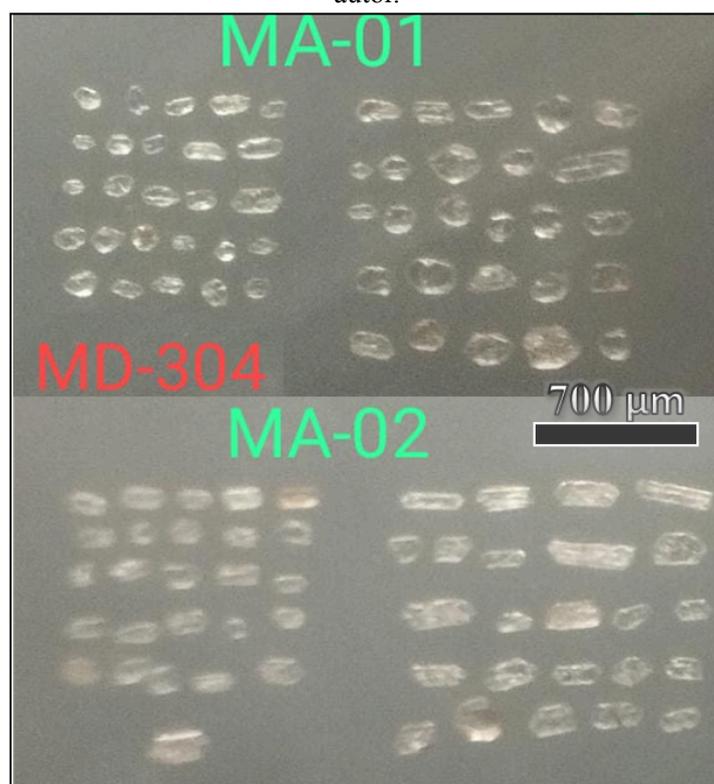
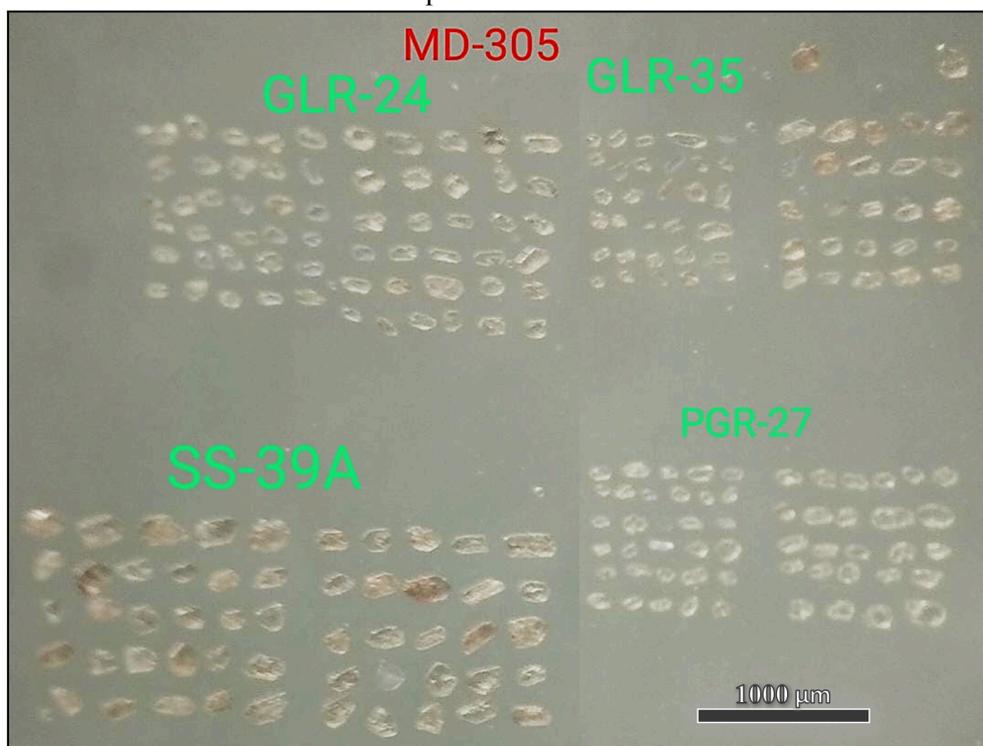


Figura 12. Imagem do mount MD-305, que contém as amostras GLR24, GLR35, SS39, e PGR27, assim dispostas. Fonte: o autor.



9.2 Critérios de seleção prévios à tipologia

As amostras para as quais foi feita a tipologia de zircão foram submetidas a uma análise de aptidão, já que nem toda rocha atende aos critérios necessários para ser considerada. O primeiro critério foi a abundância de zircão, pois não seria possível caracterizar uma tendência de cristalização das faces dos grãos de zircão se o seu número for demasiado pequeno. Assim, as amostras cuja separação mineral resultou em menos de dez cristais de zircão, nomeadamente a TM28 e a TM31, foram excluídas da tipologia.

Por fim, o último critério de aptidão não foi aplicado às amostras enquanto tais, mas sim às suas populações de zircão, a fim de verificar se cada um dos seus grãos possui a integridade morfológica mínima para ser classificado. Para tanto, foi desenvolvida uma escala de fiabilidade.

9.3 Escala de Fiabilidade

A correta realização da tipologia de Pupin (1980) supõe a classificação de zircões euédricos, sem grandes defeitos, que não hajam sofrido processos de abrasão e estejam inteiros. Assim, é necessário identificar quais os grãos estão qualificados para a aplicação da tipologia. Para isso foi desenvolvida uma escala de fiabilidade (Quadro 4) baseada nos critérios do grau de perfeição do grão e da conservação da sua integridade morfológica, ilustrados na figura 13.

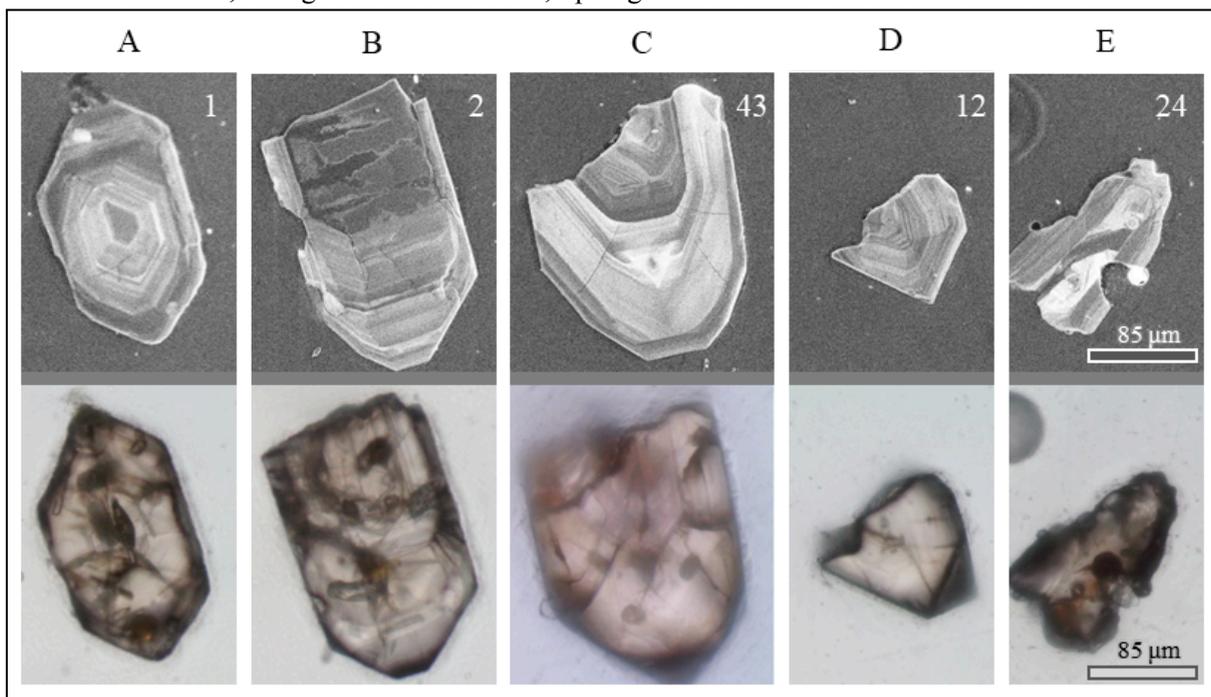
Quadro 4. Escala de fiabilidade da classificação tipológica dos grãos de zircão.

Escala de Fiabilidade	Valor atribuído
Cristal euédrico	1
Cristal euédrico quebrado	0,9
Cristal arredondado	0,6
Cristal quebrado e arredondado	0,3
Anédrico	0

Assim, grãos com valor de fiabilidade inferior a 0,9 foram considerados pouco confiáveis e os cristais anédricos, com valor de fiabilidade nulo, foram sumariamente descartados da análise tipológica. Todavia, a identificabilidade de feições típicas, como

zonação e desenvolvimento de determinadas faces pode agregar peso na escala de fiabilidade, mesmo se um cristal estiver fragmentado ou arredondado.

Figura 13. Zircões da amostra SS39 ilustrando cada um dos graus de fiabilidade, na parte superior com imagens de catodoluminescência e na parte inferior com fotografias dos *mounts* ao microscópio petrográfico, sob luz natural e aumento de vinte vezes, com a escala gráfica indicada no zircão 24 igual para todos os demais; a) zircão número 1, com valor de fiabilidade 1, classificado tipologicamente como S10; b) zircão 2, com valor de fiabilidade 0,9, classificado tipologicamente como D; c) zircão número 43, com grau de fiabilidade 0,6, classificado tipologicamente como S10; d) zircão número 12, com grau de fiabilidade 0,3, classificado tipologicamente como D; e) zircão número 24, com grau de fiabilidade 0, tipologicamente inclassificável. Fonte: o autor.



Quanto maior a imperfeição dos cristais, maior a subjetividade da sua classificação, e portanto, maiores as possibilidades de equívoco. Por isso os cristais pouco confiáveis integrarão os diagramas I.A./I.T. assinalados com a cor amarela, a fim de diferenciá-los dos cristais confiáveis, representados com a cor vermelha, de maneira que os grãos pouco confiáveis só serão considerados enquanto incorporam a tendência dada junto aos grãos confiáveis.

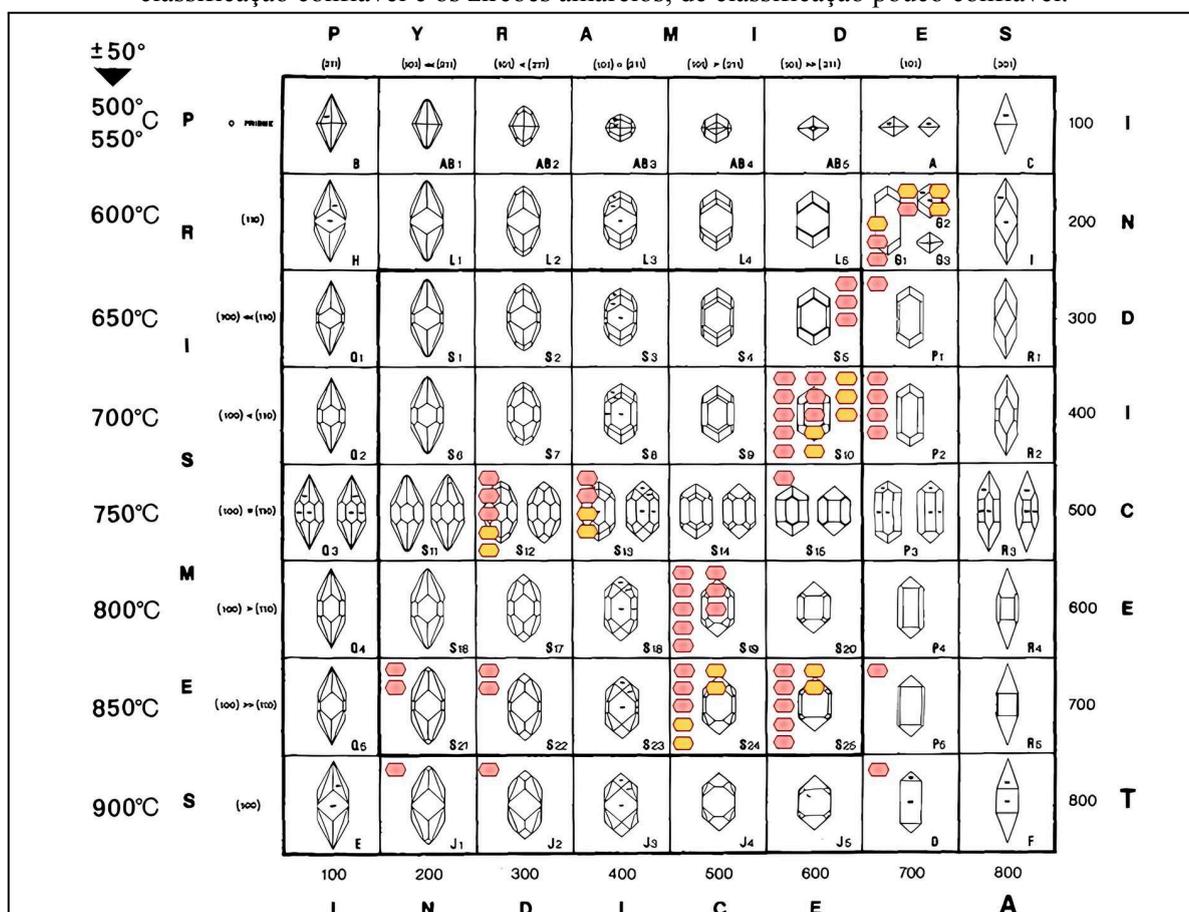
9.4 Classificação tipológica

Nesta secção serão apresentadas e descritas as principais feições das populações de zircão no diagrama I.A.-I.T. e o que elas representam para a classificação das amostras.

9.4.1 Amostra VR04

A amostra VR04 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um feno-dacito. Possui 69 cristais de zircão, dos quais 43 são considerados de classificação tipológica confiável. Um terço dos seus cristais são de tamanhos pequenos e forma equidimensional arredondada; outro terço é de cristais grandes, inteiros e aciculares; e o último terço compõe-se de cristais médios, um pouco fragmentados e tabulares. Essa diversidade de tamanhos e formatos indica que a rocha passou por diversos processos geológicos, desde uma cristalização mais rápida, enunciada pelos cristais maiores, até fragmentação física e abrasão térmica, registrada nos cristais pequenos. A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 14) expressa homogeneidade e coincide com a tendência de distribuição das rochas calcialcalinas de origem híbrida, parte crustal, parte mantélica. Já a temperatura média obtida para o magma que gerou a rocha pode ser considerada alta, 755,8 °C.

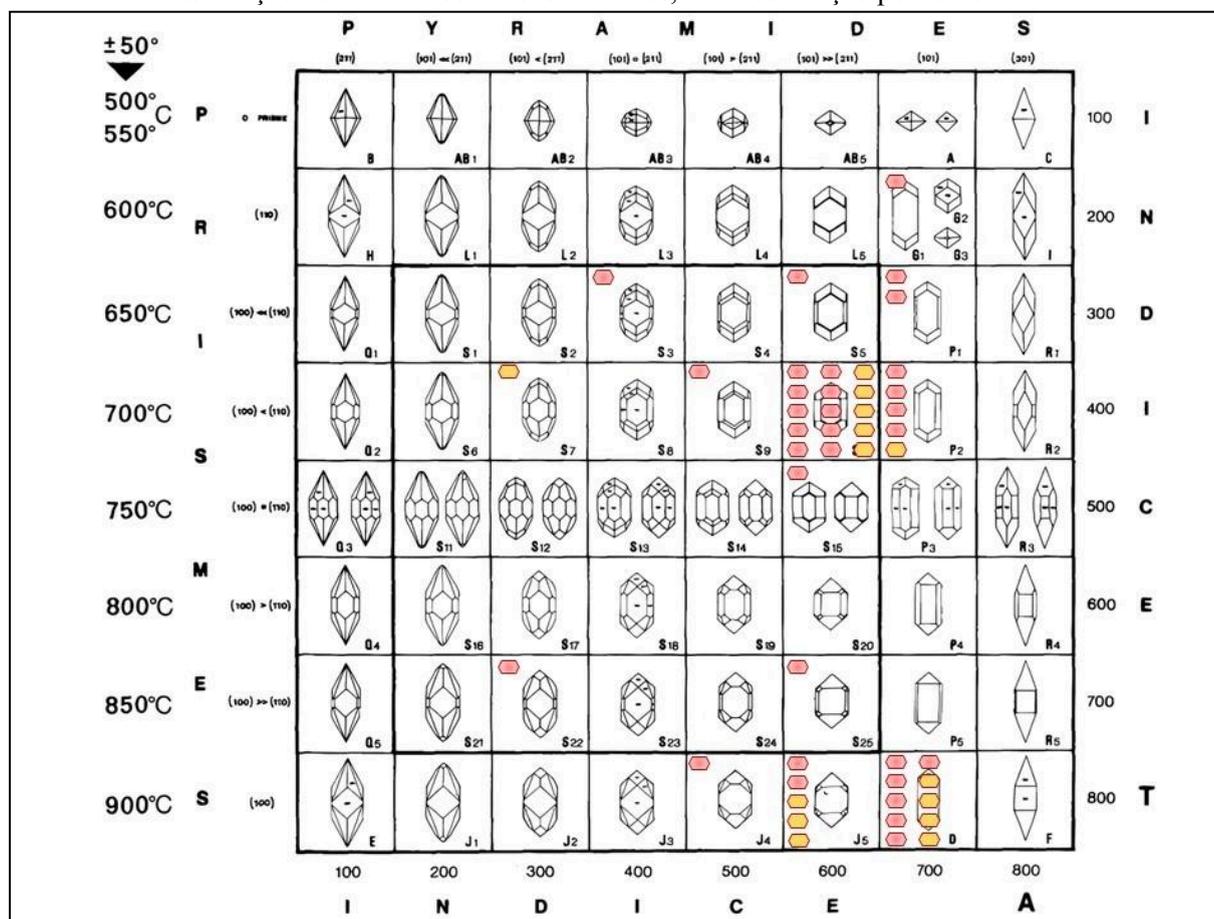
Figura 14. Diagrama tipológico da amostra VR04, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.



9.4.2 Amostra VR05

A amostra VR05 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um riolito. Possui 57 cristais de zircão, dos quais 32 são considerados de classificação tipológica confiável. Um terço dos seus cristais são de tamanhos pequenos e forma equidimensional arredondada; outro terço é de cristais grandes, inteiros e aciculares; e o último terço compõe-se de cristais médios, um pouco fragmentados e tabulares. Essa diversidade de tamanhos e formatos indica que a rocha passou por diversos processos geológicos, desde uma cristalização mais rápida, enunciada pelos cristais maiores, até fragmentação física e abrasão térmica, registrada nos cristais pequenos. A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 15) expressa homogeneidade e coincide com a tendência de distribuição das rochas calcialcalinas de origem híbrida, parte crustal, parte mantélica. Já a temperatura média obtida para o magma que gerou a rocha pode ser considerada alta, 770,65 °C.

Figura 15. Diagrama tipológico da amostra VR05, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.

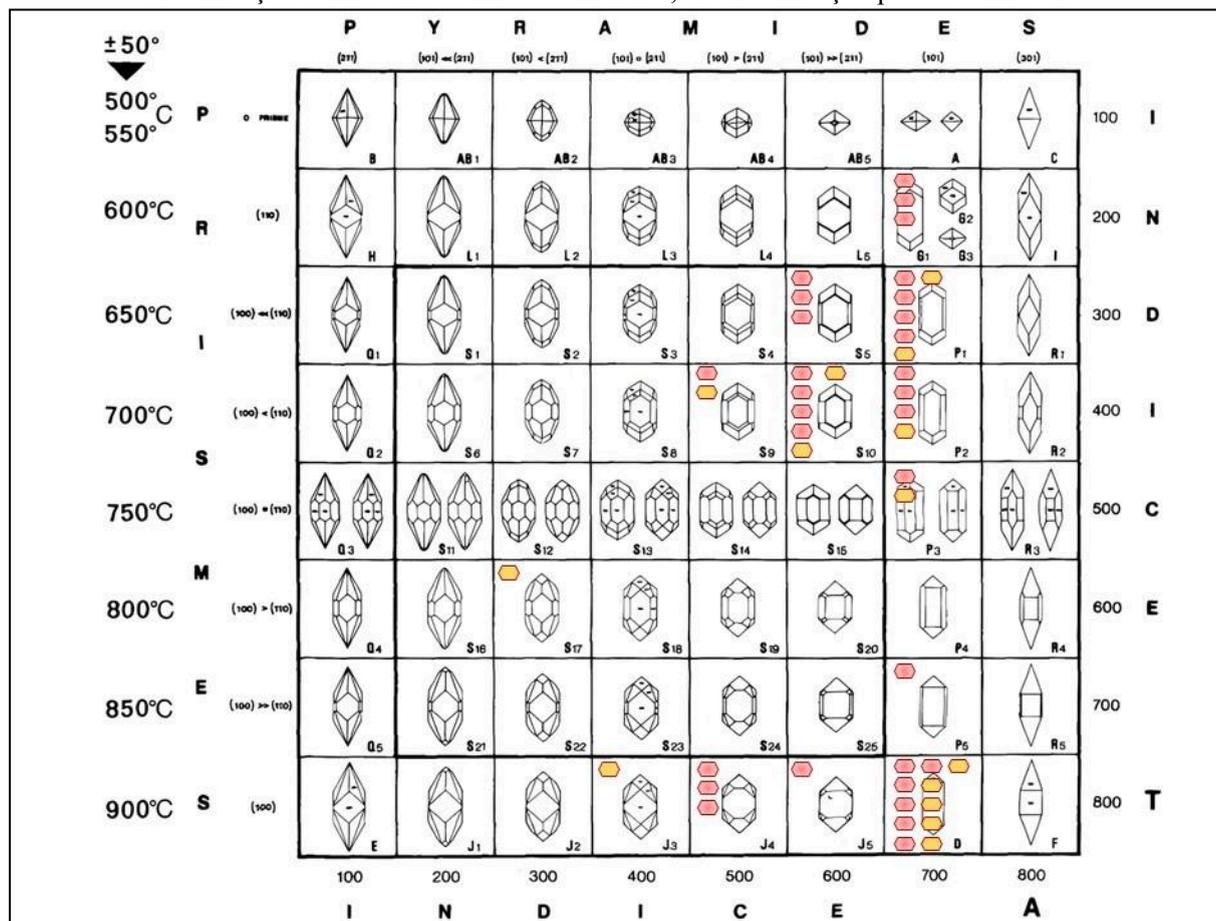


9.4.3 Amostra TM43

A amostra TM43 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um latito. Possui 47 cristais de zircão, dos quais 30 são considerados de classificação tipológica confiável. Os seus cristais são geralmente tabulares e frequentemente acham-se inteiros, mas com algum arredondamento, o que indica que a velocidade de cristalização teria sido moderadamente rápida, bem como a ocorrência de abrasão térmica subsequente.

A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 16) permite a identificação da ocorrência de duas populações de zircão, uma de alta temperatura, com a tendência igual àquela atribuída para rochas da série toleítica de origem mantélica, e uma população de temperatura mais baixa, cuja tendência identifica-se como alcalina de origem mantélica (granitos subsolvus). A temperatura média obtida para o magma gerador da amostra é de 763,33 °C.

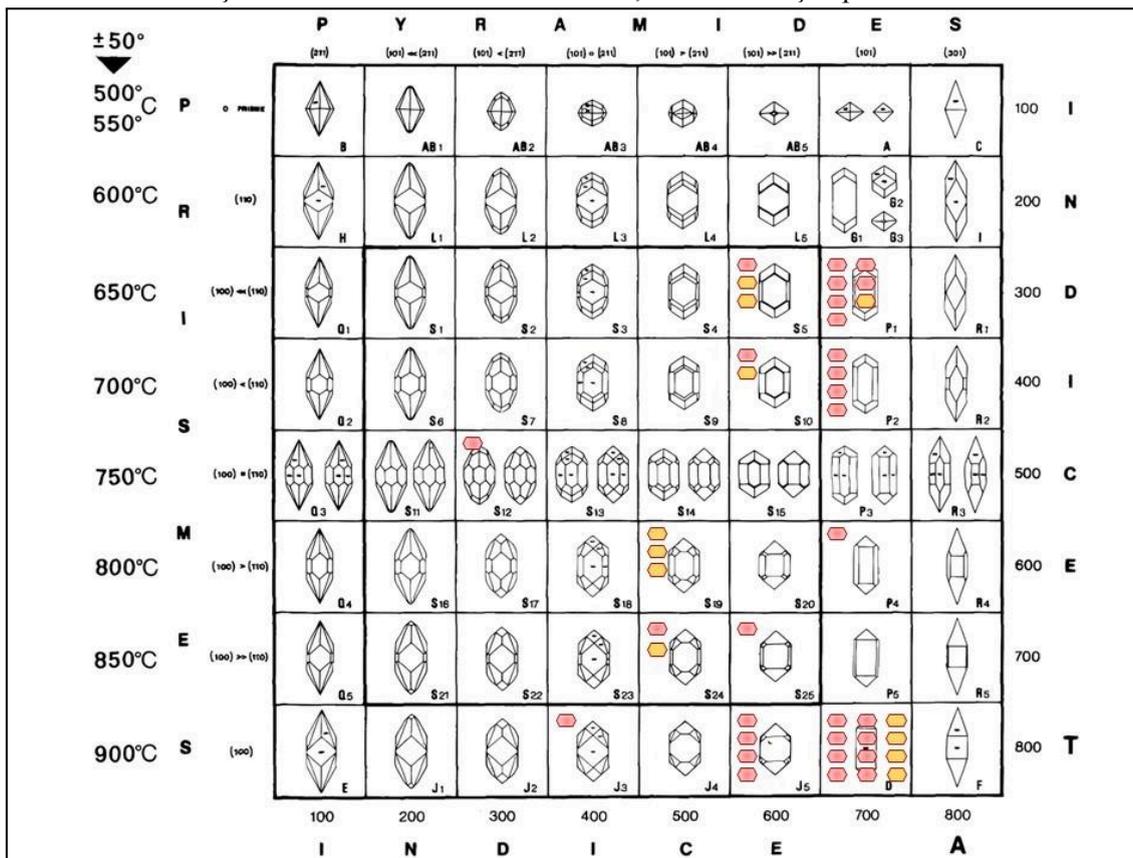
Figura 16. Diagrama tipológico da amostra TM43, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.



9.4.4 Amostra TM71

A amostra TM71 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um álcali-feldspato-traquito. Possui 49 cristais de zircão, dos quais 29 são considerados de classificação tipológica confiável. Seus cristais são grandes, tabulares e se acham frequentemente inteiros, mas com alguma aresta quebrada ou arredondada, o que pode indicar uma maior saturação de Zr no magma, bem como a ocorrência de processos de abrasão térmica e rompimento mecânico. A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 17) permite a identificação da ocorrência de duas populações de zircão, uma de alta temperatura, com a tendência igual àquela atribuída para rochas da série toleítica de origem mantélica, e uma população de temperatura mais baixa, cuja tendência identifica-se como alcalina de origem mantélica (granitos subsolvus). A temperatura média obtida para o magma gerador da amostra é de 770,27 °C.

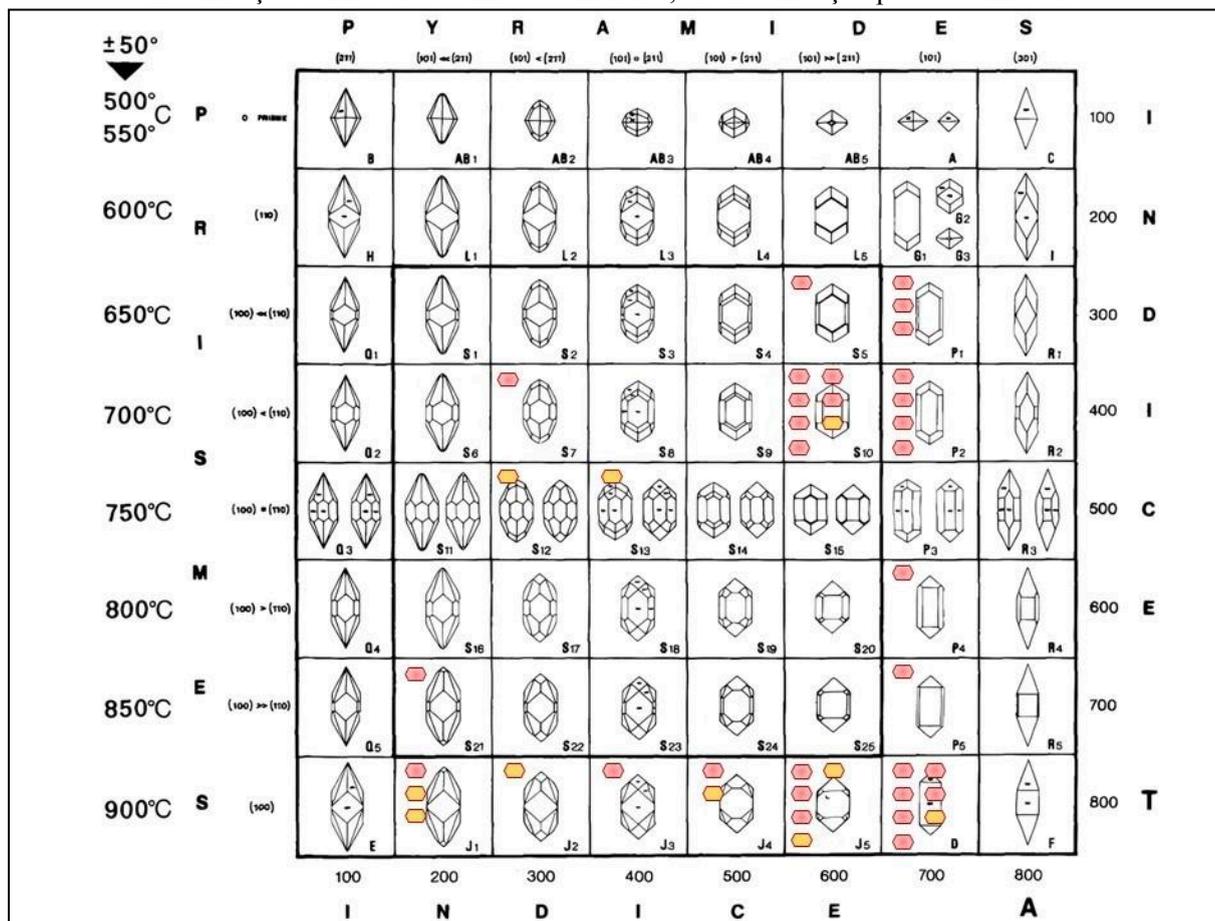
Figura 17. Diagrama tipológico da amostra TM71, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.



9.4.5 Amostra LA01

A amostra LA01 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um feno-quartzo-latito. Possui 54 cristais de zircão, dos quais 30 são considerados de classificação tipológica confiável. Os seus cristais são pequenos, frequentemente equidimensionais e arredondados, embora por vezes haja cristais inteiros e tabulares, o que pode indicar que a rocha se formou a temperaturas mais altas, com velocidades de resfriamento e, portanto, de cristalização, mais lentas. A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 18) permite a identificação da ocorrência de duas populações de zircão, uma de alta temperatura, com a tendência igual àquela atribuída para rochas da série toleítica de origem mantélica, e uma população de temperatura mais baixa, cuja tendência identifica-se como calcialcalina de origem híbrida. A temperatura média obtida para o magma gerador da amostra é de 805,95 °C.

Figura 18. Diagrama tipológico da amostra LA01, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.

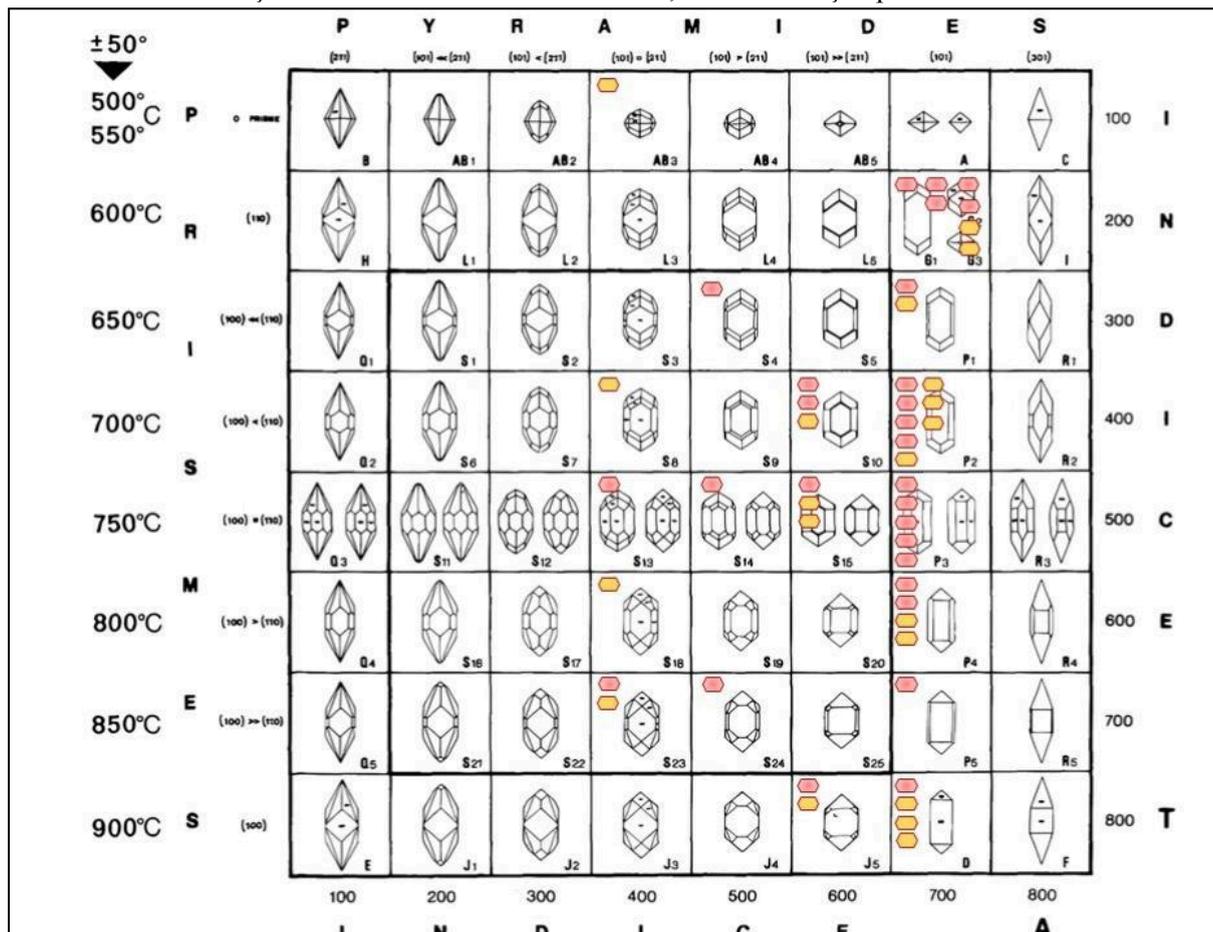


9.4.6 Amostra MA01

A amostra MA01 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um riolito. Possui 52 cristais de zircão, dos quais 28 são considerados de classificação tipológica confiável. Os seus cristais são normalmente equidimensionais, mesmo os que estão íntegros, que não são a maioria, já que há muitos zircões fragmentados ou arredondados. Os tamanhos obedecem uma distribuição seriada, com cristais muito pequenos, pequenos, médios e grandes. Esses aspectos podem ser indício de uma cristalização mais lenta e, sobretudo, a ocorrência de fragmentação mecânica.

A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 19) reflete uma tendência de cristalização típica das rochas da série calcialcalina de origem híbrida. A temperatura média obtida para o magma gerador da amostra é de 737,50 °C.

Figura 19. Diagrama tipológico da amostra MA01, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.

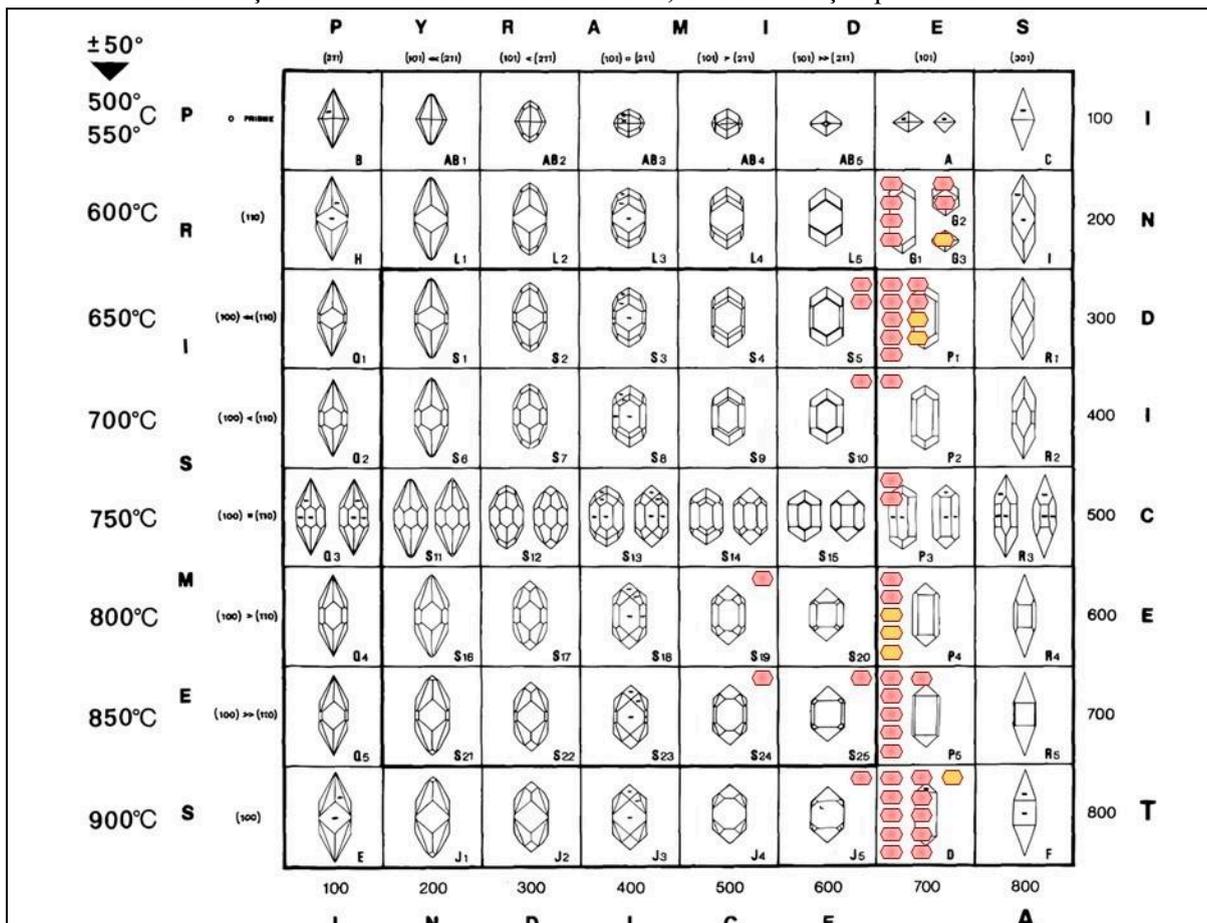


9.4.7 Amostra MA02

A amostra MA02 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um riolito. Possui 49 cristais de zircão, dos quais 42 são considerados de classificação tipológica confiável. Esses cristais são grandes, com formatos aciculares e frequentemente se encontram inteiros, o que denota uma cristalização rápida e uma saturação em Zr alta, bem como uma uniformidade nos processos pelos quais a rocha teria passado.

A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 20) expressa homogeneidade e coincide com a tendência de distribuição das rochas alcalinas de origem mantélica (granitos hipersolvus, transolvus e subsolvus). Já a temperatura média obtida para o magma que gerou a rocha é de 766,33 °C.

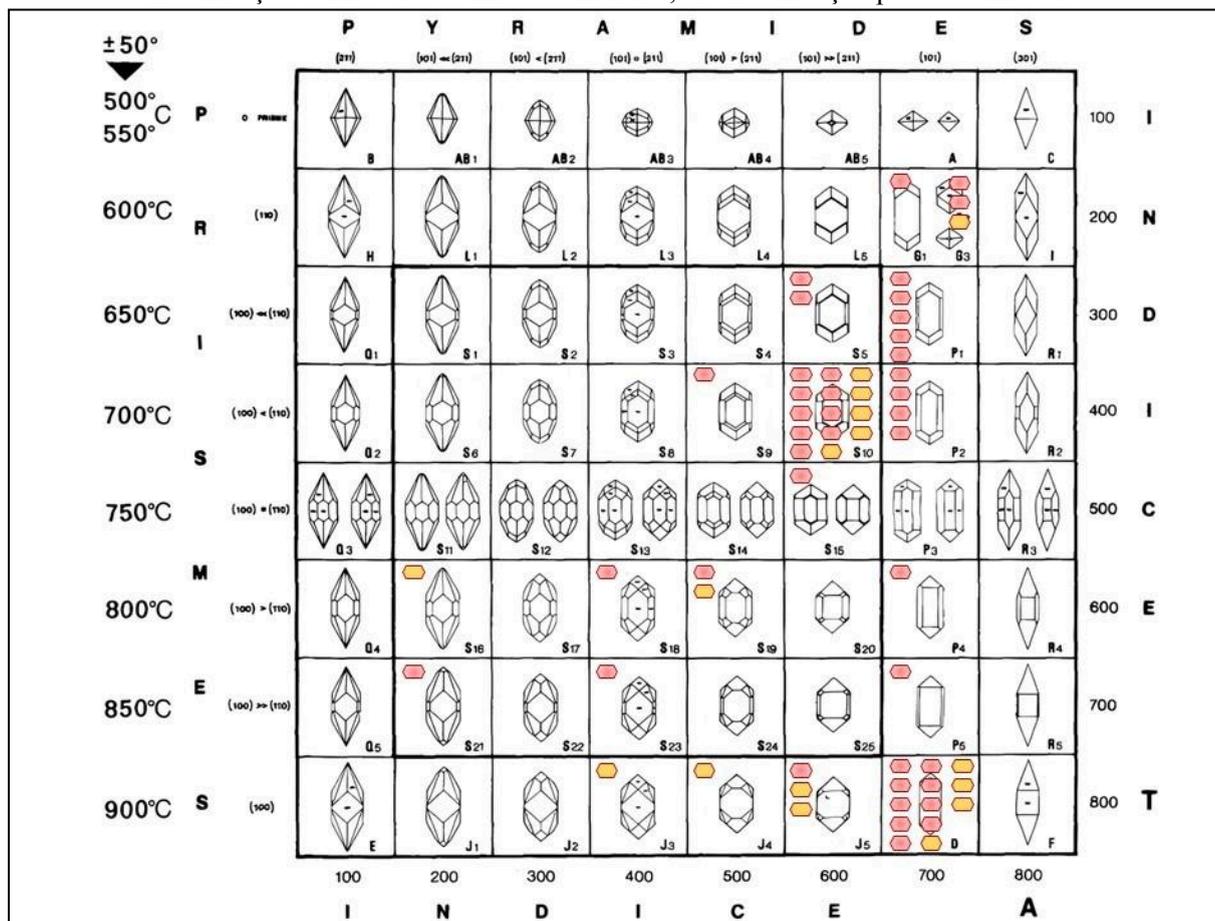
Figura 20. Diagrama tipológico da amostra MA02, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.



9.4.8 Amostra GLR24

A amostra GLR24 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um álcali-feldspato-riolito. Possui 62 cristais de zircão, dos quais 42 são considerados de classificação tipológica confiável, são geralmente tabulares, mais alongados quando inteiros, e por vezes se encontram fragmentados ou arredondados. Tais características enunciam uma cristalização ligeiramente rápida, mas sobretudo a ocorrência de processos térmicos e mecânicos de abrasão e de ruptura, respectivamente. A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 21) permite a identificação da ocorrência de duas populações de zircão, uma de alta temperatura, com a tendência igual àquela atribuída para rochas da série toleítica de origem mantélica, e uma população de temperatura mais baixa, cuja tendência identifica-se como alcalina de origem mantélica (granitos subsolvus). A temperatura média obtida para o magma gerador da amostra é de 763,79 °C.

Figura 21. Diagrama tipológico da amostra GLR24, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.

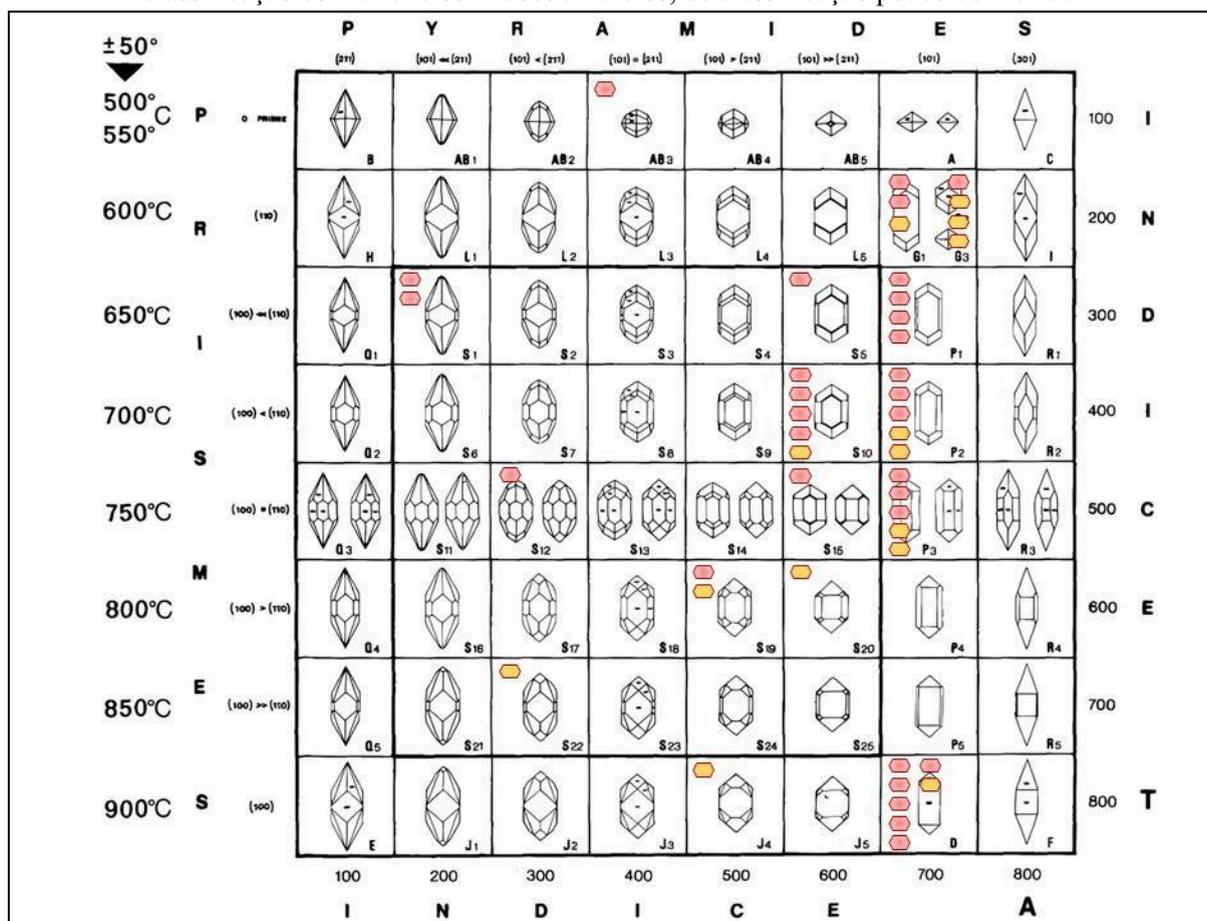


9.4.9 Amostra GLR35

A amostra GLR35 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um riolito. Possui 51 cristais de zircão, dos quais apenas 30 são considerados de classificação tipológica confiável. Esses cristais possuem forma tabular, muitos estão íntegros e outros foram arredondados ou fragmentados, indicando a ocorrência de processos abrasivos térmicos e mecânicos.

A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 22) coincide com a tendência de distribuição das rochas alcalinas de origem mantélica, sendo que há uma população de mais alta temperatura, no campo dos granitos hipersolvus, e outra de mais baixa temperatura, no campo dos granitos subsolvus. Já a temperatura média obtida para o magma que gerou a rocha é de 727,27 °C.

Figura 22. Diagrama tipológico da amostra GLR35, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.

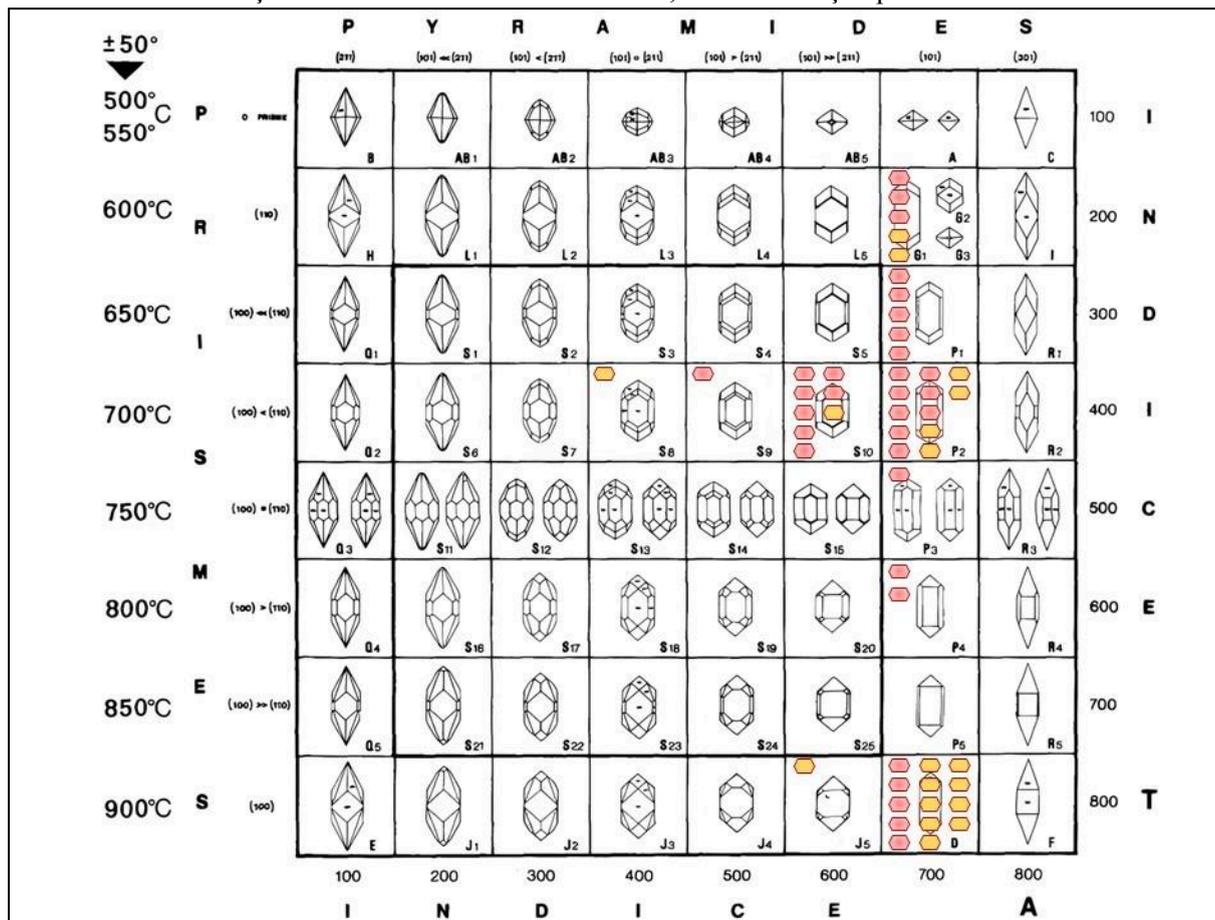


9.4.10 Amostra PGR27

A amostra PGR27 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um riolito. Possui 55 cristais de zircão, dos quais 31 são considerados de classificação tipológica confiável. Esses cristais são pequenos, com formas tabulares ou alongadas, o que pode significar a um só tempo que o magma teria sido pouco saturado em Zr e que a velocidade de cristalização teria sido relativamente rápida.

A distribuição dos tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 23) é homogênea, com a tendência igual àquela atribuída para rochas da série alcalina de origem mantélica (granitos hipersolvus, transolvus e subsolvus). A temperatura média obtida para o magma gerador da amostra é de 750,00 °C.

Figura 23. Diagrama tipológico da amostra PGR27, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.

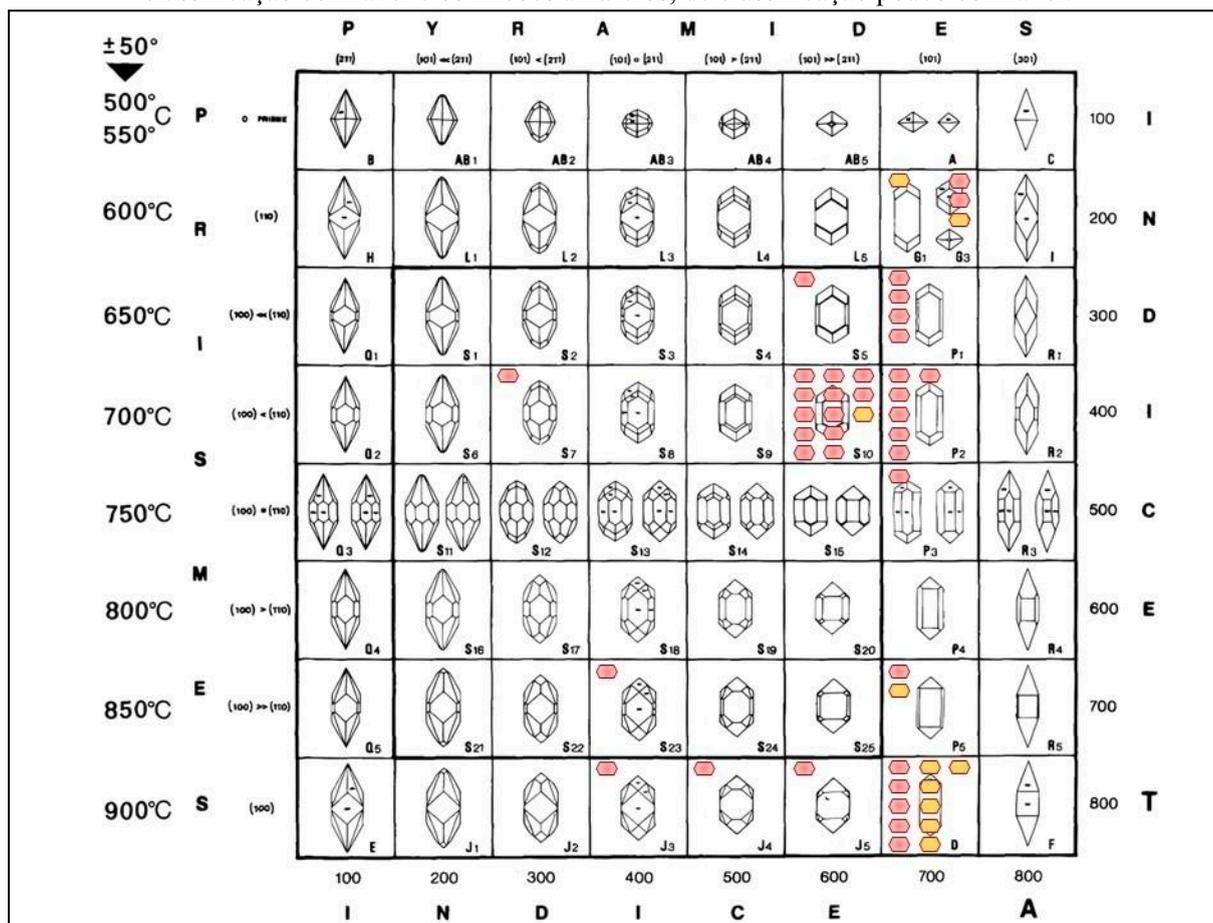


9.4.11 Amostra SS39

A amostra SS39 é, de acordo com o diagrama QAPF (Le Maitre, 2002) um riolito. Possui 51 cristais de zircão, dos quais 36 são considerados de classificação tipológica confiável. Esses cristais são grandes, com formatos quase equidimensionais (mesmo os cristais inteiros) e muitos estão fragmentados. Tais características podem indicar uma cristalização mais lenta e, sobretudo, a ocorrência de fragmentação mecânica.

Os tipos morfológicos encontrados no diagrama (Figura 24) distribuem-se em duas populações, uma de mais alta temperatura coincidente com a tendência dos granitos alcalinos mantélicos hipersolvus, e outra, de mais baixa temperatura, coincidente com os granitos alcalinos mantélicos subsolvus. Já a temperatura média obtida para o magma que gerou a rocha é de 756,38 °C.

Figura 24. Diagrama tipológico da amostra SS39, onde os zircões vermelhos são considerados de classificação confiável e os zircões amarelos, de classificação pouco confiável.



A síntese dos dados numéricos obtidos durante a classificação tipológica é apresentada no quadro 5, que informa os valores médios⁴ para a fiabilidade, a temperatura e o tamanho de grãos encontrados em cada uma das amostras analisadas.

A constatação empírica foi de que as amostras com fiabilidade média inferior a 0,75 apresentaram a maior parte dos seus cristais fragmentados ou arredondados ou anédricos, enquanto as amostras com fiabilidade média superior apresentaram a maior parte dos seus grãos em formas euédricas, com pouca fragmentação ou arredondamento. As médias também confirmam a análise visual dos tamanhos de grão referidos como grandes e pequenos, exceto no caso das amostras VR04 e VR05, que possuem variados tamanhos de grão, de modo que as suas médias sozinhas não são capazes de descrevê-las adequadamente nesse aspecto.

Quadro 5. Médias por amostra das medidas de fiabilidade, temperatura e área superficial dos cristais de zircão.

Médias			
Amostra	Fiabilidade	Temperatura	Superfície
VR04	0,78	755,80 °C	9.162,68 μm^2
VR05	0,64	770,65 °C	11.761,05 μm^2
TM43	0,76	763,33 °C	9.046,66 μm^2
TM71	0,77	770,27 °C	19.177,49 μm^2
LA01	0,80	805,95 °C	8.629,73 μm^2
MA01	0,70	737,50 °C	10.750,07 μm^2
MA02	0,88	766,33 °C	14.175,62 μm^2
GLR24	0,76	763,79 °C	10.007,80 μm^2
GLR35	0,67	727,27 °C	8.025,09 μm^2
PGR27	0,68	750,00 °C	7.761,83 μm^2
SS39	0,75	756,38 °C	19.484,05 μm^2

⁴ O fato de serem valores médios produz, por efeito da divisão, as casas decimais após a vírgula, que foram mantidas apenas para diferenciar as amostras umas das outras.

9.5 Temperaturas a partir da química de rocha total

A solubilidade do zircão é diretamente dependente da composição do magma (Watson & Harrison, 1983), por isso alguns estudos experimentais utilizam os dados de química de rocha total de amostras naturais para o desenvolvimento de modelos de saturação capazes de indicar a temperatura de saturação do magma em Zr, isto é, o momento em que se deu a cristalização do zircão. No presente trabalho, dois desses modelos foram empregados na obtenção das temperaturas de cristalização do zircão das amostras analisadas.

O primeiro modelo, de Watson & Harrison (1983), faz uma revisão dos estudos de saturação e temperatura de cristalização de zircão, além de investigar com maior detalhe a relação entre a composição magmática e a cristalização de zircão (Hanchar & Watson, 2006). A partir de tais estudos chegou-se ao seguinte modelo de saturação:

$$\ln D_{Zr}^{zircon/melt} = (-3.80 - [0.85(M - 1)]) + 12900/T$$

onde, o $D_{Zr}^{zircon/melt}$ é a razão de concentração de Zr em zircão sobre o Zr do magma, M é a razão catiônica, dada por: $(Na + K + 2*Ca)/(Al*Si)$, e T é a temperatura em Kelvin.

O modelo de saturação de Zr baseou-se em experimentos de fusão realizados a 860 °C, 930 °C e 1020 °C, mantendo o mesmo padrão obtido em testes com temperaturas superiores a 1500 °C. Já para temperaturas mais baixas, 750 °C e 800 °C, o modelo, embora confirmado, apresentou maiores imprecisões nos seus resultados, bem como solubilidade baixa. Assim, os resultados definiram que a saturação de zircão está diretamente relacionada à composição e à temperatura em magmas de composição anatética crustal.

Quanto à composição, a principal limitação deste modelo com relação às rochas da crosta continental, é que os dados experimentais usados são principalmente de rochas félsicas peralcalinas e metaluminosas (Watson & Harrison, 1983). Os cálculos de temperatura obtidos pelo modelo de Watson & Harrison (1983) para as amostras estudadas são apresentados abaixo, no quadro 6. Como as amostras TM43 e TM71 não possuem dados químicos de rocha total, a sua temperatura será média das temperaturas calculadas com base em dados químicos do Grupo Surumu extraídos da literatura (Fraga *et al.* 2010), unidade geológica a que pertencem.

Quadro 6: Temperaturas obtidas a partir da química de rocha total pelo parâmetro M (Watson & Harrison, 1983).

Amostra	Temperatura
VR04	606,61 °C
VR05	649,39 °C
Grupo Surumu	644,07 °C
LA01	623,73 °C
MA01	664,13 °C
MA02	679,58 °C
GLR24	615,33 °C
GLR35	646,61 °C
PGR27	526,09 °C
SS39	1220,47 °C

O segundo modelo experimental utilizado, desenvolvido por Gervasoni et al. (2016), amplia aquele feito por Watson & Harrison (1983). A partir de dados próprios e também de dados de outros pesquisadores, Gervasoni et al. (2016) descreveram a saturação do zircão em magmas alcalinos e aluminosos por meio de um novo parâmetro, chamado de G , cuja fórmula se expressa por:

$$G = (3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO}).$$

O parâmetro G é aplicável com eficiência em uma grande variedade de composições rochosas. Assim, Gervasoni et al. (2016) propuseram o seguinte modelo de saturação de zircão em magmas:

$$\ln [\text{Zr}] = (4.29 \pm 0.34) - (1.35 \pm 0.10) \cdot \ln G + (0.0056 \pm 0.0002) \cdot T(^{\circ}\text{C})$$

onde Zr é a concentração de zircônio no magma dada em $\mu\text{g/g}$, G o parâmetro de saturação acima descrito e T , a temperatura em graus celsius. A partir dessa equação, isola-se a variável T . Este modelo confirma que a saturação de zircão depende primariamente dos fatores composição e temperatura.

As temperaturas obtidas a partir da química de rocha total (Gervasoni *et al.* 2016) parâmetro G são apresentadas abaixo, no quadro 7.

Quadro 7. Temperaturas calculadas a partir da química de rocha total por meio do parâmetro G (Gervasoni *et al.* 2016), com erro (ou sigma) médio calculado entre as amostras de 19,32 °C para mais ou para menos.

Amostra	Temperaturas
VR04	791,51 °C
VR05	642,45 °C
Grupo Surumu	724,79 °C
LA01	762,38 °C
MA01	831,27 °C
MA02	742,84 °C
GLR24	848,72 °C
GLR35	774,86 °C
PGR27	789,84 °C
SS39	748,58 °C

9.6 Temperaturas a partir do conteúdo de Ti nos zircões

A cristalização do zircão em magmas ricos em água começa no início do período magmático e continua até os estágios finais do magmatismo, possibilitando que os cristais de zircão incorporem muitos elementos traço, como U, Th, Y, elementos terras-raras e Ti (Pupin, 1980). Como o conteúdo de Ti no zircão é fortemente dependente da temperatura, alguns modelos foram desenvolvidos para usá-lo como geotermômetro (Ferry & Watson, 2007).

Assim, uma vez que o conteúdo de Ti do zircão coexiste com rutilo ou outras fases ricas em Ti e possui uma forte dependência da temperatura, Ferry e Watson (2007) calibraram um modelo termodinâmico baseado em tais componentes de fase, que são independentemente variáveis. Esse geotermômetro, considerando as evidências, àquela época, circunstanciais da substituição de Si por Ti no zircão, incorporam explicitamente a sua dependência em relação à quantidade de SiO₂, e, conforme o esperado, também incorporam as relações de dependência entre a sua solubilidade e a quantidade de TiO₂ no zircão. Isto significa que,

sendo a química mineral do zircão a base do modelo, a sua pode ser feita nos grãos individualmente, provendo estimativas para a sua temperatura de cristalização (Ferry & Watson, 2007).

No entanto, Crisp *et al.* (2023) indicam que esse modelo não considera os efeitos da pressão na solubilidade do Ti (>1 GPa, que era a pressão de calibração Ferry e Watson), e desconsidera que o Ti possa ocupar outra posição na estrutura cristalina do zircão que não seja a do Si, o que gera valores subestimados para as temperaturas de cristalização do zircão. Embora, assim como outros elementos traço no zircão, tais como U, Th e os elementos terras-raras, o Ti ocupe o lugar do Si tetraédrico, sob pressão atmosférica, sob altas pressões (> 3,5 GPa) poderá ocupar a posição do Zr.

Deste modo, o modelo corrigido prevê que entre 800 e 1400 °C o Ti ocupará apenas o lugar do Si se o zircão estiver a 0,0001 GPa, enquanto que cerca de 3,5 GPa, ele ocupa os lugares do Si e do Zr nas mesmas proporções, e por fim somente o lugar do Zr, a pressões de 4,0 GPa ou maiores. Portanto, se a proporção de Ti em cada posição varia com a pressão, a consideração desse fator retifica o modelo termodinâmico, e permite um aumento na sua acuracidade (CRISP *et al.* 2023). A equação que sintetiza o modelo é:

$$\log(\text{Ti } f) = 5.84(7) - [4800(86)/T] - 0.12(1)P - 0.0056(15)P^3 - \log(a\text{SiO}_2^{\text{quartzo/coesita}})f + \log(a\text{TiO}_2^{\text{rutilo}}),$$

onde Ti é o Ti em ppm, f é a fração de Ti no lugar do Si é; T é temperatura em Kelvin; P a pressão em GPa, $a\text{SiO}_2^{\text{quartzo/coesita}}$ é atividade da sílica; e $a\text{TiO}_2^{\text{rutilo}}$, a atividade do TiO_2 .

Nos quadros 8 e 9 são apresentados os resultados das temperaturas estimadas para alguns dos zircões estudados. Neles, as amostras podem ser divididas em dois grupos segundo o critério da variabilidade dos seus valores de temperatura: nas amostras VR04, VR05, LA01, MA01, MA2 e SS39, as temperaturas não oscilaram muito, embora em um ou outro zircão haja valores que poderiam ser considerados extremos se comparado aos dos cristais restantes. Já nas amostras TM43, TM71, GLR24, GLR35 e PGR27, a variabilidade dos valores é grande, representando que os seus zircões cristalizaram ao longo de diferentes e variados períodos térmicos dos magmas que os continham. Isso também pode ser notado nas diferentes temperaturas calculadas para um mesmo zircão em diferentes zonações de crescimento, assinalando a trajetória térmica do grão.

Quadro 8. Resultados de temperatura nos grãos.

Zircão	Temp. (°C)								
VR0425	843,46	VR0504	817,33	LA0102	813,51	MA0109	773,53	MA0202	752,51
VR0426	885,25	VR0504	815,59	LA0121	832,19	MA0109	663,82	MA0203	778,62
VR0428	802,59	VR0508	774,50	LA0121	787,74	MA0110	834,10	MA0205	795,34
VR0430	828,45	VR0508	707,22	LA0122	868,03	MA0110	801,37	MA0208	736,23
VR0431	818,15	VR0510	820,54	LA0122	787,54	MA0112	856,00	MA0223	752,11
VR0432	810,86	VR0522	827,29	LA0125	779,30	MA0112	877,30	MA0223	788,13
VR0433	773,88	VR0527	755,87	LA0127	792,54	MA0118	872,09	MA0225	680,51
VR0437	835,70	VR0528	764,88	LA0128	789,89	MA0127	892,22	MA0227	649,80
VR0438	748,48	VR0529	844,64	LA0128	821,00	MA0128	885,64	MA0230	732,82
VR0438	773,27	VR0529	818,47	LA0130	811,20	MA0130	872,80	MA0234	717,38
VR0442	825,49	VR0530	834,34	LA0130	800,20	MA0130	851,19	MA0235	649,38
VR0444	787,07	VR0531	821,21	LA0133	744,14	MA0134	897,56	MA0236	773,43
VR0445	1007,96	VR0535	806,69	LA0133	772,84	MA0135	859,43	MA0237	786,25
VR0445	836,52	VR0536	815,59	LA0135	918,16	MA0135	869,24	MA0239	1227,37
VR0448	848,47	VR0538	795,34	LA0135	760,94	MA0136	863,49	MA0240	723,45
VR0449	856,31	VR0540	747,54	LA0136	827,91	MA0141	840,34	MA0241	777,39
VR0450	848,83			LA0136	844,47	MA0142	871,33	MA0242	811,78
VR0450	790,33			LA0150	801,29	MA0142	912,75	MA0242	792,28
VR0454	788,72			LA0151	779,50	MA0144	882,15	MA0245	778,03
VR0462	803,24			LA0152	790,93	MA0147	844,28	MA0246	820,38
VR0463	843,76					MA0147	855,68	MA0249	814,36
						MA0148	725,37	MA0250	667,72
						MA0150	885,04		
						MA0150	861,04		

Quadro 9. Resultados de temperatura nos grãos.

Zircão	Temp. (°C)	Zircão	Temp. (°C)	Zircão	Temp. (°C)	Zircão	Temp. (°C)
GLR2401	800,85	GLR3502	780,53	PGR2701	780,72	SS3902	788,56
GLR2402	851,61	GLR3504	768,66	PGR2713	808,15	SS3903	773,80
GLR2403	774,99	GLR3512	824,63	PGR2717	814,43	SS3904	747,47
GLR2405	802,65	GLR3520	781,48	PGR2718	816,25	SS3904	821,25
GLR2406	825,77	GLR3521	828,40	PGR2721	770,28	SS3907	820,80
GLR2409	899,38	GLR3522	872,61	PGR2721	826,45	SS3918	808,10
GLR2410	809,18	GLR3525	838,68	PGR2722	758,34	SS3920	771,37
GLR2410	821,92	GLR3525	797,25	PGR2723	697,77	SS3921	718,41
GLR2412	779,73	GLR3530	827,58	PGR2726	833,72	SS3930	802,62
GLR2413	835,19	GLR3532	725,16	PGR2727	874,87	SS3932	771,22
GLR2414	927,80	GLR3533	821,31	PGR2729	775,98	SS3933	767,02
GLR2416	922,51	GLR3534	811,27	PGR2730	779,79	SS3933	766,91
GLR2416	862,11	GLR3535	872,37	PGR2732	788,64	SS3935	908,44
GLR2431	876,55	GLR3535	915,98	PGR2733	739,83	SS3935	802,21
GLR2431	900,93	GLR3536	811,04	PGR2735	788,83	SS3936	1057,38
GLR2436	799,02	GLR3538	725,15	PGR2736	783,21	SS3936	790,74
GLR2440	895,30	GLR3542	795,36	PGR2736	814,76	SS3937	782,89
GLR2453	790,75	GLR3548	814,20	PGR2737	827,79	SS3937	775,46
GLR2454	854,01	GLR3553	788,02	PGR2737	799,57	SS3940	767,20
GLR2455	868,53	GLR3554	765,35	PGR2739	826,51	SS3943	789,39
GLR2455	895,95	GLR3554	779,74	PGR2740	884,10	SS3943	826,00
GLR2456	913,90	GLR3557	736,46	PGR2740	892,65	SS3949	767,47
		GLR3558	805,20	PGR2741	774,63	SS3951	733,45
				PGR2741	804,49	SS3951	775,73
				PGR2742	881,05		
				PGR2742	813,96		

10 DISCUSSÕES

As discussões dos resultados acima apresentados estruturar-se-ão em três partes: a primeira analisa os resultados da Tipologia de Pupin (1980) em si mesmo, isto é, as suas relações internas e a validade das informações obtidas; a segunda deve comparar os resultados de temperatura obtidos pela Tipologia de Pupin (1980) com aqueles obtidos pela química de rocha total, segundo os parâmetros G (Gervasoni *et al.* 2016) e M (Watson & Harrison, 1983); E por último, as temperaturas dos zircões obtidas pela Tipologia de Pupin (1980) serão comparadas às observadas pelos cálculos de conteúdo de Ti no mineral (Crisp *et al.* 2023).

10.1 Tipologia de Pupin (1980): química e temperatura

Os resultados da tipologia de Pupin (1980) forneceram principalmente dois tipos de informações: um acerca da afinidade química e outro acerca da história térmica da cristalização dos zircões, e por conseguinte do magma.

Relativamente à química, a tipologia apresentou resultados que manifestam uma elevada coerência interna, visto que mesmo que a consideração da unidade geológica a que pertence cada amostra tenha sido propositalmente ignorada, a fim de evitar qualquer viés que comprometesse a probidade da classificação, as amostras de mesma unidade geológica sempre apresentaram a mesma afinidade química. A única exceção foi na Formação Moraes Almeida, onde a amostra MA01 foi tipificada como calcialcalina de origem híbrida, o que diverge ligeiramente da MA02, dita alcalina de origem predominantemente mantélica.

Já as temperaturas médias são quase sempre desiguais entre as amostras de uma mesma unidade geológica, sem que haja uma relação de semelhança interna capaz de diferenciar os zircões de uma unidade diferente ou de identificar os que são da mesma. Ou seja, do ponto de vista térmico, todas as amostras são aproximadamente similares. Quanto aos tamanhos de grão, aparentemente não refletem processos nenhuns a nível de unidade geológica, apenas das amostras em si. Uma vez que as temperaturas médias não possuem um significado petrologicamente elucidativo, cabe discutir com maior cuidado os resultados químicos dados pela tipologia.

10.1.1 Tipologia de zircão e química magmática nas unidades geológicas

Formação Vila Riozinho: As amostras de Formação Vila Riozinho, VR04 e VR05, possuem populações de zircão tipologicamente homogêneas, com *trends* bem definidos, que caem no campo do grupo que Pupin (2024) identifica como dos “granitos e granodioritos calcialcalinos de origem híbrida”. E de fato, a VR04 é classificada como um (feno) dacito, correspondente vulcânico do granodiorito, enquanto a VR05 é classificada como riolito, correspondente vulcânico do granito. Por fim, a afinidade química da Formação Vila Riozinho na literatura (Lamarão *et al.* 2002) é calcialcalina de alto K. Portanto, a morfologia dos zircões desta unidade geológica registrou de maneira exata as principais características definidoras da química e da litologia das amostras.

Grupo Surumu: As rochas do Grupo Surumu, TM43 e TM71, apresentam uma clara divisão nas suas populações de zircão: uma parte dos tipos cai no campo de altas temperaturas, de 900 a 800 °C, identificado como dos “granitos toleíticos mantélicos” (Pupin, 1980), nomenclatura que foi atualizada para “rochas félsicas mantélicas” (Pupin, 2024); e a outra forma um *trend* de baixa temperatura, de 700 a 600 °C, caracterizado como “granitos alcalinos subsolvus mantélicos”, que apresentam convergência com os do *trend* calcialcalino (Pupin, 1980).

Na amostra TM43, o conjunto de cristais de alta temperatura não só cai no campo das rochas félsicas, mas também se faz presente no dos “granitos do tipo I” (Pupin, 1980) nomenclatura que foi atualizada para “rochas básicas/intermediárias mantélicas ou de crosta oceânica” (Pupin, 2024), o que parece justificar o fato desta amostra ter sido classificada como latito, isto é, uma composição um pouco menos ácida. Tais resultados indicam claramente a existência de dois eventos de cristalização ou de duas fases no processo de cristalização, uma vez que não há continuidade entre as populações. Já da perspectiva da afinidade química do Grupo Surumu, que é calcialcalina de alto K, do tipo I (Fraga *et al.*, 2010), as populações de zircão novamente mostram resultados com grande correspondência.

Formação Cachoeira da Ilha: A Formação Cachoeira da Ilha, embora representada por apenas uma amostra, a LA01, apresenta resultados significativos: possui dois *trends* populacionais de alta temperatura, de 900 a 850 °C, sendo um deles identificado como “granitos toleíticos mantélicos” (Pupin, 1980), atualmente designado como “rochas félsicas mantélicas” (Pupin, 2024) e outro como “rochas básicas/intermediárias mantélicas ou de crosta oceânica” (Pupin, 2024). Esses *trends* podem indicar uma mistura de magmas de diferentes composições ou mesmo a cristalização fracionada de um mesmo evento

magmático. Ademais, além desses, há um terceiro *trend* de mais baixa temperatura, de 700 a 650 °C, no campo dos “mozogranitos calcialcalinos de origem híbrida” (Pupin, 1980). Essa terceira população, além de indicar um hiato no magmatismo, corrobora a classificação petrográfica da amostra LA01, quartzo-latito, cuja composição mineralógica é bastante próxima da do monzogranito.

Formação Moraes Almeida: As amostras da Formação Moraes Almeida, MA01 e MA02, possuem populações de zircão com tamanhos e graus de fiabilidade bem distintos, sendo a segunda a que é mais confiável e possui os maiores cristais. Essas diferenças também se refletem na distribuição e classificação dos tipos: na amostra MA01, apesar da ocorrência de alguns zircões *trend* dos “granitos alcalinos mantélicos transolvus” (Pupin, 1980), a direção do conjunto cai no *trend* dos “granitos calcialcalinos de origem híbrida” (Pupin, 1980). Já a amostra MA02 apresenta um *trend* uniforme de granitos alcalinos, mantélicos, respectivamente, hipersolvus, transolvus e subsolvus, o que corresponde a afinidade do tipo A da Formação Moraes Almeida (Lamarão, 2001). No entanto, a amostra MA01 sugeriria que houve algum aporte de magmas calcialcalinos hidratados durante o período magmático dessa unidade.

Grupo Colíder: As amostras do Grupo Colíder, GLR24, GLR35, PGR27 e SS39, apresentam dois *trends* para as suas populações de zircão. O de mais alta temperatura, a 900 °C, possui menos grãos e é identificado com o dos “granitos alcalinos hipersolvus mantélicos” (Pupin, 1980) e o de mais baixa temperatura, de 750 a 600 °C, possui a maior parte dos zircões e cai no dos “granitos alcalinos subsolvus mantélicos”, cuja zona de incidência se sobrepõe à dos granitos calcialcalinos. A classificação de granitos alcalinos subsolvus foi preferida à de granitos calcialcalinos em razão da existência de alguma continuidade entre esses dois *trends*. Isso poderia indicar que essas populações fazem parte de um mesmo evento magmático, onde as diferenças seriam reflexo de uma progressiva cristalização fracionada.

Por fim, do ponto de vista da afinidade química atribuída ao Grupo Colíder, calcialcalina de alto K, tipo A (Santos *et al.* 2019), também há grande correspondência com os resultados da tipologia. Segundo Pupin (1980), os granitos alcalinos de origem mantélica ou predominantemente mantélica são normalmente encontrados em complexos subvulcânicos, em ambientes anorogênicos, e são gerados por magmas secos e mais quentes, portanto, equivalem aos granitos do tipo A, definidos como anorogênicos, alcalinos, anidros e aluminosos (Bonin, 2007).

10.2 As temperaturas da Tipologia e as da química de rocha total

A figura 25 apresenta o gráfico de comparação entre as temperaturas médias das amostras obtidas pela tipologia de zircão e as temperaturas calculadas a partir da química de rocha total pelos modelos de saturação de Watson & Harrison (1983), cujo parâmetro composicional chama-se M, e de Gervasoni *et al.* (2016), com o parâmetro G.

A feição que mais se destaca no gráfico é, sem dúvida, a grande variação de temperatura no modelo de Watson & Harrison (1983), onde os cálculos apontam para temperaturas sistematicamente inferiores às obtidas pela tipologia e pelo modelo de Gervasoni *et al.* (2016), com um pico negativo na amostra PGR27 e outro positivo, ainda mais discrepante na amostra SS39. De modo geral, as temperaturas do parâmetro M não coincidem com as da tipologia, sendo-lhes cerca de 160 °C mais baixas (exceto em VR05 e SS39), apesar disso, há um notável paralelismo com as de Pupin (1980). Portanto, embora quase não haja proximidade nem coincidência das temperaturas amostrais, exceto na amostra VR05, a correlação das formas parece delinear uma mesma variação de valores térmicos.

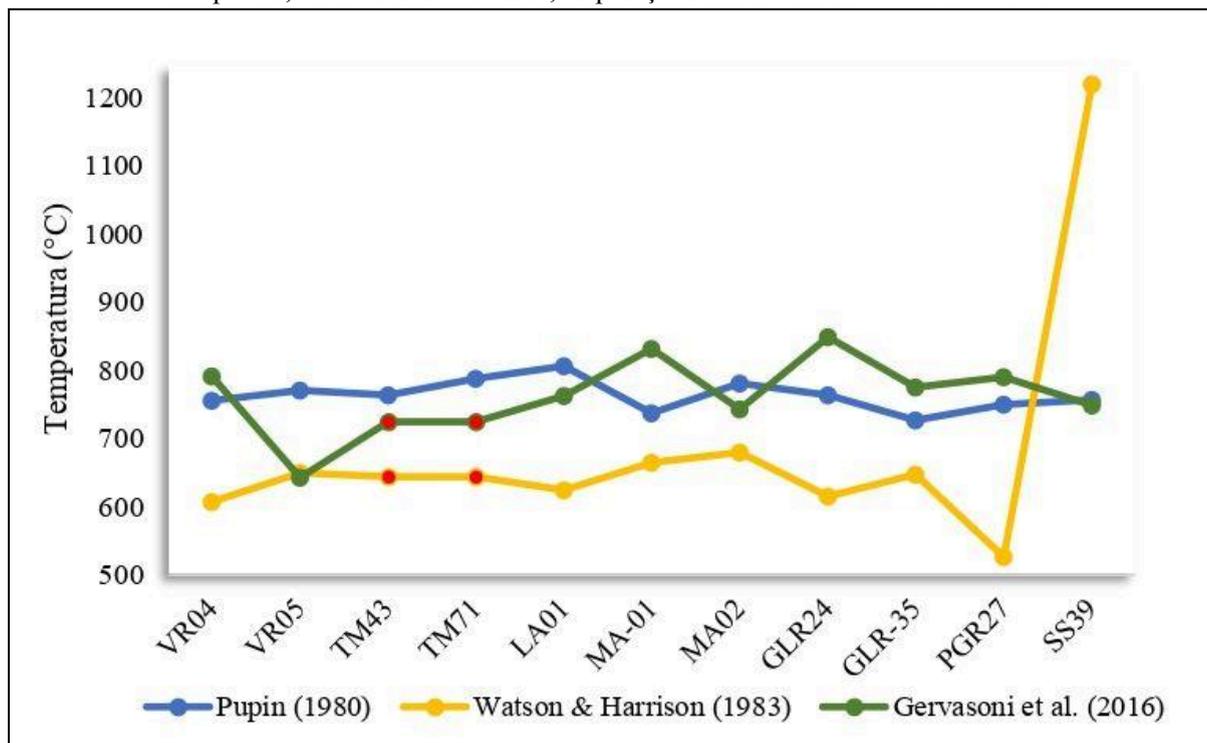
Já entre as temperaturas do parâmetro G e as da tipologia, há uma acentuada proximidade de valores, distantes em média apenas 50 °C, diferença pequena que se reduz ainda mais com a consideração do erro médio calculado⁵ para o modelo de Gervasoni, que é de 19 °C. Esse comportamento se verifica nas amostras VR04, TM43, TM71, LA01, MA02, GLR35, PGR27 e SS39. As temperaturas de maior discordância são encontradas nas amostras VR05, MA01 e GLR24. No caso da amostra VR05, a tipologia apresentava uma fiabilidade baixa para os resultados, com média 0,64, o que explicaria a divergência de mais de 120 °C entre a temperatura tipológica e as outras duas, que quase coincidem. Apenas na VR05 os modelos de Watson e Harrison (1983) e de Gervasoni *et al.* (2016) se aproximam, portanto, se por um lado a temperatura da tipologia é pouco confiável, por outro as temperaturas dos outros dois modelos parecem confirmar-se mutuamente.

No caso da amostra MA01, que também possui uma fiabilidade tipológica moderadamente baixa em relação ao conjunto de amostras, 0,70, parece haver um paralelismo entre as curvas do parâmetro M e do parâmetro G, mas não com a curva da tipologia. Assim, embora as temperaturas extraídas dos modelos químicos divirjam, parecem fazê-lo segundo uma mesma proporção. Finalmente, as temperaturas da amostra GLR24,

⁵ O modelo prevê um erro próximo ao obtido, $\sigma = 17$ °C.

mostram-se incongruentes e distantes nos três modelos e isso sem obedecer a nenhum dos padrões de erro considerados neste estudo.

Figura 25. Gráfico das temperaturas médias calculadas para as amostras de rocha pelos métodos da tipologia de Pupin (1980) e a partir da química de rocha total, segundo os modelos de Watson e Harrison (1983) e de Gervasoni *et al.* (2016). As amostras TM43 e TM71 não possuem dados de química de rocha total, assim as temperaturas obtidas na tipologia são comparadas à média das do Grupo Surumu, do qual fazem parte ditas amostras, calculadas pelos outros dois referidos modelos. As médias do Grupo Surumu estão sinalizadas com marcadores de preenchimento vermelho, ocupando, no eixo das abscissas, as posições das amostras TM43 e TM71.



10.3 As temperaturas da Tipologia e as da química mineral

As temperaturas do modelo de Crisp *et al.* (2023) apresentam boa correlação com as da tipologia de Pupin (1980) nas amostras VR04, VR05, TM71, MA02 e SS39 (Figuras 26, 27, 29, 32 e 36). Na amostra MA02, o paralelismo nas formas das curvas no gráfico é alto e indica que os modelos possuem um comportamento térmico semelhante até mesmo nas suas variações. Ainda nessa amostra, a diferença média em módulo entre as temperaturas de um e de outro modelo é de 97,59 °C, já na amostra VR04 a diferença é de 78,52 °C, tem-se assim, respectivamente, a terceira menor e a menor diferença entre todo o conjunto amostral. Apesar

disso, a amostra VR04 não possui um paralelismo tão acentuado entre as curvas de temperatura.

Já nas amostras TM43, MA01, GLR24, GLR35 e PGR27 (Figura 28, 31, 33, 34 e 35), as temperaturas do modelo de Crisp *et al.* (2023) apresentam as menores convergências de forma com as temperaturas de Pupin (1980), com a maior diferença média em módulo chegando a 148,97 °C, na amostra MA01, que é a que possui maiores divergências entre as temperaturas. Essas discrepâncias podem, em parte, ser explicadas, no caso das amostras MA01, GLR35 e PGR27 por possuírem elas os menores fatores na escala de fiabilidade, significando que a tipificação dos grãos de suas populações é mais suscetível a erros.

No entanto, a amostra GLR24, não está entre as amostras de classificação tipológica menos confiável e mesmo assim não apresentou no gráfico suficiente paralelismo de forma, além de ter a segunda maior diferença média em módulo entre as temperaturas dos seus zircões, 136,11 °C. Posto que a fiabilidade tenha sido elaborada com vistas a mensurar o erro da classificação tipológica de populações de zircão muito reduzidas, como as do presente trabalho, cabe sublinhar que a proximidade de temperaturas e o paralelismo de formas significam a mútua confirmação dos resultados obtidos pelos modelos comparados. Por fim, a amostra LA01 encontra-se em posição intermediária, nem mostrou grande correlação de forma entre os modelos, nem divergiu significativamente neste quesito. Quanto à diferença média, em módulo, entre as temperaturas da tipologia e as de Crisp *et al.* (2023), foi de 100,91 °C, relativamente baixa no conjunto das amostras.

Figura 26. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra VR04, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

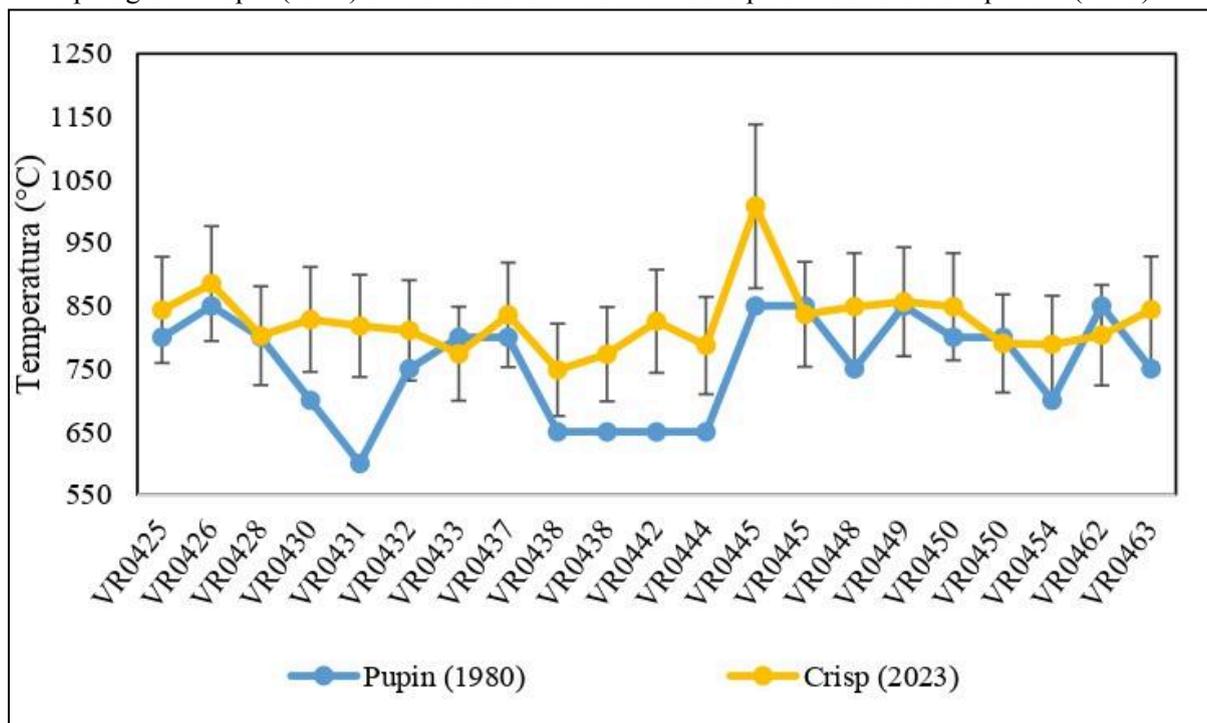


Figura 27. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra VR05, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

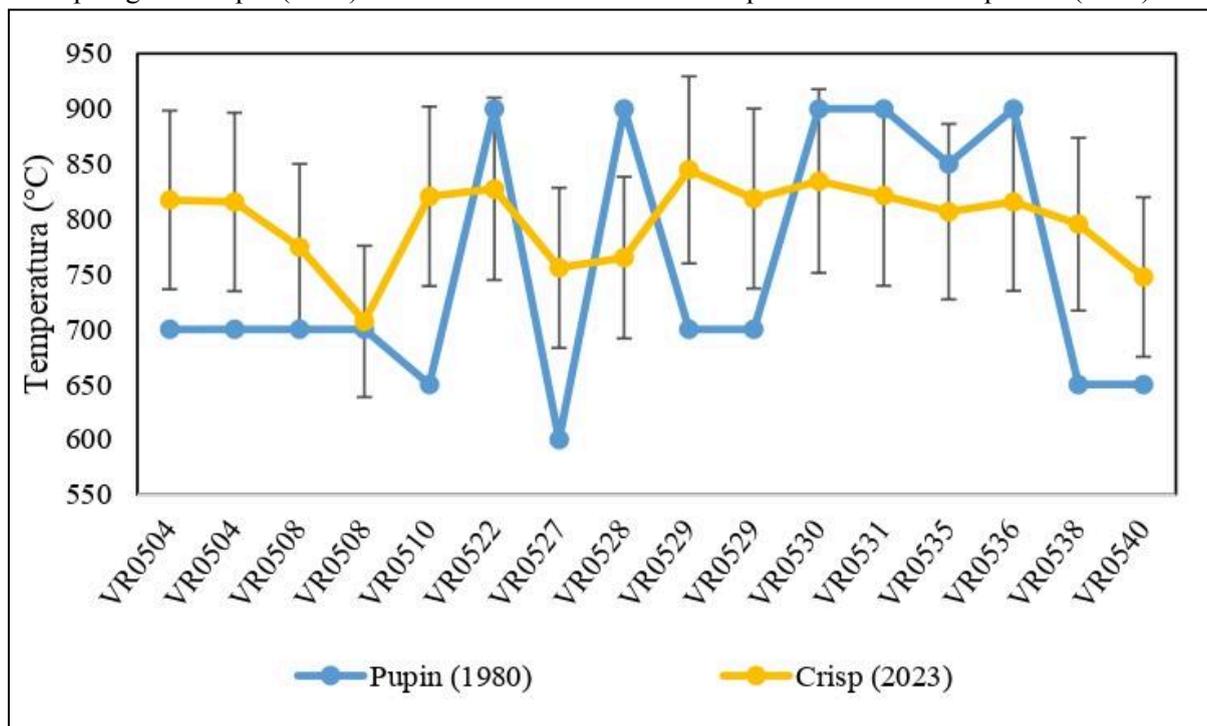


Figura 28. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra TM43, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

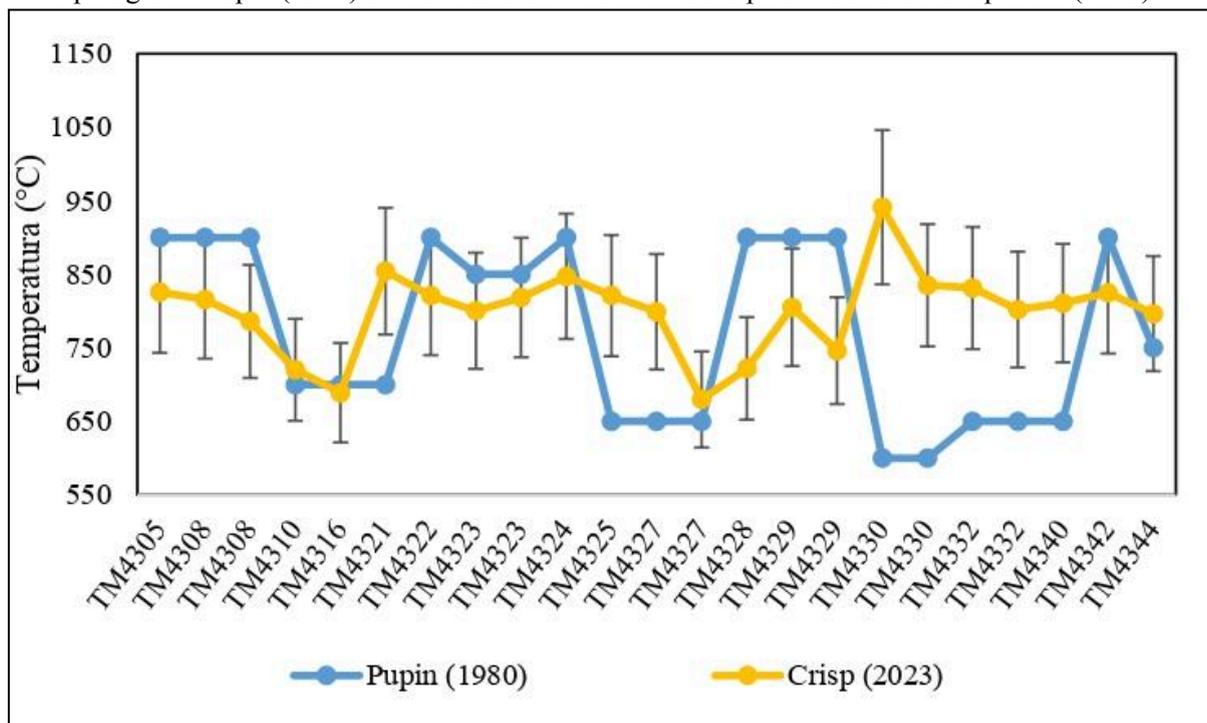


Figura 29. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra TM71, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

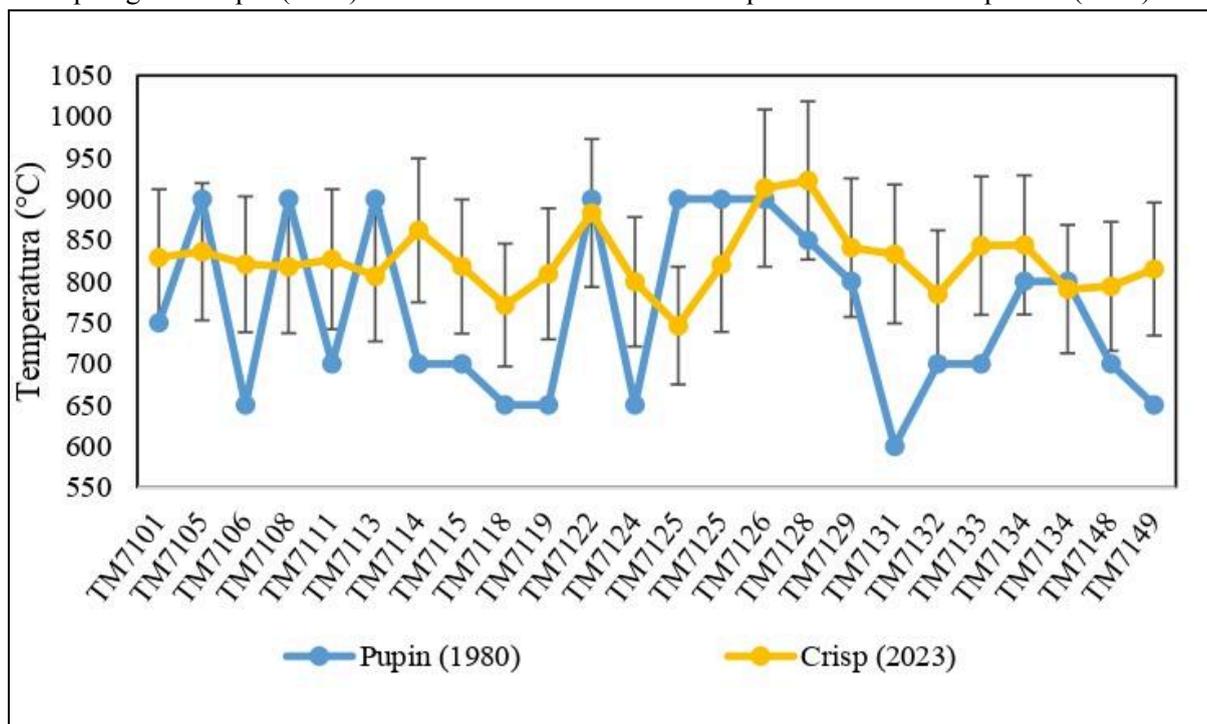


Figura 30. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra LA01, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

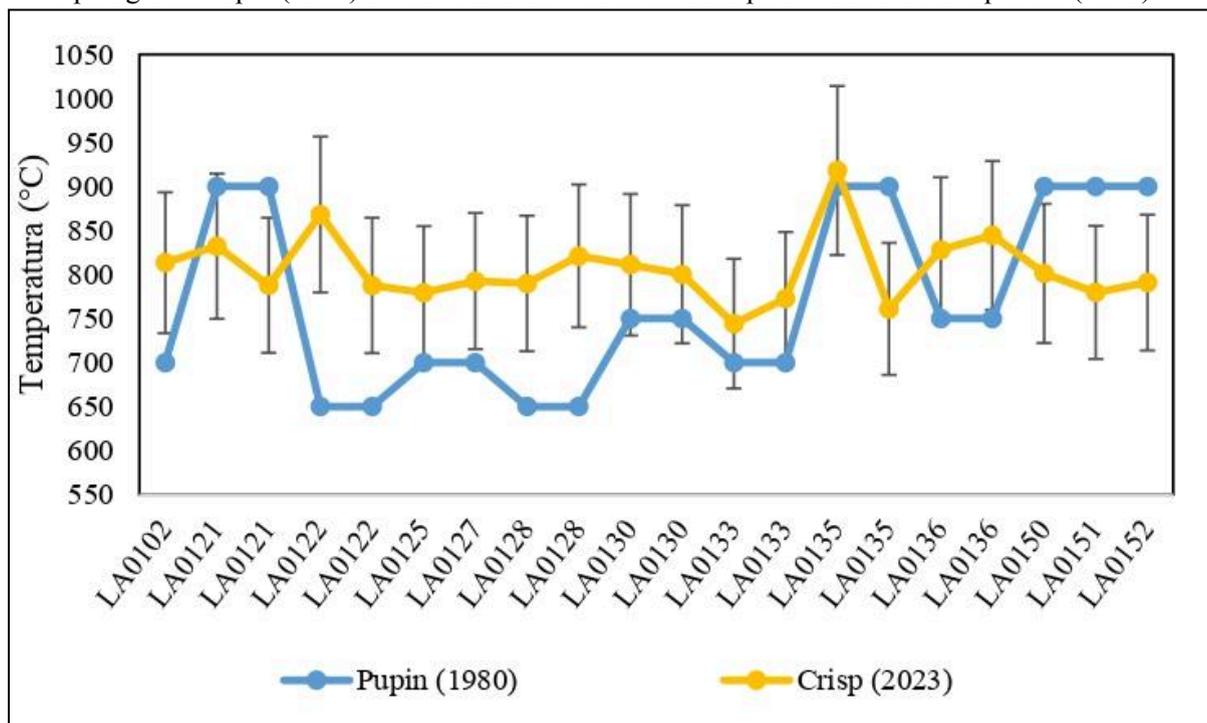


Figura 31. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra MA01, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

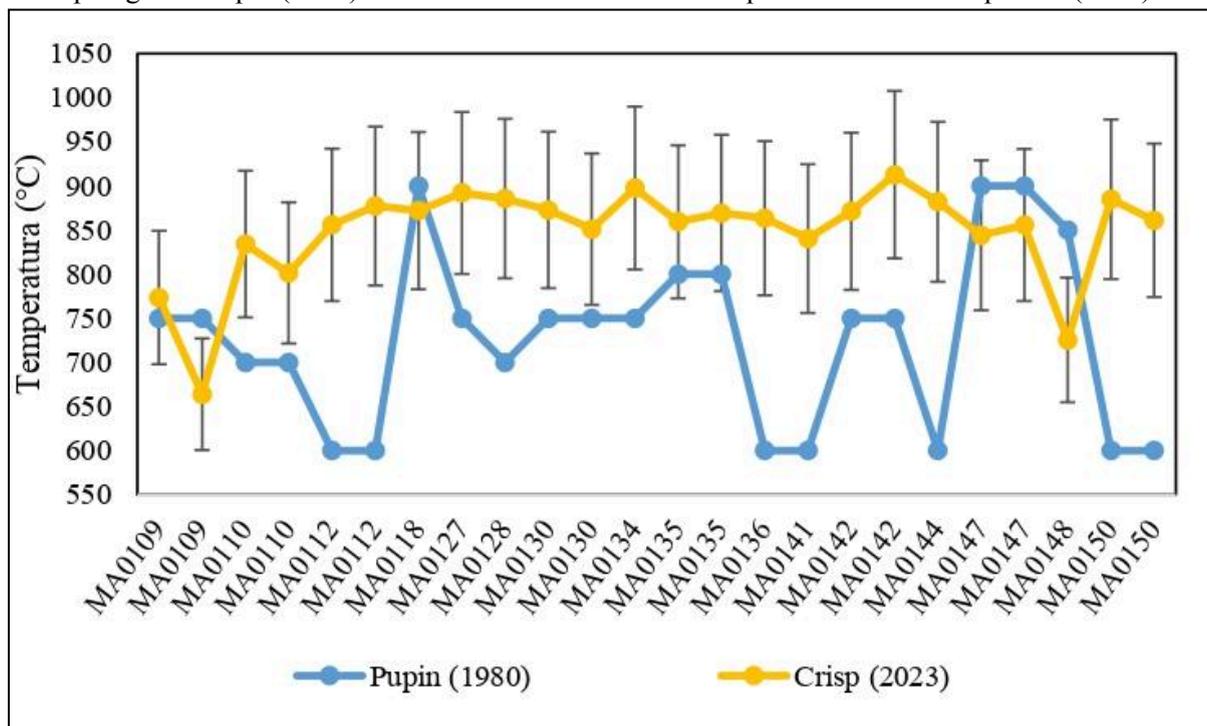


Figura 32. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra MA02, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

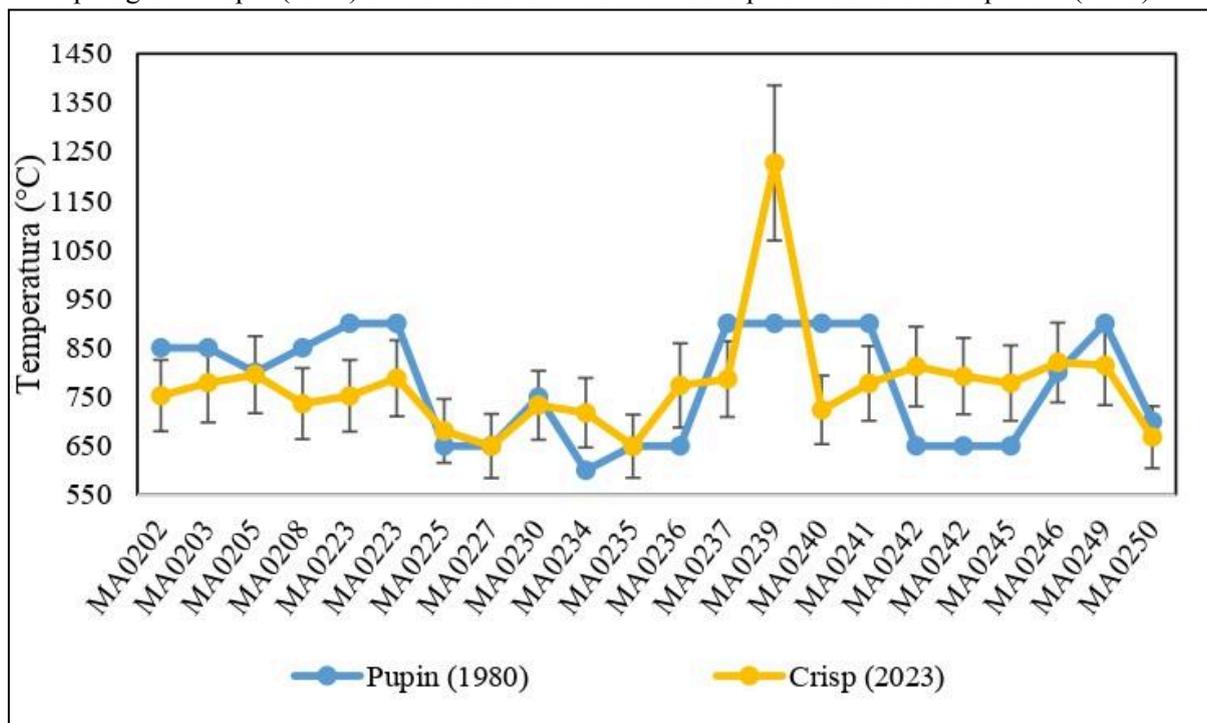


Figura 33. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra GLR24, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

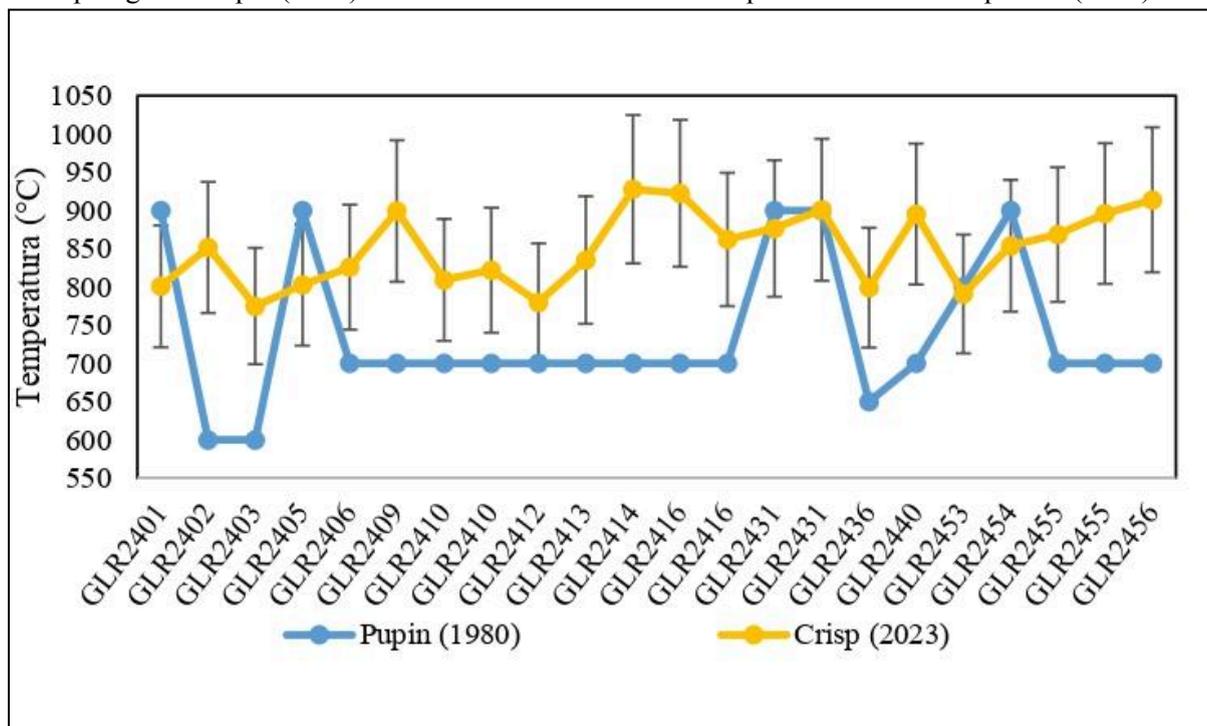


Figura 34. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra GLR35, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

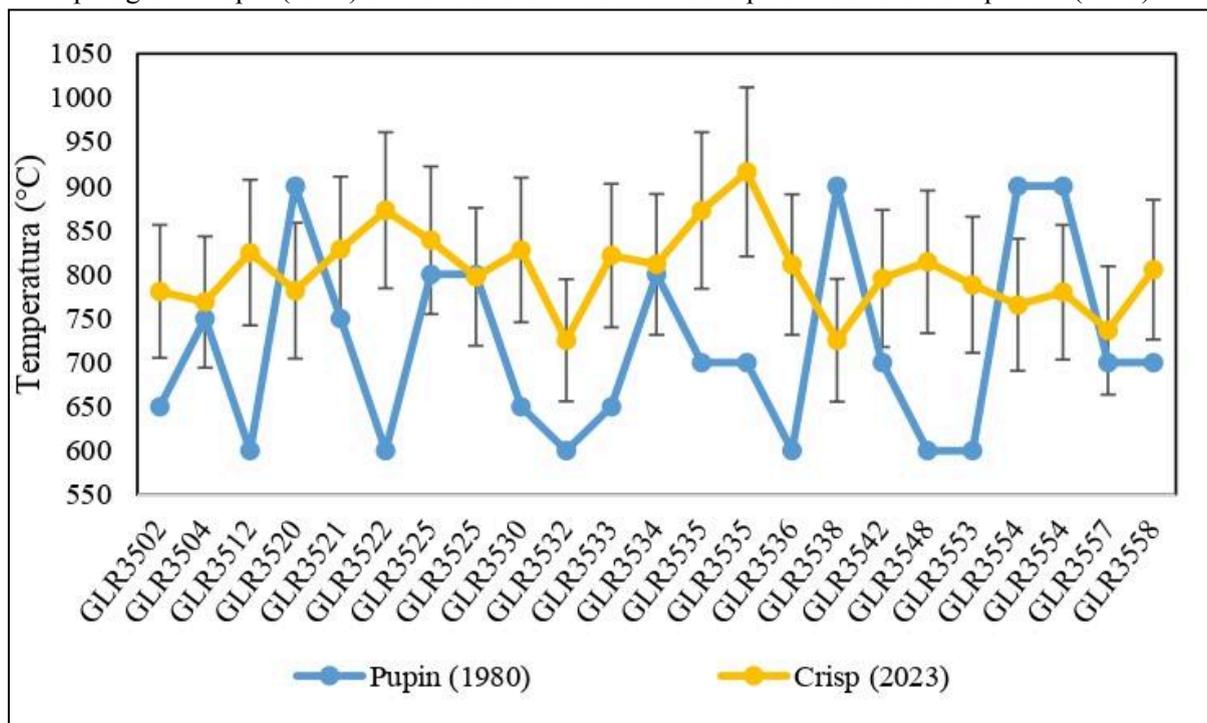


Figura 35. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra PRG27, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).

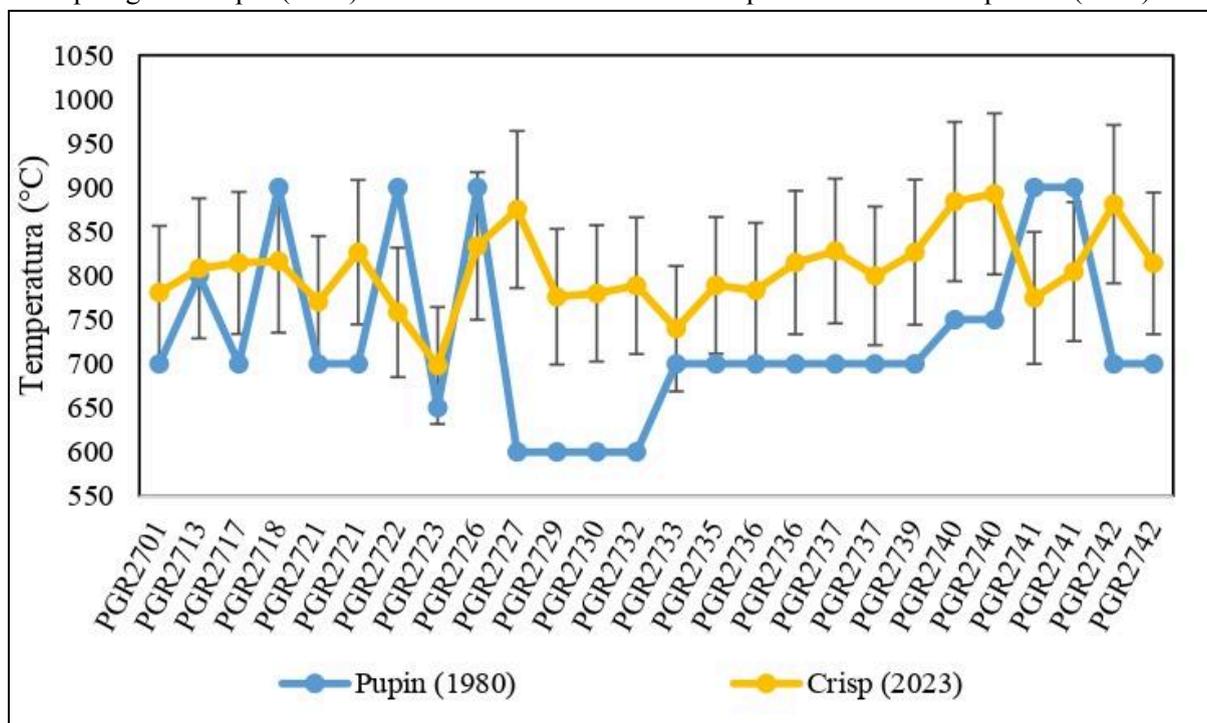
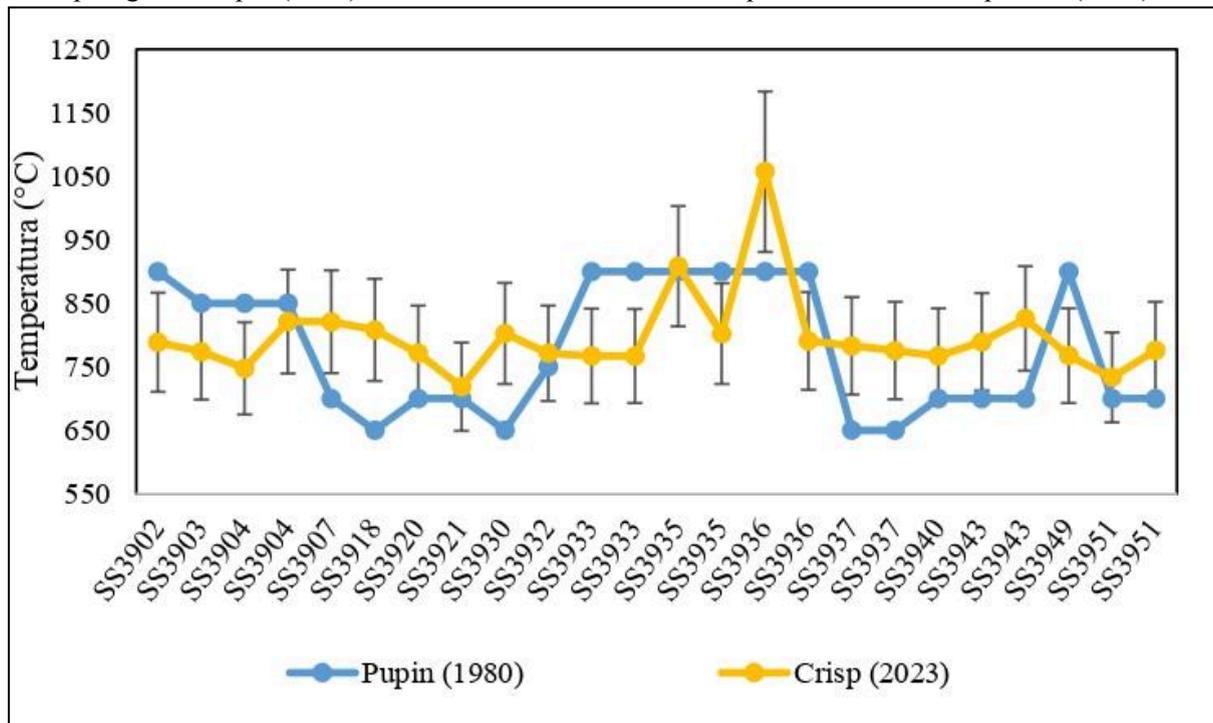


Figura 36. Gráfico de temperaturas de alguns grãos da amostra SS39, ilustrando os resultados da tipologia de Pupin (1980) em contraste com os calculados pelo modelo de Crisp *et al.* (2023).



11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tipologia de zircões de Pupin (1980) é um método eficaz, porém limitado nos seguintes aspectos: a) sua qualidade depende fortemente da perfeição e integridade dos grãos de zircão, o que pode não ocorrer em rochas que tenham sofrido excessivas tensões, assim como os processos de pulverização também podem afetar a integridade dos cristais; b) a classificação não funciona adequadamente com poucos zircões, afinal certa quantia⁶ (mais que 15 grãos, pelo menos) é indispensável para que se identifique o *trend* de afinidade química e para que se obtenha a trajetória das temperaturas de cristalização, bem como um valor de temperatura média que seja minimamente representativo.

Contudo, o método tipológico possui algumas grandes vantagens: a) sua execução é rápida, fácil e visual e os procedimentos de preparação das amostras são pouco onerosos, pois não demandam equipamentos tecnologicamente robustos como os empregados nos métodos petrológicos tradicionais, por exemplo, de geoquímica de rocha total; b) oferece uma

⁶ Pupin (1980) usou entre 100 e 150 zircões não quebrados por amostra no desenvolvimento da sua tipologia. Já no seu artigo que revisa o método tipológico, Pupin (2024) menciona amostras de 90 zircões, onde 60 são íntegros. Ademais, sugere que a separação mineral deve ser feita a partir de cerca de um quilo de rocha pulverizada.

caracterização das trajetórias química e térmica para uma grande quantidade de rochas, especialmente as de composição granítica; c) serve como método preliminar em grandes pesquisas, nomeadamente as relacionadas à datação geocronológica, ou como método de apoio, uma vez que os seus resultados podem ser correlacionados aos de química de rocha total, de química de elementos traço ou de química isotópica, pois as mudanças na morfologia dos zircões, tanto nos grãos individuais como nas suas populações, geralmente acompanham as mudanças na química dos elementos traço e na composição do magma, que podem ocorrer em razão de processos de mistura de magmas ou de cristalização fracionada progressiva (Belousova *et al.* 2005); d) fornece informações petrogenéticas valiosas e exclusivas, já que a sua classificação química é associada às fontes do magmatismo (Pinto & Peucat, 2000) e é uma potente ferramenta para o desenvolvimento de modelos petrogenéticos (Belousova *et al.* 2005).

Ainda segundo Belousova *et al.* (2005), o estudo da morfologia do zircão combinado com a química de elementos traço e com a composição dos isótopos de Hf pode prover uma sofisticada abordagem para o estudo da gênese de magmas graníticos, o que dificilmente se conseguiria apenas com pesquisas das composições de rocha total ou da mineralogia principal.

Ademais, a tipologia de zircão pode ter a sua aplicabilidade potencializada se forem empregadas técnicas de imageamento como a catodoluminescência⁷, que é capaz de captar as zonações de um cristal. Isso além de reduzir a subjetividade inerente ao método no momento de tipificar um grão, permite que se analise as diferentes morfologias do cristal de zircão ao longo de sua história. Outra ferramenta útil é a escala de fiabilidade proposta neste trabalho, pois ela auxilia na mensuração do erro a que está propensa uma dada classificação com base no estado dos zircões. Em rochas pobres em zircão ou em amostras de grãos com populações pequenas, os zircões devem ser aproveitados maximamente e ao mesmo tempo a classificação deve ser qualificada.

⁷ Pupin (2024) chega à mesma conclusão e acrescenta novas observações a respeito da divisão habitual da estrutura interna dos zircões em três fases características, cada uma com um tipo de informação a respeito do magmatismo.

REFERÊNCIAS

AKIN, L.; AYDAR, E.; SCHMITT, A. K.; ÇUBUKÇU, H. E. **Application of zircon typology method to felsic rocks (Cappadocia, Central Anatolia, Turkey): a zircon crystallization temperature perspective.** Turkish Journal of Earth Sciences, 2019.

ARAÚJO, V. M. L. **Caracterização petrográfica e tipologia de zircões das rochas vulcânicas da Formação Jaguarão, Jaguarão, RS, Brasil.** 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, 2014.

BAYLEY, W. S. **Synopsis of Rosenbusch's New Scheme for the Classification of Massive Rocks.** The American Naturalist, v. 22, nº 255, 207-217, 1888.

BELOUSOVA, E. A.; GRIFFIN, W. L.; O'REILLY, S. Y. **Zircon Crystal Morphology, Trace Element Signatures and Hf Isotope Composition as a Tool for Petrogenetic Modelling: Examples From Eastern Australian Granitoids.** 2005.

BONIN, B. **A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects.** Lithos (Elsevier), v.97, 1–29, 2007.

BOSSART, P. J.; MEIER, M.; OBERLI, F.; STEIGER, R. H. **Morphology versus U-Pb systematics in zircon: a high-resolution isotopic study of a zircon population from a Variscan dike in the Central Alps.** Earth and Planetary Science Letters, v. 78, 339-354, 1986.

CORDANI, U.G.; RAMOS, V.A.; FRAGA, L.M.; CEGARRA, M.; DELGADO, I.; SOUZA, K.G.; GOMES, F.E.M.; SCHOBENHAUS, C. **Tectonic map of South America.** 2nd ed. Paris: CGMW-CPRM-SEGEMAR, scale 1:5.000.000. 2016

CORFU, F.; HANCHAR, J. M.; HOSKIN, P. W. O.; KINNY, P. **Atlas of Zircon Textures.** In: HANCHAR J.M.; HOSKIN P.W.O. (eds) Zircon. Reviews in mineralogy and geochemistry, v. 53, 469-500, 2003.

COUTINHO, M. G. N. PROVÍNCIA MINERAL DO TAPAJÓS: GEOLOGIA, METALOGENIA E MAPA PREVISIONAL PARA OURO EM SIG. In: **GEOLOGIA DO CRÁTON AMAZÔNICO**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2008.

CRISP, L.; BERRY, A.; BURNHAM, A.; MILLER, L.; NEWVILLE, M.; **The Ti-in-zircon thermometer revised: The effect of pressure on the Ti site in zircon**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 360, 2023.

DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G. M.; BRUM, T. M. M.; CHODUR, N.; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B. **Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros**. Instituto de Geociências (UFRGS). *Pesquisa em Geociências* 30 (2), 3-15, 2003.

FERRY, J.; WATSON, E.; **New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile**. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 154, 429-437, 2007.

FRAGA, L. M. B.; DREHER, A. M.; GRAZZIOTIN, H. F.; REIS, N. J.; FARIAS, M. S. G.; RAGATKY D. **Geologia e recursos minerais da folha Vila de Tepequém – NA.20-X-A-III estado de Roraima, escala 1:100.000**. Manaus, CPRM, 182, 2010.

GALEMBECK, T. M. B.; WERNICK, E.; GODOY, A. M. **Tipologia de Zircão de Granitos I e A (Rapakivi) coexistentes no Complexo Granitóide Itu, SP**. *UNESP, Geociências*, n. 1, v. 20, p. 25-36, 2001.

GERVASONI, F.; KLEMME, S.; ROCHA-JUNIOR, E. R.V.; BERNDT, J. **Zircon saturation in silicate melts: a new and improved model for aluminous and alkaline melts**. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2016.

HANCHAR, J. M.; WATSON E. B. **Zircon Saturation Thermometry**. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry - REV MINERAL GEOCHEM*, v.53, 89-112, 2003.

HARRISON, T. M.; WATSON, E. B.; AIKMAN, A. B. **Temperature spectra of zircon crystallization in plutonic rocks**. GEOLOGY, July, 2007.

HORSTWOOD M. S. S., KOSLER. J., GEHRELS. G., JACKSON. S. E., MCLEAN. N. M., PATON. C., PEARSON. N. J., SIRCOMBE. K. SYLVESTER. P., VERMEESCH. P., BOWRING. J. F., CONDON. D. J., SCHOENE. B., **Community-Derived Standards for LA-ICP-MS U-(Th-)Pb Geochronology – Uncertainty Propagation, Age Interpretation and Data Reporting**. Geostandards and Geoanalytical Research. v. 40 – nº3. 311-332, 2016.

KOSCHEK, G. **Origin and significance of the SEM cathodoluminescence from zircon**. Journal of Microscopy, v. 171, Pt 3, 223-232, 1993.

KIMOTO, S.; HONJO, S. **Scanning Electron Microscope as a Tool in Geology and Biology**. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 4, Geology and mineralogy, 14(1), 57-69. 1968.

LAGLER, B. **Geologia e geoquímica das sequências vulcânicas paleoproterozóicas do Grupo Uatumã na região de São Félix do Xingu (PA), Cráton Amazônico**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LAMARÃO, C. N. **Geologia, geoquímica e geocronologia do magmatismo Paleoproterozóico da região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico**. Universidade Federal do Pará, Belém, 27 de setembro de 2001.

LAMARÃO, C. N.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.; LIMA, E. F. **Geology, geochemistry, and Pb-Pb zircon geochronology of Paleoproterozoic magmatism of Vila Riozinho, Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil**. Elsevier, Precambrian Research 119, 189-223, 2002.

LE MAITRE, R. W. **Igneous Rocks: A Classification and Glossary of terms**. International Union of Geological Sciences, Sub-Commission on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, p. 236, 2002.

MENDES, T. A. A.; OLIVEIRA, A. C. S.; ALMEIDA, M. E.; CAXITO, F. A.; NOVO, T. A. **The structural framework of the north-central Guiana Shield: a fossil fold-and-thrust belt in northeastern Roraima state, Brazil.** Journal of the Geological Survey of Brazil .v. 5, nº 1, 1-19, 2022.

PINTO, M. S.; PEUCAT, J. J. **Zircão** – Uma Ferramenta Importante na Caracterização Petrogenética de Granitóides No Bloco Gavião, Bahia. Sitientibus, Feira de Santana, n.23, 19-33, 2000.

POLDERVAART, A. **Zircon in rocks.** 2. Igneous rocks. American Journal of Science, nº 254, 521-554, 1956.

PUPIN, J. P.; TURCO, G. **Une typologie originale du zircon accessoire.** Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie 95, 348-359, 1972.

PUPIN, J. P. **Zircon and Granite Petrology.** Contribution to Mineralogy and Petrology, 73, 207-220, 1980.

PUPIN, J.P. **Zircon Typology: a Synthesis.** Applications to Magmatic, Metamorphic and Sedimentary Rocks. Journal of Petrology, v. 65, ega111, 2024.

SANTOS J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E.; GROVES, D.I.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. **A new understanding of the provinces of the Amazon craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology.** Gondwana Research, 3, 453-488, 2000.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil.** Brasília: CPRM, 2003.

SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; FARIA, M. S. G.; RIKER, S. R. L. SOUZA, M. M.; MCNAUGHTON, N. J. **A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: Avanços ocorridos no período de 2000-2006.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9. SGB, Belém, 2006.

SANTOS, F. S.; PIROSANA, R.; BARBOSA, M. A. S.; GERALDES, M. C.; LIMA, M. F. **Petrology of the Colíder Group volcanic successions in the northernmost Mato Grosso, Brazil:** A contribution to the knowledge of the felsic volcanism of the Alta Floresta Gold Province. *Journal of South American Earth Sciences*, 89, 10-29, 2019.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. A Evolução Tectônica do Cráton Amazônico. *In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Eds.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, v. 28, p. 471-485, 2004.

TEIXEIRA, W.; REIS, N. J.; BETTENCOURT, J. S.; KLEIN, E. L.; OLIVEIRA, D. C. **Intraplate Proterozoic Magmatism in the Amazonian Craton Reviewed:** Geochronology, Crustal Tectonics and Global Barcode Matches. *In: Dyke Swarms of the World: A Modern Perspective*, p.111-154, 2019.

VAVRA, G. **On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance:** a cathodoluminescence study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 106, 90-99, 1990.

WANG, X. **Quantitative description of zircon morphology and its dynamics analysis.** Department of Earth Sciences, Nanjing University, China. *SCIENCE IN CHINA*, Series D, 1998.

WATSON, E. B.; HARRISON, T. M. **Zircon saturation revisited:** temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64, 295-304, 1983.

WIEDENBECK, M.; ALLÉ, P.; CORFU, F.; GRIFFIN, W.L.; MEIER, M.; OBERLI, F.; VON QUADT, A.; RODDICK, J.C.; SPIEGEL, W. **Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses.** *Geostandards Newsletter*, 19, 1-23, 1995.

APÊNDICE A - Petrografia

Amostra: VR04	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): feno-dacito
Rocha holocristalina composta de matriz (40%) quartzosa, microcristalina, maciça; de fenocristais de plagioclásio (30%), subédrico, tabular; de quartzo (10%), anédrico, alterado e recristalizado com subgrãos ou sem alteração em agregados granoblásticos; de minerais opacos (7%) envolvidos por clorita (2%); e de clinopiroxênio (1%), de cor verde amarelada e relevo alto, em agregados.	
Amostra: VR05	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): riolito
Rocha holocristalina, composta de matriz (50%) quartzosa, microcristalina; de quartzo (25%), presente como fenocristais subédricos poligonais ou anédricos e um pouco alterados, ou em veios granoblásticos; feldspato (15%), em fenocristais subédricos tabulares, alterados, com franjas de quartzo; clorita (7%), subédrica em lamelas ou em agregados tabulares pseudomorfos; e de minerais opacos (2%) anédricos.	
Amostra: TM28	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): feno-basalto
Rocha acinzentada porfírica composta de matriz (60%) microcristalina feldspática; por fenocristais de plagioclásio (25%) euédrico a subédrico, tabular, bastante alterado e com bordas reabsorvidas; de minerais opacos (10%) subédricos, equantes, arredondados, envolvidos por epidoto (5%), com cores de interferência verde e amarelo de segunda ordem.	
Amostra: TM31	Classificação: metavulcânica
Rocha holocristalina incolor composta de matriz (70%) feldspática criptocristalina; de fenocristais de minerais opacos (20%) anédricos com bordas esverdeadas; magnetita (5%), cúbica, com relevo muito alto; incolor (5%) euédrico, tabular, fraturado, com textura coronítica alterada.	
Amostra: TM43	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): latito
Rocha holocristalina, composta de matriz (60%) quartzo-feldspática, microcristalina, com foliação incipiente evidenciada pela presença de clorita e outros minerais máficos; de plagioclásio (20%) tabular, com bordas de reabsorção; K-feldspato (5%), tabular, alterado; ortoclásio (5%), tabular, alterado, com bordas de reabsorção; clorita (5%), marrom, euédrica, tabular, pseudomórfica, como alteração dos feldspatos ou anédrica; epidoto (2%), amarelo pálido, anédrico, em agregados, como alteração dos feldspatos; e de quartzo (2%);	
Amostra: TM71	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): álcali-feldspato-traquito
Rocha composta de matriz (50%) feldspática com clorita; de feldspato (30%), em fenocristais tabulares com bordas reabsorvidas, bastante alterado, por vezes formando glomeropórfiros de três ou quatro cristais, nos quais às vezes se pode distinguir as maclas do ortoclásio, do microclínio e do plagioclásio; clorita (15%), lamelar, em agregados associados aos minerais opacos e ao quartzo ou em ripas que revelam uma foliação incipiente na matriz; de minerais opacos (3%), subédricos e equidimensionais; de quartzo (2%), anédrico e intersticial; e de turmalina, em quantidades traço em meio aos agregados de clorita, com forma prismática, fraturada.	
Amostra: LA01	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): feno-quartzo-latito
Rocha composta de matriz (40%) quartzo-feldspática, microgranular; de K-feldspato (20%) tabular, alterado, com cantos arredondados e caudas de clorita nas bordas; plagioclásio (15%) tabular, quebrado (Figura 7) e, às vezes, alterado; quartzo (5%) anédrico, em agregados; e de oligoclásio e	

microclínio, em quantidades traço.	
Amostra: MA01	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): riolito
Rocha composta de matriz (60%) quartzo-feldspática, microcristalina, de aspecto bege, em razão da presença de minerais opacos; K-feldspato (20%), subédrico, tabular, com bordas irregulares; plagioclásio (10%) apresenta textura de reabsorção e por vezes a textura glomeroporfírica; quartzo (5%) subédrico, prismático ou anédrico; clinopiroxênio (3%) subédrico, tabular, um pouco alterado; biotita (1%) envolvendo os minerais opacos (1%), que são subédricos e equidimensionais.	
Amostra: MA02	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): riolito
Rocha holocristalina composta de matriz (40%) criptocristalina, quartzo-feldspática, deformada, com vidro e minerais opacos, em textura seriada, que lhe dão aspecto cinza; feldspato (25%) subédrico, tabular, arredondado, argilizado; quartzo (20%) subédrico, poligonal, por vezes, com embaiamento. e de minerais opacos (5%) tabulares.	
Amostra: GLR24	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): álcali-feldspato-riolito
Rocha holocristalina composta de matriz (90%) cristalina, equigranular, quartzo-feldspática, com 45% de feldspatos, bastante alterados, quartzo (40%), e pontualmente minerais opacos (10%) envoltos por clorita (5%); O quartzo, por vezes, aparece em fenocristais subédricos poligonais e assim como o K-feldspato, subédrico, tabular e com bordas difusas.	
Amostra: GRL35	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): riolito
Rocha composta de matriz (85%) microcristalina, quartzo-feldspática, com minerais opacos pontuais, maciça; K-feldspato (7%), em fenocristais subédricos, tabulares, umas vezes com pertita outras poiquilítico, um pouco alterado e com bordas reabsorvidas; clorita (3%), em lamelas estiradas; quartzo (2%) subédrico, poligonal, em agregados com juntas triplíceis ou em agregados anédricos com bordas irregulares difusas; minerais opacos (2%) anédricos, bordejados por agregados de clorita; clinopiroxênio (1%), castanho claro, subédrico, tabular com relevo alto. Há também moscovita em quantidades traço.	
Amostra: PGR27	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): riolito
Rocha composta de matriz (55%) quartzo-feldspática e de fenocristais de K-feldspato (20%); plagioclásio (10%) subédrico, tabular com bordas reabsorvidas ou em agregados glomeroporfíricos; clinopiroxênio (7%), castanho escuro, subédrico, tabular; quartzo (5%) anédrico; e minerais opacos (3%) subédricos, poligonais ou tabulares (Figura 8).	
Amostra: SS39	Classificação QAPF (Le Maitre, 2002): riolito
Rocha holocristalina composta por matriz (30%) felsítica; por fenocristais de quartzo (25%) euédricos, hexagonais, com embaiamento e bordas reabsorvidas; de K-feldspato (10%) euédricos tabulares, alterados com texturas de intercrescimento com quartzo; clinopiroxênio (10%) euédricos, tabulares, por vezes quebrados ou embaiados, interceptados por moscovita e quartzo; de agregados de clorita (15%) tabulares, pseudomorfos, substituindo os feldspatos; e de minerais opacos (5%) arredondados e embaiados, envolvidos por clorita.	

**APÊNDICE B - Geoquímica de Rocha Total das Amostras do Grupo Surumu retirada de
Fraga *et al.* (2010)**

Amostra	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO	CaO	Na₂O	K₂O	TiO₂	Zr
LM-70A	74.33	13.97	1.62	0.040539	0.23	0.91	3.27	5.34	0.23	263.5
ST-02	67.77	13.26	6.15	0.213501	0.18	1.35	3.84	6.22	0.57	453.2
MF-10A	70.92	15.04	2.31	0.07098	0.55	1.46	4.21	4.94	0.40	3470
MF-110A	72.51	14.53	2.35	0.040766	0.58	1.56	4.11	3.92	0.30	214.6
ST-10	68.34	13.21	6.39	0.182039	0.30	1.85	4.27	4.82	0.59	417.9
HG-206	67.39	16.33	3.42	0.162338	0.72	2.02	4.47	4.77	0.53	420.4
STM-3A	70.49	15.26	2.95	0.061131	0.90	2.18	3.93	4.39	0.35	173.9
MF-73	68.94	15.16	3.10	0.122474	0.83	2.21	4.55	3.93	0.57	350.3
HG-159A	69.45	16.14	2.39	0.040539	0.64	2.53	3.72	4.56	0.44	259.5
SR-37A	74.28	14.14	0.57	0.184426	0.47	0.38	3.18	6.35	0.34	330
NR-138	72.33	15.02	1.54	0.257228	0.41	1.23	4.42	4.22	0.45	361
SR-174	70.85	15.42	3.08	0.154242	1.34	2.06	4.01	2.37	0.59	361
NR-35	69.82	16.71	0.91	0.226898	0.58	2.06	4.23	4.74	0.59	337
SR-164A	67.84	16.75	2.95	0.158011	1.47	3.90	3.05	3.27	0.48	199
SR-171	62.02	17.99	3.64	0.463525	2.87	5.08	2.65	3.97	0.95	203
SR-163	62.47	16.69	4.39	0.192534	5.35	5.99	3.10	1.06	0.59	133
SR-204	62.42	15.92	3.29	0.233546	4.03	6.79	4.03	2.23	0.83	239
SR-205	64.86	13.36	3.34	0.258565	3.23	9.80	2.59	1.83	0.60	110
SR178A	68.33	16.77	1.96	0.16466	0.92	2.78	3.40	4.94	0.58	289
NR-110A	71.91	15.83	0.93	0.143003	0.21	2.35	3.47	4.80	0.27	231
STM-7	70.94	13.77	2.55	0.091884	0.83	2.42	3.68	5.34	0.30	154.5

APÊNDICE C - Geoquímica de Rocha Total das Amostras Estudadas

Amostra	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO	CaO	Na₂O	K₂O	TiO₂	Zr
VR-04	70.44	15.66	2.96	0.05	0.37	0.4	3.36	6.31	0.38	309.7
VR-05	65.31	16.04	4.83	0.09	1.18	2.48	3.75	5.55	0.57	237.6
MA-01	70.48	14.71	3.31	0.07	0.34	1.6	4.19	4.84	0.36	467.1
MA-02	75.24	12.73	2.58	0.04	0.11	0.76	3.34	5.02	0.15	203.1
GLR-24	72.1	13.33	3.28	0.11	0.32	0.8	3.83	5.59	0.53	476.2
GLR-35	72.14	14.16	2.66	0.07	0.41	0.99	4.6	4.54	0.36	304.5
PGR-27	71.61	14.24	2.59	0.07	0.52	1.37	4.21	4.99	0.34	349.9
SS-39A	74.01	13.16	2.86	0.08	0.48	1.37	2.96	5.05	0.36	244.3
LA-01A	71.19	13.34	5.18	0.09	0.48	0.27	4.14	4.58	0.54	330.2

APÊNDICE D - Quadro da classificação tipológica por grão de zircão.

Zircão	Fiabilidade	Tipo	T (°C)	IA	IT	Perímetro (µm)	Área (µm²)
LA0101	0	-	-			299.8	6702.44
LA0102	0.9	P2	700	700.00	400.00	477.3	10353.6
LA0103	1	S10	700	600.00	400.00	318.9	6018.51
LA0104	0.6	J1	900	200.00	800.00	263.7	4863.5
LA0105	0.6	J2	900	300.00	800.00	338	8130.03
LA0106	0.9	D	900	700.00	800.00	403.8	9477.84
LA0108	1	S10	700	600.00	400.00	253.8	4576.95
LA0109	1	D	900	700.00	800.00	260.5	3893.23
LA0110		J5	900	600.00	800.00	352.9	8273.52
LA0111	1	J5	900	600.00	800.00	268.3	4961.95
LA0112	0	-	-			320.1	6234.67
LA0113	0.9	P4	800	700.00	600.00	315	6060.12
LA0114	0.9	S7	700	300.00	400.00	418	10395.89
LA0115	0.9	S5	650	600.00	300.00	351.4	8146.23
LA0116	0.9	S10	700	600.00	400.00	168.8	2008.93
LA0118	0.9	J3	900	400.00	800.00	311	6259.47
LA0119	0.9	P1	650	700.00	300.00	216.5	2945.52
LA0120	0.6	J5	900	600.00	800.00	342.88	7650.86
LA0121	0.9	J1	900	200.00	800.00	380.8	9923.71
LA0122	0.9	P1	650	700.00	300.00	319.7	6599.55
LA0123	1	D	900	700.00	800.00	317.8	6715.27
LA0124	0.6	J5	900	600.00	800.00	282.7	4866.85
LA0125	0.9	S10	700	600.00	400.00	322	6150.44
LA0126	0.9	S10	700	600.00	400.00	353.1	8951.42

LA0127	1	P5	850	700.00	700.00	332.8	7667.02
LA0128	1	P1	650	700.00	300.00	269.7	4175.89
LA0129	0.6	S24	850	500.00	700.00	370.6	7537.05
LA0130	0.6	S13	750	400.00	500.00	519.9	18467.31
LA0131	0.6	D	900	700.00	800.00	460.7	14643.88
LA0132	0.6	S10	700	600.00	400.00	490.6	17471.73
LA0133	1	P2	700	700.00	400.00	514.5	15534.69
LA0134	0.9	S21	850	200.00	700.00	390.9	8907.66
LA0135	1	D	900	700.00	800.00	528.5	13392.19
LA0136	0.6	S12	750	300.00	500.00	444.5	9196.89
LA0138	1	P2	700	700.00	400.00	475.1	11096.25
LA0139	0.9	P2	700	700.00	400.00	467	14919.14
LA0140	1	J5	900	600.00	800.00	340.2	8560.07
LA0142	0	-	-			363	9092.09
LA0144	0.6	J1	900	200.00	800.00	422.2	10519.07
LA0146	0.6	J4	900	500.00	800.00	347	7797.31
LA0149	1	S10	700	600.00	400.00	379.4	9433.75
LA0150	0.9	J5	900	600.00	800.00	443.8	9667.69
LA0151	0.9	D	900	700.00	800.00	409.4	8578.48
LA0152	1	J4	900	500.00	800.00	390.6	8721.79
LA0153	1	D	900	700.00	800.00	452.2	12797.58
Médias	0.80		805.95	560.98	607.32	365.99	8629.73
VR0401	1	S10	700	600	400	235.1	3484.16
VR0402	0.6	S25	850	600	700	240.4	3408.03
VR0403	0.6	S24	850	500	700	256.4	4662.22
VR0404	0.6	S24	850	500	700	329.8	7066.49
VR0405	0.6	S10	700	600	400	250.5	4392.15

VR0406	0.9	S10	700	600	400	288.3	5267.32
VR0407	0.9	S24	850	500	700	310.1	7072.23
VR0408	1	P2	700	700	400	323.7	6677.31
VR0409	0.9	S15	750	600	500	235	4142.63
VR0410	0.9	S10	700	600	400	258.7	4520.38
VR0411	1	P2	700	700	400	257.9	4056.24
VR0412	0.6	S10	700	600	400	363.3	9364.3
VR0413	0.6	S24	850	500	700	358.3	9623.86
VR0414	0.3	B	550	100	100	311.5	4974.85
VR0415	0.6	S24	850	500	700	288.7	5560.82
VR0416	0.6	B	550	100	100	263.9	4635.1
VR0417	1	S5	650	600	300	291.8	5546.39
VR0418	0.9	S25	850	600	700	283.3	5907.62
VR0419	0.6	S21	850	200	700	300.3	6185.59
VR0420	0.3	G2	600	700	200	253.8	4816.38
VR0421	0.3	G2	600	700	200	242.9	4231.68
VR0422	0.6	J1	900	200	800	242.7	3986.54
VR0423	0.3	S12	750	300	500	202.1	3081.04
VR0424	0.6	S12	750	300	500	299.8	6347.17
VR0425	0.9	S19	800	500	600	521	17026.79
VR0426	0.9	S25	850	600	700	424.9	11930.5
VR0427	0.9	P5	850	700	700	518.9	14633.72
VR0428	0.9	S19	800	500	600	659.7	24893.57
VR0429	0.9	G1	600	700	200	458.1	13223.83
VR0430	0.9	P2	700	700	400	418	9419.46
VR0431	0.9	G1	600	700	200	578.6	14272.9
VR0432	0.9	S13	750	400	500	489	16475.54

VR0433	0.9	S19	800	500	600	428.9	10087.19
VR0434	0.9	S19	800	500	600	407.1	10329.58
VR0435	0.9	D	900	700	800	377.6	8791.3
VR0436	0.9	P2	700	700	400	522.6	16075.15
VR0437	1	S19	800	500	600	280.6	5203.92
VR0438	0.9	S5	650	600	300	660.7	23710.09
VR0439	0.9	S10	700	600	400	385.8	8889.62
VR0440	0.9	S19	800	500	600	395.1	11048.09
VR0441	0.6	S25	850	600	700	448.1	12537.01
VR0442	0.9	S5	650	600	300	411.8	11603.71
VR0443	1	S10	700	600	400	346.7	7963.23
VR0444	0.9	P1	650	700	300	611	15845.37
VR0445	0.6	S22	850	300	700	384.3	9790.67
VR0446	0.9	S10	700	600	400	357.2	8962.43
VR0447	0.6	S13	750	400	500	384.1	10337.2
VR0448	0.6	S13	750	400	500	352.5	8501.73
VR0449	0.9	S24	850	500	700	449.5	12629.66
VR0450	1	S19	800	500	600	498	16524.09
VR0451	0.9	S12	750	300	500	366.9	9340.81
VR0452	0.6	S21	850	200	700	371.2	9351.18
VR0453	0.9	S24	850	500	700	412	10967.73
VR0454	0.6	S10	700	600	400	355.5	8927.06
VR0455	0.3	G2	600	700	200	340.1	8675.76
VR0456	0.9	S10	700	600	400	422.7	11470.6
VR0457	0.6	J2	900	300	800	347.3	8414.5
VR0458	0.9	S13	750	400	500	414.6	11592.2
VR0459	1	S10	700	600	400	385.4	9325.04

VR0460	1	S19	800	500	600	342.8	7642.8
VR0461	0.6	J1	900	200	800	379.6	9195.06
VR0462	1	S25	850	600	700	443.8	14078.22
VR0463	0.9	S12	750	300	500	325.8	7512.99
VR0464	0.9	S12	750	300	500	350.9	8505.46
VR0465	1	G2	600	700	200	296.1	6536.91
VR0466	0.9	S25	850	600	700	376.8	10261.88
VR0467	0.3	S22	850	300	700	324.2	7144.75
VR0468	0.6	S10	700	600	400	293	6109.68
VR0469	0.9	S25	850	600	700	343.2	7455.13
Médias	0.78		755.80	513.04	511.59	367.39	9162.68
VR0501	0	-				430.9	12996.72
VR0502	0.9	S10	700	600	400	393.5	10827.07
VR0503	0.3	D	900	700	800	398.8	11128.88
VR0504	1	S10	700	600	400	525.6	20534.67
VR0505	0	-				567.6	22467.08
VR0506	0.9	D	900	700	800	386.8	9382.01
VR0507	0.9	S9	700	500	400	472.1	15412.47
VR0508	1	S10	700	600	400	478.5	16580.6
VR0509	0.3	D	900	700	800	596.7	21544.62
VR0510	0.9	S3	650	400	300	484.5	16219.65
VR0511	1	S10	700	600	400	304.2	6278.21
VR0512	1	P2	700	700	400	387.4	10603.34
VR0513	0	-				330.8	7759
VR0514	0.9	S10	700	600	400	357	8743.18
VR0515	0.9	S10	700	600	400	374.7	7614.99
VR0516	0.6	S7	700	300	400	362.7	9328.78

VR0517	0	-				413.5	11960.26
VR0518	0.6	J5	900	600	800	363.7	9558.99
VR0519	0	-				483.9	15916.15
VR0520	0.9	S10	700	600	400	337.6	7695.18
VR0521	0.9	S25	850	600	700	288.1	5533.17
VR0522	0.9	J4	900	500	800	333.5	7542.78
VR0523	0.9	D	900	700	800	405.4	10321.28
VR0524	0.3	D	900	700	800	395.1	10947.52
VR0525	0.3	S10	700	600	400	405.1	11640.09
VR0526	0.6	D	900	700	800	351.5	8147.23
VR0527	0.9	G1	600	700	200	747.1	24546.03
VR0528	0.9	D	900	700	800	495.5	13542.74
VR0529	0.9	P2	700	700	400	663.8	27685.29
VR0530	0.9	D	900	700	800	478.5	15296.49
VR0531	0.9	D	900	700	800	507.8	17295.89
VR0532	1	P1	650	700	300	519.4	17092.37
VR0533	1	S10	700	600	400	477.4	16001.71
VR0534	0.6	S10	700	600	400	419.5	8905.45
VR0535	0.9	S22	850	300	700	456.7	14441.77
VR0536	1	D	900	700	800	578.6	19299.98
VR0537	0.9	P2	700	700	400	529.7	18727.41
VR0538	0.9	S5	650	600	300	533.6	18758.33
VR0539	0	-				420	10652.39
VR0540	1	P1	650	700	300	600.3	20730.75
VR0541	0.9	P2	700	700	400	357.5	8209.64
VR0542	0.3	J5	900	600	800	294.8	6178.35
VR0543	0	-				261.6	4272.16

VR0544	0.9	J5	900	600	800	314.4	6923.98
VR0545	0.9	S15	750	600	500	282.9	5614.12
VR0546	0.3	S10	700	600	400	317.4	6506.66
VR0547	0.6	J5	900	600	800	350.2	7521.88
VR0548	0.9	J5	900	600	800	325.1	6576.08
VR0549	0.9	S10	700	600	400	290.7	5943.52
VR0550	0.6	P2	700	700	400	410.6	10577.08
VR0551	0.6	S10	700	600	400	269.5	4852.72
VR0552	0.6	S10	700	600	400	411.1	11677.14
VR0553	0	-				273.8	5152.26
VR0554	0	-				318.3	6898.7
VR0555	0	-				392.1	9621.67
VR0556	0.9	S10	700	600	400	327.1	7338.86
VR0557	0	-				360.9	6853.69
Média	0.64		770.65	617.39	541.30	414.30	11761.04
TM4301	0.9	D	900	700	800	340.6	5703.34
TM4302	0.6	D	900	700	800	440.5	11725.44
TM4303	0.9	S9	700	500	400	324.4	7086.47
TM4304	1	P1	650	700	300	366.4	7674.45
TM4305	0.9	J4	900	500	800	416	11515.64
TM4306	0.3	S10	700	600	400	277.5	4528.99
TM4307	0	-	-			317.1	6603.54
TM4308	0.9	D	900	700	800	370.1	8590.57
TM4309	1	S5	650	600	300	318.1	6341.84
TM4310	1	S10	700	600	400	356.5	8588.29
TM4311	0.6	P2	700	700	400	391.3	9699.1
TM4312	0.6	S10	700	600	400	324.5	7038.81

TM4313	1	S10	700	600	400	318.1	6593.58
TM4314	1	G1	600	700	200	377.7	9330.14
TM4315	0.6	D	900	700	800	301.4	5104.1
TM4316	0.9	P2	700	700	400	416.2	11010.71
TM4317	1	J4	900	500	800	317.4	7051.19
TM4318	0.9	G1	600	700	200	323.3	5686.18
TM4319	0	-				335.5	6826.7
TM4320	0.3	D	900	700	800	305.4	5646.86
TM4321	0.6	S9	700	500	400	351.5	9125.77
TM4322	1	D	900	700	800	429.3	11252.86
TM4323	1	P5	850	700	700	453.7	14266.38
TM4324	0.9	J5	900	600	800	384.7	10244.88
TM4325	0.9	P1	650	700	300	426.5	10555.54
TM4326	1	P2	700	700	400	526.8	13771.3
TM4327	1	P1	650	700	300	517.6	16503.91
TM4328	1	D	900	700	800	591.5	18921.83
TM4329	1	D	900	700	800	477.6	12347.73
TM4330	0.9	G1	600	700	200	454.7	10810.3
TM4331	0.3	J3	900	400	800	276	5148.22
TM4332	0.9	S5	650	600	300	724.5	28864.01
TM4333	0.3	D	900	700	800	322.8	6831.43
TM4334	0.9	P2	700	700	400	367.2	6647.45
TM4335	1	J4	900	500	800	242.3	4132.33
TM4336	0.3	P1	650	700	300	300.2	5483.76
TM4337	0.9	P3	750	700	500	363.1	7200.24
TM4338	0.6	P3	750	700	500	358.7	7883.94
TM4339	0.3	S17	800	300	600	293.5	5406.82

TM4340	0.3	P1	650	700	300	406.9	10722.58
TM4341	0.9	P1	650	700	300	359.2	7520.9
TM4342	0.9	D	900	700	800	439.7	10308.93
TM4343	0.9	S10	700	600	400	278.4	5847.63
TM4344	0.6	S12	750	300	500	340.6	7349.2
TM4345	1	S10	700	600	400	333.6	7744.71
TM4346	0.9	S5	650	600	300	302.3	6331.17
TM4347	0.9	D	900	700	800	498.4	11623.2
Médias	0.76		763.33	631.11	526.67	377.86	9046.66
TM7101	0.9	S12	750	300	500	390.2	10477.16
TM7102	0.9	P1	650	700	300	383.9	9003.55
TM7103	0.3	S5	650	600	300	345	7512.59
TM7104	1	S24	850	500	700	391	11240.46
TM7105	1	D	900	700	800	343.5	7775.33
TM7106	1	P1	650	700	300	389.1	10088.13
TM7107	0.9	S25	850	600	700	324	7803.48
TM7108	0.6	D	900	700	800	352.8	8075.56
TM7109	0.9	J5	900	600	800	357.5	9316.59
TM7110	0.9	P1	650	700	300	382.9	10192.92
TM7111	0.9	P2	700	700	400	467.2	12566.25
TM7112	1	P2	700	700	400	401.8	9466.11
TM7113	1	D	900	700	800	307.7	6068.96
TM7114	0.6	S10	700	600	400	413.3	11344.08
TM7115	1	S10	700	600	400	401	11086.89
TM7116	1	J3	900	400	800	309.3	6971.96
TM7117	0.6	D	700	700	800	399	9421.01
TM7118	0.9	P1	650	700	300	427.7	10905.71

TM7119	1	P1	650	700	300	395.6	9363.08
TM7120	0.9	J5	900	600	800	363.1	9259.47
TM7121	0.9	D	900	700	800	323.7	6559.35
TM7122	0.9	J5	900	600	800	437.9	14062.49
TM7123	0.6	S19	800	500	600	519.3	14971.56
TM7124	0.6	S5	650	600	300	424.4	11157.21
TM7125	1	D	900	700	800	553.1	17959.94
TM7126	0.6	D	900	700	800	537.5	16243.89
TM7127	1	J5	900	600	800	465.9	15376.98
TM7128	0.6	S24	850	500	700	682.3	31797.37
TM7129	0.6	S19	800	500	600	549.3	19865.38
TM7130	0.9	D	900	700	800	584	18396.73
TM7131	0.6	G1	600	700	200	577.9	21982.48
TM7132	0.9	P2	700	700	400	603.9	20387.12
TM7133	0.6	S8	700	400	400	439.9	13686.26
TM7134	0.3	S19	800	500	600	523	19115.67
TM7135	0.9	P2	700	700	400	464.9	11838.62
TM7136	1	P1	650	700	300	518	16836.52
TM7137	0.6	D	900	700	800	569.7	16269.33
TM7138	1	D	900	700	800	514	14770.71
TM7139	0.6	P1	650	700	300	525.3	16737.53
TM7140	0	-	-			395.1	10002.31
TM7141	0.6	G1	600	700	200	531.9	14478.93
TM7142	1	D	900	700	800	520.8	15931.57
TM7143	0.6	P1	650	700	300	493	15341.72
TM7144	0.9	P4	800	700	600	516	16372.62
TM7145	0	-	-			411.7	12382.1

TM7146	1	D	900	700	800	561.1	19589.45
TM7147	1	S5	650	600	300	472.6	14873.57
TM7148	0.6	P2	700	700	400	561.6	18636.5
TM7149	0.6	P1	650	700	300	600.3	23610.42
Médias	0.77		770.21	636.17	548.94	457.63	13615.79
MA0101	0.9	G2	600	700	200	336.60	7953.37
MA0102	0.3	S15	750	600	500	331.90	8011.86
MA0103	0.6	D	900	700	800	327.80	6560.00
MA0104	0.6	P2	700	700	400	423.50	10243.77
MA0105	0					308.70	6086.95
MA0106	0.9	S10	700	600	400	251.50	4338.27
MA0107	1	S10	700	600	400	314.00	6827.36
MA0108	0.9	P3	750	700	500	296.00	6013.39
MA0109	1	P3	750	700	500	447.00	11026.35
MA0110	0.9	P2	700	700	400	489.60	13223.09
MA0111	1	S13	750	400	500	252.90	4367.53
MA0112	0.9	G2	600	700	200	320.80	7411.54
MA0113	0.9	P3	750	700	500	371.70	9194.49
MA0114	0.6	D	900	700	800	305.30	6496.37
MA0115	1	D	900	700	800	501.30	15486.55
MA0116	0.6	S23	850	400	700	365.90	9322.24
MA0117	0					333.40	7643.84
MA0118	0.9	J5	900	600	800	336.10	8090.17
MA0119	0.6	D	900	700	800	275.90	4967.80
MA0120	0					262.00	4996.13
MA0121	0.3	P2	700	700	400	317.90	5502.84
MA0122	0.6	P2	700	700	400	393.30	10079.17

MA0123	0.9	P4	800	700	600	342.70	7042.74
MA0124	0.9	P2	700	700	400	348.10	7460.40
MA0125	0.3	S18	800	200	600	346.00	8746.71
MA0126	0.6	S15	750	600	500	296.60	6416.20
MA0127	0.9	P3	750	700	500	490.80	13959.05
MA0128	0.9	P2	700	700	400	453.30	12848.41
MA0129	0.9	P1	650	700	300	466.30	10964.76
MA0130	1	S15	750	600	500	494.00	18185.07
MA0131	0.6	P2	700	700	400	381.50	9317.23
MA0132	0.3	P1	650	700	300	237.10	3576.04
MA0133	0.6	S8	700	400	400	353.00	8926.96
MA0134	1	S14	750	500	500	487.70	15657.78
MA0135	1	P4	800	700	600	380.10	9885.09
MA0136	0.9	G1	600	700	200	801.30	30922.03
MA0137	0.9	S24	850	500	700	300.00	5828.63
MA0138	0.9	S4	650	500	300	371.90	9469.44
MA0139	0.3	AB3	550	400	100	362.30	9863.74
MA0140	0.6	G2	600	700	200	335.10	8274.93
MA0141	0.9	G2	600	700	200	405.30	11947.48
MA0142	1	P3	750	700	500	502.00	16259.65
MA0143	0.6	P4	800	700	600	454.00	14848.60
MA0144	0.6	G3	600	700	200	557.30	22422.88
MA0145	0.6	P4	800	700	600	500.00	16070.73
MA0146	0					414.80	12452.46
MA0147	0.6	J5	900	600	800	472.00	15676.48
MA0148	0.9	P5	850	700	700	480.90	16015.38
MA0149	1	G2	600	700	200	418.50	13025.43

MA0150	1	S23	850	400	700	530.10	19355.09
MA0151	0.9	P2	700	700	400	553.30	20228.17
MA0152	0.3	S10	700	600	400	359.40	9513.08
Médias	0.70		737.50	629.17	475.00	393.43	10750.07
MA0201	1	G1	600	700	200	385.6	8525.68
MA0202	1	P5	850	700	700	455.5	12016.79
MA0203	1	P5	850	700	700	347.1	7441.05
MA0204	1	P4	800	700	600	405.6	10237.31
MA0205	0.9	P4	800	700	600	462.7	11113.46
MA0206	1	P5	850	700	700	357.5	7730.85
MA0207	0.3	G3	600	700	200	290.2	6120.92
MA0208	1	S24	850	500	700	346.6	8490.7
MA0209	1	P5	850	700	700	377.8	8809.38
MA0210	0.9	D	900	700	800	406.4	10611.77
MA0211	1	J5	900	600	800	330.2	7432.23
MA0212	0.9	P5	850	700	700	398.3	9030.6
MA0213	0.9	P1	650	700	300	446.2	11583.22
MA0214	0.9	G1	600	700	200	452.6	12091.67
MA0215	0.9	P5	850	700	700	341.6	7115.54
MA0216	0.9	P1	650	700	300		
MA0217	0.9	D	900	700	800	417.6	9566.72
MA0218	0.9	G1	600	700	200	404.8	10657.12
MA0219	0.6	P1	650	700	300	335.1	7237.26
MA0220	0.9	S19	800	500	600	333.9	7572.56
MA0221	1	G2	600	700	200		
MA0222	0.3	P1	650	700	300	433.6	11786.5
MA0223	0.6	D	900	700	800	417.4	11939.17

MA0224	0.9	D	900	700	800	403.6	9420.67
MA0225	1	P1	650	700	300	489.3	16048.98
MA0226	1	P1	650	700	300	577.1	19320.15
MA0227	1	P1	650	700	300	584.8	14466.81
MA0228	0.9	P3	750	700	500	611.6	20086.52
MA0230	0.9	P3	750	700	500	776.2	24060.27
MA0231	0.3	P4	800	700	600	399.9	10051.49
MA0232	0.6	P4	800	700	600	445.5	12864.83
MA0233	0.9	D	900	700	800	463	10876.91
MA0234	0.9	G1	600	700	200	886	33845.88
MA0235	0.9	S5	650	600	300	551.7	21306.57
MA0236	1	P1	650	700	300	701.9	23828.06
MA0237	1	D	900	700	800	400.7	9885.46
MA0238	1	D	900	700	800	628.8	22823.33
MA0239	0.9	D	900	700	800	408.1	10338.9
MA0240	1	D	900	700	800	403.6	10769.42
MA0241	0.9	D	900	700	800	564.1	16783.71
MA0242	1	P1	650	700	300	593.9	21761.74
MA0243	1	D	900	700	800	508.7	14497.9
MA0244	0.9	S10	700	600	400	437.4	13456.58
MA0245	0.9	S5	650	600	300	469.3	10668.19
MA0246	0.6	P4	800	700	600	497.9	16665.28
MA0247	0.9	G2	600	700	200	500.8	18395.64
MA0248	0.9	S25	850	600	700	486.7	15889.95
MA0249	1	D	900	700	800	576.8	20541.57
MA0250	1	P2	700	700	400	463.3	13075.5
Médias	0.88		766.33	681.63	532.65	467.60	13379.59

GLR2401	1	D	900	700	800	480.1	12324.26
GLR2402	0.9	G2	600	700	200	367.5	9532.13
GLR2403	0.9	G1	600	700	200	368.6	8128.52
GLR2404	0.9	P1	650	700	300	393	9899.03
GLR2405	0.6	J4	900	500	800	434.9	11593.26
GLR2406	0.9	S10	700	600	400	408.5	11304.93
GLR2407	0.6	D	900	700	800	358.9	7687.92
GLR2408	0.9	P5	850	700	700	450.6	10598.65
GLR2409	1	S10	700	600	400	391.6	10121.99
GLR2410	0.9	S10	700	600	400	380	8902.84
GLR2411	0.3	S10	700	600	400	251.6	4095.17
GLR2412	1	S10	700	600	400	360	8617.66
GLR2413	1	S10	700	600	400	347.7	7290.7
GLR2414	0.9	S10	700	600	400	313.9	6409.08
GLR2415	0	-				435.5	11853.86
GLR2416	0.6	S10	700	600	400	354.8	8844.25
GLR2417	0	-				333.9	6562.61
GLR2418	0.9	P2	700	700	400	328.4	6782.8
GLR2419	0.6	D	900	700	800	364.8	7621.94
GLR2420	0.9	P4	800	700	600	356.2	8116.08
GLR2421	0.9	S9	700	500	400	272	5121.29
GLR2422	1	P1	650	700	300	353.7	7963.12
GLR2423	0	-				313.3	5764.54
GLR2424	0.9	S21	850	200	700	404.8	10238.1
GLR2425	1	S23	850	400	700	411.3	12161.81
GLR2426	0.9	P1	650	700	300	380.9	8036.4
GLR2427	0.3	D	900	700	800	299	5433.15

GLR2428	0.6	S10	700	600	400	377.4	8444.42
GLR2429	0.9	J5	900	600	800	330.2	7543.5
GLR2430	0.9	P1	650	700	300	352.3	7413.37
GLR2431	0.6	D	900	700	800	395.4	9251.7
GLR2432	0.9	S15	750	600	500	448.1	14500.68
GLR2433	0.9	P2	700	700	400	519.8	16916.03
GLR2434	0.6	J5	900	600	800	416.4	11533.64
GLR2435	0.6	G2	600	700	200	444.7	14092.75
GLR2436	1	P1	650	700	300	549.7	17222.37
GLR2437	0.9	S10	700	600	400	443.8	13883.06
GLR2438	0.6	S10	700	600	400	457.5	11527.07
GLR2439	0.9	G2	600	700	200	397.1	10890.21
GLR2440	0.3	S19	700	500	600	493.4	13566.75
GLR2441	1	P2	700	700	400	492.1	14660.67
GLR2442	0.9	D	900	700	800	453.2	11901.8
GLR2443	0.9	S5	650	600	300	367.8	9702.34
GLR2444	0.9	D	900	700	800	380.9	8339.8
GLR2445	1	S5	650	600	300	356.5	8521.52
GLR2446	0.9	P2	700	700	400	439.1	10785.55
GLR2447	0.9	S24	900	500	700	331.9	7697.89
GLR2448	0.9	D	900	700	800	417.1	10535.19
GLR2449	1	D	900	700	800	431.6	9208.12
GLR2450	1	D	900	700	800	446.1	11519.98
GLR2451	0.9	P1	650	700	300	503.8	15488.99
GLR2452	0.9	D	900	700	800	419.2	9740.34
GLR2453	0.6	S16	800	200	600	368	9028.47
GLR2454	0.9	D	900	700	800	585	21122.53

GLR2455	0.6	S10	700	600	400	381.8	10660.58
GLR2456	0.9	S10	700	600	400	378.3	9433.33
GLR2457	0.9	S10	700	600	400	286.3	5380.09
GLR2458	0.6	S18	800	400	600	356	8270.62
GLR2459	0	-				427.4	9573.41
GLR2460	0.9	S19	800	500	600	376.7	9709.14
GLR2461	0.9	D	900	700	800	422.5	12055.71
GLR2462	0.3	J5	900	600	800	391.7	9355.7
Médias	0.76		763.79	620.69	529.31	396.04	10007.80
GLR3501	0	-				241.38	4087.47
GLR3502	0.9	S5	650	600	300	285.59	5541.58
GLR3503	0.9	P1	650	700	300	261.73	3857.64
GLR3504	0.9	P3	750	700	500	509.02	11886.91
GLR3506	1	S10	700	600	400	235.97	3712.67
GLR3508	0					272.37	4642.25
GLR3510	1	S10	700	600	400	279.62	5556.96
GLR3511	0.3	J4	900	500	800	236.06	3432.79
GLR3512	0.3	G3	600	700	200	281.44	5577.14
GLR3513	0.9	S12	750	300	500	288.94	5502.92
GLR3514	1	D	900	700	800	331.16	6039.39
GLR3515	0					345.25	8456.89
GLR3516	0.9	P1	650	700	300	342.7	7824.23
GLR3517	0					404.88	5883.53
GLR3518	0.9	S15	750	600	500	222.59	3545.66
GLR3520	1	D	900	700	800	300.33	5549.5
GLR3521	0.6	P3	750	700	500	483.13	13125.76
GLR3522	0.9	G1	600	700	200	251.76	3764.28

GLR3523	0.6	D	900	700	800	285.87	4848.07
GLR3524	0					284.43	5915.33
GLR3525	0.6	S19	800	500	600	347.67	8757.47
GLR3526	0.9	P3	750	700	500	263.42	4274.6
GLR3527	0.6	S10	700	600	400	216.27	3076.24
GLR3528	0.3	S20	800	600	600	240.4	4025.97
GLR3529	0.9	P2	700	700	400	250.18	4001.64
GLR3530	1	S1	650	200	300	302.98	6300.21
GLR3531	0					235.94	3653.41
GLR3532	0.9	G2	600	700	200		18367.16
GLR3533	0.9	S1	650	200	300	559.22	20881.45
GLR3534	1	S19	800	500	600	514.22	15161.96
GLR3535	0.9	P2	700	700	400	464.35	14306.67
GLR3536	0.6	G2	600	700	200	399.68	11506.54
GLR3538	0.9	D	900	700	900	514.06	16117.15
GLR3540	0					425.4	13040.37
GLR3541	0.9	P3	750	700	500		2560.05
GLR3542	0.6	P2	700	700	400		10139.7
GLR3543	1	P1	650	700	300	421.43	10550.29
GLR3544	0.3	S22	850	300	700	365.51	8778.41
GLR3546	0.9	D	900	700	800	356.49	7697.39
GLR3547	0.6	P3	750	700	500	392.13	9646.1
GLR3548	0.3	G2	600	700	200	424.11	12957.12
GLR3549	0.6	G1	600	700	200	353.79	8783.01
GLR3550	0.9	S10	700	600	400	352.11	8850.87
GLR3551	0.9	AB3	550	400	100	323.83	7575.47
GLR3552	0.9	P1	650	700	300	348.59	7587.38

GLR3553	1	G1	600	700	200	324.73	6386.74
GLR3554	0.9	D	900	700	800	373.25	8951.2
GLR3555	0.9	D	900	700	800	341.12	6410.6
GLR3556	0.3	P2	700	700	400	437.05	9828.99
GLR3557	0.9	P2	700	700	400	419.78	11452.7
GLR3558	0.9	S10	700	600	400	359.99	8901.86
Médias	0.67		727.27	620.45	456.82	343.17	8025.09
SS3901	1	S10	700	600	400	563.7	21915.79
SS3902	0.9	D	900	700	800	714.9	31067.7
SS3903	0.9	S23	850	400	700	765.2	34343.82
SS3904	0.9	P5	850	700	700	664.7	26120.98
SS3905	0.9	S10	700	600	400	688.2	31905.39
SS3906	1	S10	700	600	400	467	13120.89
SS3907	1	S10	700	600	400	597.4	25070.37
SS3908	0	-	-			526.7	16858.42
SS3909	0	-	-			451.4	13108.19
SS3910	1	D	900	700	800	458.7	13843.19
SS3912	0.3	P5	850	700	700	356	7637.84
SS3913	0.9	S10	700	600	400	490.4	14464.19
SS3914	0.9	G2	600	700	200	554.7	20806.32
SS3915	0.6	G2	600	700	200	473.8	13988.53
SS3916	1	S10	700	600	400	399.1	11470.12
SS3917	0	-	-			529.3	19018
SS3918	1	P1	650	700	300	547.5	18702.87
SS3919	0.3	D	900	700	800	455.6	12339.01
SS3920	0.9	S7	700	300	400	550	20487.55
SS3921	0.9	S10	700	600	400	554.5	21181.68

SS3922	0.3	G1	600	700	200	448.6	12845.38
SS3923	0.3	D	900	700	800	594.2	23349.14
SS3924	0	-	-			483.8	12421.48
SS3925	0.3	D	900	700	800	497.1	15157.45
SS3926	0.9	P1	650	700	300	555.8	18111.24
SS3927	1	S10	700	600	400	491.4	16032.94
SS3928	0.9	P1	650	700	300	684.5	28046.06
SS3929	0.9	P2	700	700	400	506.6	15860.22
SS3930	0.9	S5	650	600	300	513.9	18899.12
SS3931	1	S10	700	600	400	502.5	16307.21
SS3932	0.6	P3	750	700	500	568.6	18518.97
SS3933	0.6	D	900	700	800	791.1	36313.7
SS3934	0.9	S10	700	600	400	473.9	14450.37
SS3935	1	D	900	700	800	564.3	21591.59
SS3936	0.9	D	900	700	800	715.3	32795.75
SS3937	0.9	P1	650	700	300	596.9	18942.03
SS3938	0.9	J3	900	500	800	498.3	17483.68
SS3939	1	J5	900	600	800	445	13704.28
SS3940	0.9	P2	700	700	400	552.8	18822.06
SS3941	1	D	900	700	800	484.9	14109.64
SS3942	1	P2	700	700	400	611.8	20957.24
SS3943	0.6	S10	700	600	400	639.4	27419.36
SS3944	0.9	S10	700	600	400	510.7	16443.67
SS3946	0.9	G2	600	700	200	594.4	24379.84
SS3947	0.9	J4	900	500	800	581.7	21950.42
SS3948	0.9	S10	700	600	400	440.2	12866.16
SS3949	0.6	D	900	700	800	566	21624.51

SS3950	0.9	P2	700	700	400	507.3	17449.2
SS3951	0.9	P2	700	700	400	525.9	18261.23
SS3952	0.3	D	900	700	800	569.2	19053.05
SS3953	1	P2	700	700	400	584.3	22068.67
Médias	0.75		756.38	644.68	512.77	547.24	19484.05
PGR2701	1	P2	700	700	400	314.3	6246.5
PGR2702	0.9	P1	650	700	300	395.7	9298.94
PGR2703	0.6	P2	700	700	400	256.6	4095.31
PGR2704	0.9	P2	700	700	400	387.1	8968.58
PGR2705	0.9	D	900	700	800	300.5	5332.5
PGR2706	1	S10	700	600	400	234.7	3554.79
PGR2707	0.9	P4	800	700	600	284.6	4745.51
PGR2708	0.9	S10	700	600	400	220.2	3004.2
PGR2709	1	S9	700	500	400	285.8	6000.99
PGR2710	0	-	-			226.9	3813.94
PGR2711	0.9	D	900	700	800	262.4	4507.66
PGR2712	0.9	D	900	700	800	248	3660.45
PGR2713	0.9	P4	800	700	600	353.2	8531.29
PGR2715	0.9	P1	650	700	300	334.5	6446.05
PGR2716	0.6	D	900	700	800	244.7	3275.62
PGR2717	0.3	P2	700	700	400	256.3	4097.34
PGR2718	0.6	D	900	700	800	258.4	4340.37
PGR2719	0.3	D	900	700	800	319.6	4483.94
PGR2720	0.6	P2	700	700	400	323.8	6791.97
PGR2721	0.3	S8	700	400	400	397.9	11670.08
PGR2722	0.3	D	900	700	800	272.7	4547.1
PGR2723	0.9	P1	650	700	300	362.1	6710.59

PGR2724	0.9	S10	700	600	400	282.7	5519.58
PGR2725	0.6	D	900	700	800	381.2	8947.62
PGR2726	0.6	D	900	700	800	271.3	4777.35
PGR2727	0.6	G1	600	700	200	333.6	7278.89
PGR2728	0.9	G1	600	700	200	283.2	4917.65
PGR2729	0.9	G1	600	700	200	288.5	4788.39
PGR2730	0.9	G1	600	700	200	305.3	5858.65
PGR2731	0	-	-			299.5	5855.92
PGR2732	0.3	G1	600	700	200	366.4	8227.05
PGR2733	0.9	P2	700	700	400	401.7	10419.73
PGR2734	0.9	P2	700	700	400	370.4	8639.65
PGR2735	0.9	S10	700	600	400	308.3	6633.55
PGR2736	0.9	S10	700	600	400	306.7	6321.19
PGR2737	0.6	S10	700	600	400	364.2	9130.44
PGR2738	0.3	J5	900	600	800	332.2	7344.53
PGR2739	0.9	P2	700	700	400	396.2	10142.9
PGR2740	0.6	P3	750	700	500	363.5	8167.93
PGR2741	0.9	D	900	700	800	580.1	19817.06
PGR2742	0.9	P2	700	700	400	536.3	19906.36
PGR2743	0.9	P2	700	700	400	413.1	10172.29
PGR2744	0.9	P1	650	700	300	358.8	7029.88
PGR2745	0.9	P2	700	700	400	326	6318.34
PGR2746	0.9	S10	700	600	400	422	9764.45
PGR2747	0	-	-			343.1	7198.64
PGR2748	0.9	P1	650	700	300	314.9	5605.03
PGR2749	0.6	D	900	700	800	339.1	6957.71
PGR2750	0.9	S10	700	600	400	363	9362.28

