

NORMAS: UM PROGRAMA PARA O CÁLCULO DE NORMAS E DE PARÂMETROS PETROQUÍMICOS

*S.R.F.Vlach*¹

RESUMO

Apresenta-se NORMAS, um programa escrito em linguagem Turbo-Basic para a computação de diversas normas e de grande número de parâmetros e índices petroquímicos. É um programa concebido a partir de uma revisão e atualização de similares já publicados e integra um conjunto de programas conectados a bancos de dados para tratamento de dados geoquímicos de rochas, em desenvolvimento no IG-USP.

A versão atual do programa NORMAS permite o cálculo das normas CIPW, Catanorma, Norma Alcalina (em proporções em peso ou catiônicas), bem como de uma Mesornoma e de uma Epinorma. Os parâmetros e índices obtidos, derivados de quantidades expressas em porcentagem em peso de óxidos, proporções catiônicas, moleculares e de valores normativos, estão entre os mais freqüentemente utilizados pelos petrólogos. Uma rotina adicional simples possibilita a representação dos dados de entrada (quantidades em peso de óxidos e elementos) e destes parâmetros e índices em diagrama binários.

ABSTRACT

A program for the calculation of several norms and of a large number of geochemical parameters and indexes is herein presented. NORMAS, a revised and updated version of

¹Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências/USP, São Paulo.

already published programs, was written in Turbo-Basic and belongs to a package of computer programs which is being developed at the IG-USP. These programs can be linked to data banks and aim the treatment of geochemical data of rocks.

NORMAS allows the calculation of not only the CIPW, the Catanorm and Alkalic Norm (either in weight percent or cationic form), but of a Mesonorm and an Epinorm as well. The calculated parameters and indexes are currently the most widely used by petrologists and are derived from input values expressed in weight per cent of oxides, cationic and molecular proportions, and normative values. An additional and simple routine can display the input data (weight quantities of oxides and elements) and the calculated parameters and indexes as binary diagrams.

INTRODUÇÃO

Norma é uma forma alternativa de expressão de dados químicos de rochas, em que estes são representados sob a forma de minerais hipotéticos padronizados (**minerais normativos**), calculados de acordo com uma seqüência pré-estabelecida. O cálculo normativo foi introduzido por Cross, Iddings, Pirson e Washington (CROSS et al., 1902), que elaboraram a conhecida norma CIPW, em que os minerais normativos (anidros) são calculados como frações em peso. O objetivo principal dos autores era a proposição de uma classificação químico-mineralógica sistemática para as rochas ígneas.

Abandonada esta classificação normativa, as normas são hoje muito utilizadas para fins comparativos (e.g., comparação entre rochas "similares" de diferentes províncias, entre rochas representativas de diferentes estágios evolutivos de uma "suíte", entre rochas de composições similares formadas em diferentes ambientes de cristalização), para ressaltar características químicas específicas (e.g., grau de saturação em sílica e alumina) e para projeções dos componentes normativos em diagramas diversos (e.g., diagramas de fase). Por razões históricas e de aplicação mais imediata em diagramas de fase, a norma CIPW, com algumas alterações (cf. JOHANNSEN, 1931 e BARTH, 1955), ainda é a mais utilizada, conquanto diversos autores tenham proposto mudanças substanciais e oportunas ao cálculo original para situações específicas. Nesse sentido, destacam-se a introdução do cálculo em bases catiônicas, em que os componentes são expressos em frações de cátions (CATANORMA, NIGGLI, 1936) e a extensão do cálculo catiônico para rochas metamórficas (e algumas ígneas) de "mesozona" (MESONORMA) e de "epizona" (EPINORMA), com a inclusão de minerais normativos hidratados (BARTH, 1959). Também merecem destaque a elaboração de norma

específica para as rochas ígneas feldspatóidas e meliliticas (NORMA ALCALINA), para as quais os componentes habituais são inadequados (Le BAS, 1973), e a introdução de conceito de norma "modal", em que os componentes são expressos como frações em volume, permitindo comparações imediatas com dados modais de rochas (UDANSKY, 1985).

Atualmente, grande é o número de programas encontrados na literatura internacional para o cálculo das diferentes normas propostas; contudo, é quase sempre inevitável a presença de maior ou menor número de incompatibilidades, em especial quando se pretende trabalhar conjuntamente com arquivos específicos (e.g., bancos de dados) e com programas gráficos, o que implica a necessidade de adaptações variadas.

Como parte do objetivo de criar-se no IG-USP um conjunto compatível de programas ligados a bancos de dados, para tratamento geoquímico e isotópico de rochas, apresenta-se **NORMAS**, um programa revisado e atualizado para o cálculo da normas **CIPW**, Alcalina (catiônica ou em peso), **Catanorma** e de uma **Mesonorma** e uma **Epinorma**, além de grande número de índices e parâmetros petroquímicos úteis para os petrólogos. Adicionalmente, dados de entrada e resultados podem ser manuseados graficamente, através de diagramas de variação binários (tipo Harker) e regressão linear simples.

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

Generalidades

NORMAS é escrito em **BASIC** estruturado (Turbo-Basic) para microcomputadores de 16 bits, compatíveis com a linha IBM-PC. A estrutura do programa (Fig. 1) é muito simples e as chamadas de "menus" e funções são efetuadas essencialmente através de teclas de função, devidamente esclarecidas. Constitue-se de módulos e rotinas específicos, virtualmente independentes, de modo a facilitar quaisquer rearranjos desejados pelos usuários, ao custo, contudo, de uma certa repetitividade, em especial no caso dos cálculos das normas (cf. Figs. 2 e 3). As rotinas desenvolvidas para o desempenho de diversas funções (e.g., entrada de dados, acesso a diferentes tipos de arquivos, janelas, etc.), aplicáveis a outros programas, fazem de **NORMAS** também um exemplo para fins didáticos.

Algumas das principais características do programa são ressaltadas a seguir:

- "child processes";

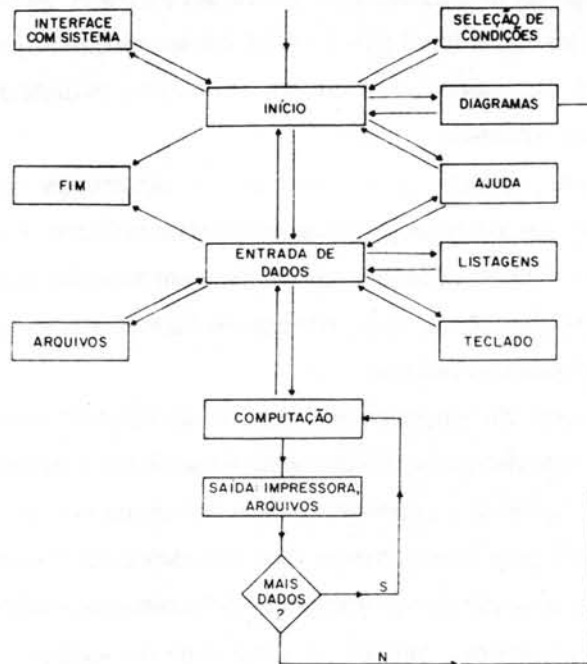


Figura 1 - Diagrama de fluxo para o programa NORMAS (ver também texto).

- rotinas para leitura e armazenamento de dados em "modo binário". Arquivos criados com "softwares" comerciais, como Lotus 123 e Dbase, podem ser facilmente consultados com pequenos ajustes nessas rotinas;
- opções de saída para disco, impressora, ou ambos, em formatos distintos;
- janelas de ajuda sensitiva;
- admissão de até 100 conjuntos simultâneos de dados;
- duas opções para escolha de normas (CIPW, Catanorma, Norma Alcalina - catiônica ou em peso - V_s Cata-, Meso- e Epinorma);
- escolha prévia das razões Fe_2O_3/FeO e SO_3/S^- ;
- diagramas de variação binários, com opções de simbologia, escalas e seqüenciação; regressão linear simples.

Os dados de entrada (Tabela I) são fornecidos via teclado ou arquivos, na forma de porcentagem em peso de óxidos (elementos maiores e menores) ou em ppm (elementos traços) como é de praxe na apresentação de dados químicos de rochas. Para cada amostra, além de título,

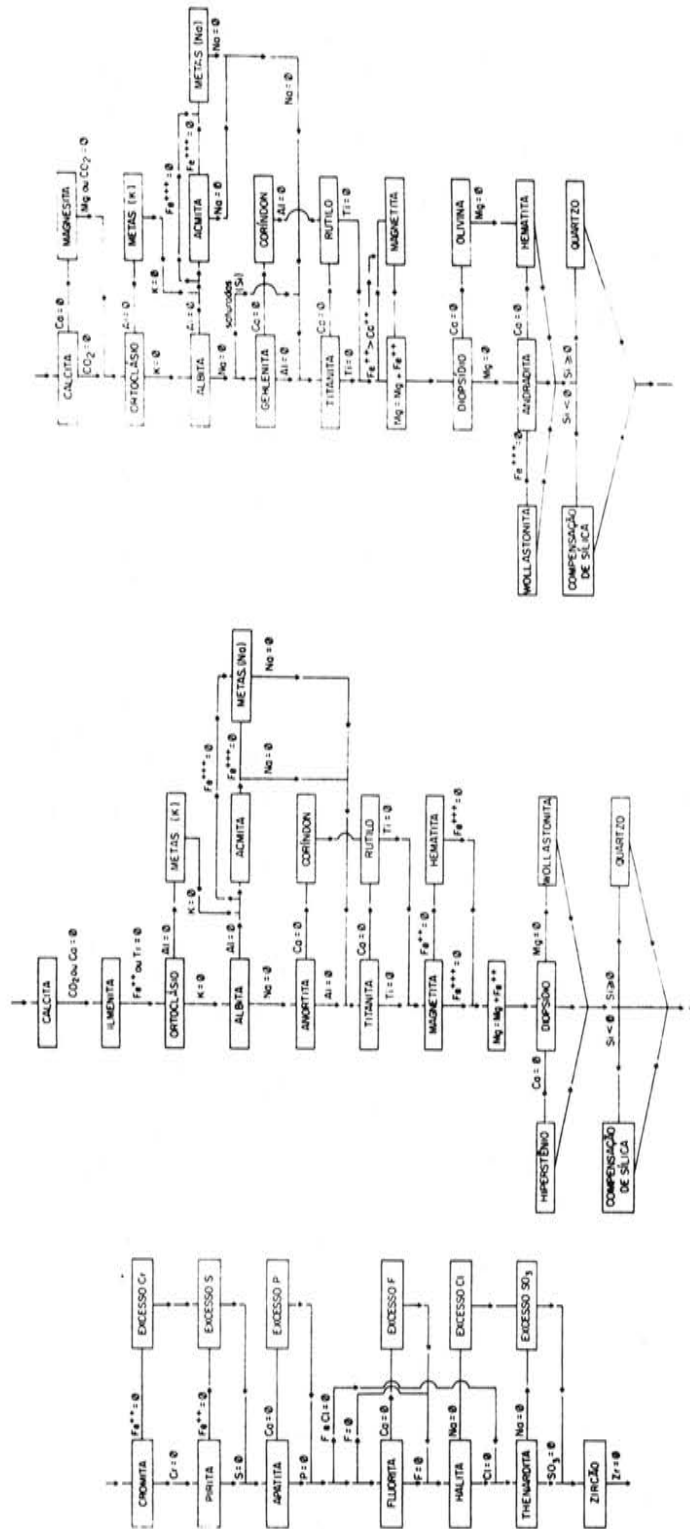


Figura 2 - Diagramas de fluxo para o cálculo dos minerais normativos sem sílica e saturados¹ em sílica: (a) Minerais acessórios; (b) Norma CIPW e Catanorma; (c) Norma Alcalina. (a) e (b) modificados de KUMMERT et al. (1970). (1): exceto olivina em (c).

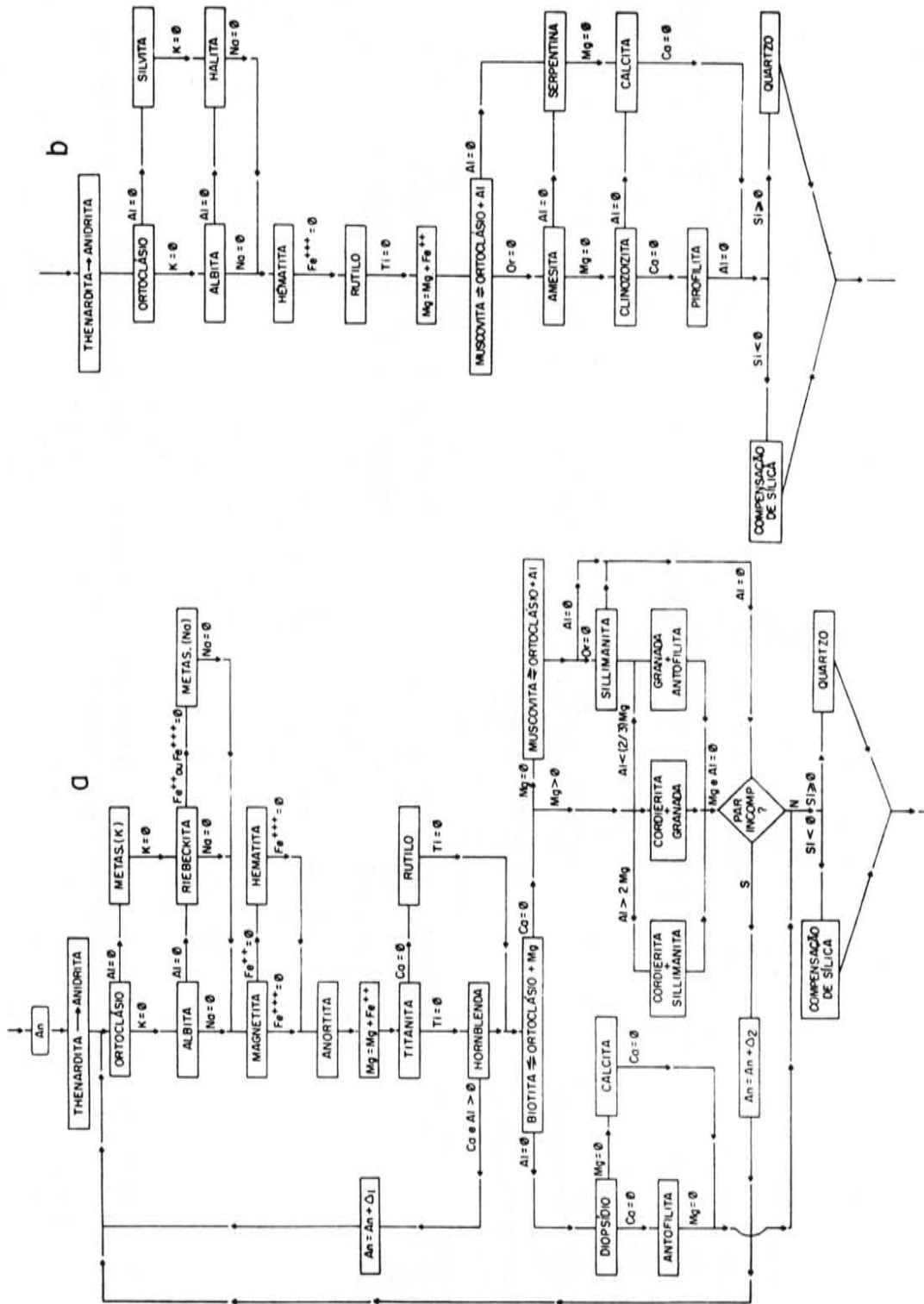


Figura 3 - Diagramas de fluxo para cálculo dos minerais normativos sem sílica e saturados em sílica, modificados de KUMMERT et al. (1970). (a) Mesonorma; (b) Epinorma.

deve também ser fornecido um código numérico (1-9) que se presta à pesquisa em arquivos e também à discriminação de simbologia gráfica (um conjunto de dados pode estar repartido em 9 subconjuntos). Opcionalmente, o teor de anortita do plagioclásio da respectiva rocha, avaliado através de técnicas de microscopia petrográfica em bases moleculares, pode ser incluído. Este último dado é utilizado para os cálculos mesonormativos.

Selecionada a opção de início de computação, são chamados, em ordem, procedimentos para executar as seguintes funções:

- transformação dos dados fornecidos em ppm para porcentagens em peso de óxidos e conversão dos valores iniciais de Fe_2O_3 , FeO, SO_3 e S em obediência às razões selecionadas;
- conversão desses dados para proporções milimoleculares, milicatiónicas e porcentagens de cátions e ânions;
- cálculo dos índices e parâmetros baseados em quantidades de óxidos, milimoles e milicatións (e.g., relações Fe/Mg, alumina/álcalis, índices de Larsen, de alcalinidade, de solidificação, parâmetros de De La ROCHE, 1986);
- cálculo dos parâmetros de Niggli (NIGGLI, 1923);
- cálculo dos parâmetros de DEBON & Le FORT (1988);
- computação dos minerais normativos "acessórios";
- computação dos demais minerais normativos das normas selecionadas;
- cálculo de parâmetros normativos (e.g., feldspato alcalino e plagioclásio normativos, índices de diferenciação e de cristalização, parâmetros ANOR, Q' e F' de De La ROCHE, 1986);
- computação de parâmetros para projeções em diagramas quaternários e ternários (e.g., Qz-Ab-Or-An, Qz-Ab-Or-Di, Ne-Fo-Di-Pl, Ne-Ak-Lc-Di).

Os detalhes de cálculo e referências bibliográficas completas para todos os índices e parâmetros calculados são fornecidos em arquivo específico (NORMAS.DOC) que acompanha o programa.

Os resultados são progressivamente encaminhados para a impressora e/ou arquivos. Com exceção dos componentes normativos, são também armazenados numa matriz para alimento das opções gráficas. O manuseio dos dados em diagramas pode ser feito independentemente dos cálculos normativos (para dados fornecidos via teclado ou arquivos) ou após o término de computação para uma série de amostras (incluindo-se então os parâmetros e índices calculados). Os diagramas binários são incluídos apenas para visualização e manuseio preliminar de

dados, não havendo preocupação maior com a qualidade de impressão dos gráficos obtidos, feita apenas como "hardcopy" do vídeo, implicando a instalação prévia do utilitário **GRAPHYCS** do sistema operacional.

Procedimento para os cálculos normativos

O esquema empregado para o cálculo progressivo dos componentes normativos corresponde, em linhas gerais, ao adotado por diversos autores (e.g., KUMMERT et al., 1970) em que inicialmente são computados todos os silicatos e aluminossilicatos saturados com respeito à sílica. A seguir, o excesso de sílica é convertido em quartzo: alternativamente, se é verificado déficit, este é progressivamente minimizado através de reações de desilicificação, nas quais os componentes previamente formados dão lugar a outros, insaturados. A única exceção corresponde à Norma Alcalina, em que a olivina é formada precocemente, em detrimento ao hiperstênio (cf. Fig. 2c), de modo a permitir a coexistência desse mineral com quartzo, paragênese natural, encontrada em algumas rochas supersaturadas, no caso de olivinas faiálficas.

Todos os cálculos normativos são efetuados em base catiônica, a partir das frações percentuais de cátions; para obter as normas CIPW e Alcalina expressas em peso, os resultados catiônicos são convertidos em frações em peso dos componentes através de rotinas específicas. Os minerais normativos considerados para os cálculos das diferentes normas e respectivas fórmulas são apresentados na Tabela I. Para as normas CIPW, Catanorma e Alcalina, os componentes ferromagnesianos são formados, em primeiro passo, como termos magnésíferos, fazendo-se $Mg^{2+} = Mg^{2+} + Fe^{2+}$; posteriormente são subdivididos nos membros finais ferrosos e magnésíferos em função da razão Mg^{2+}/Fe^{2+} da amostra.

O processo de computação inicia-se com a formação dos minerais normativos acessórios que, à exceção do par anidrita-thenardita (cf. Tabela I), são comuns a todas as normas. O procedimento (Fig. 2a) é o mesmo do empregado por KUMMERT et al. (1970); nesta versão, contudo, acrescenta-se a possibilidade de formação de apatita com quantidades variáveis de Cl, em dependência dos teores de H_2O e F da amostra.

A Catanorma e a norma CIPW são apenas formas distintas (uma catiônica, outra em peso) de expressar os resultados do mesmo cálculo. O esquema aqui adotado corresponde ao das versões clássicas (e.g., JOHANNSEN, 1931; NIGGLI, 1938; BARTH, 1955 e HUTCHINSON, 1974), com alterações mínimas (cf. Fig. 2b), de modo que os resultados obtidos podem ser adequadamente comparados com dados publicados em literatura nacional e internacional.

Tabela 1 - Dados de entrada e minerais normativos computados (1: Norma CIPW e Catanorma; 2: Norma Alcalina; 3: Mesonorma; 4: Epinorma. Parte segundo KUMMERT et al., 1970 e Le BAS, 1973).

A. Óxidos e elementos considerados	
SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, MnO, MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , H ₂ O(+), H ₂ O(-), CO ₂ , SO ₃ , S, Zr, Cr, Ni, Sr, Ba, Cl, F	
B. Minerais normativos computados	
Sálícos	
Albita (Ab)	NaAlSi ₃ O ₈ (1, 2, 3, 4)
Anortita (An)	CaAl ₂ Si ₂ O ₈ (1, 3)
Baddeleyita (Bad)	ZrO ₂ (4)
Carnegieita (Car)	NaAlSiO ₄ (2)
Corindon (Co)	Al ₂ O ₃ (1, 2, 3)
Gehlenita (Geh)	Ca ₂ Al ₂ SiO ₆ (2)
Halita (Hl)	NaCl (1, 2, 3, 4)
Kalsilita (Ka)	KAlSiO ₄ (1, 2)
Fênicos	
Ackermanita (Akm)	Ca ₂ MgSi ₂ O ₇ (2)
Fe-Ackermanita (Fe-Ak)	Ca ₂ FeSi ₂ O ₇ (2)
Acrmita (Ac)	NaFeSi ₂ O ₆ (1, 2)
Amesita (Am)	(Fe, Mg) ₂ Al ₂ SiO ₅ (OH) ₄ (4)
Andaluzita (And)	AlSiO ₅ (4)
Andradita (Andr)	Ca ₃ Fe ₂ Si ₃ O ₁₂ (2)
Anidrita (Anid)	CaSO ₄ (3, 4)
Antorfillita (Ant)	(Mg, Fe) ₇ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂ (3)
Apatita (Ap)	Ca ₂ (PO ₄) ₃ (OH, F, Cl) (1, 2, 3, 4)
Biotita (Blo)	K(Mg, Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) (3)
Calcita (Cc)	CaCO ₃ (1, 2, 3, 4)
Clinzoizita (Cl)	Ca ₂ Al ₃ Si ₃ O ₁₂ (OH) (4)
Cordierita (Cor)	(Mg, Fe) ₄ Al ₄ Si ₅ O ₁₈ (3)
Cromita (Cr)	FeCr ₂ O ₄ (1, 2, 3, 4)
Diosídeo (Di)	CaMgSi ₂ O ₆ (1, 2)
Diosídeo* (Di*)	Ca(Mg, Fe)Si ₂ O ₆ (1, 2)
Dolomita (Dol)	Ca(Mg, Fe)(CO ₃) ₂ (4)
Enstatita (En)	MgSiO ₃ (1)
Espinélio (Esp)	MgAl ₂ O ₄ (1, 2)
Espinélio* (Esp*)	(Mg, Fe)Al ₂ O ₄ (3)
Faialita (Fa)	Fe ₂ SiO ₄ (1, 2)
Ferrosilita (Fe)	FeSiO ₃ (1)
Fluorita (Fl)	CaF ₂ (1, 2, 3, 4)
Leucita (Lc)	KAlSi ₂ O ₆ (1, 2)
Nefelina (Ne)	NaAlSi ₃ O ₈ (1)
Nefelina* (Ne*)	Na ₃ KAl ₄ Si ₄ O ₁₆ (2)
Ortocálsio (Or)	KAlSi ₃ O ₈ (1, 2, 3, 4)
Quartzo (Qz)	SiO ₂ (1, 2, 3, 4)
Silvita (Sl)	KCl (4)
Thenardita (Th)	Na ₂ SO ₄ (1, 2)
Zircão (Zr)	ZrSiO ₄ (1, 2, 3, 4)
Forsterita (Fo)	Mg ₂ SiO ₄ (1, 2)
Granada* (Gr)	(Mg, Fe) ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂ (3)
Hedenbergita (Hd)	CaFeSi ₂ O ₆ (1, 2)
Hematita (Hm)	Fe ₂ O ₃ (1, 2, 3, 4)
Hercínita (Her)	FeAl ₂ O ₄ (1, 2)
Hornblenda (Hb)	ca ₂ (Mg, Fe) ₄ Al ₂ Si ₇ O ₂₂ (OH) ₂ (3)
Ilmenita (Il)	FeTiO ₃ (1)
Larrita (Ln)	Ca ₂ SiO ₄ (1, 2)
Magnesita (Mag)	MgCO ₃ (2)
Magnetita (Mt)	Fe ₃ O ₄ (1, 2, 3)
K-Metassilicato (Mk)	K ₂ SiO ₃ (1, 2, 3)
Na-Metassilicato (Mn)	Na ₂ SiO ₃ (1, 2, 3)
Muscovita (Mu)	KAl ₃ Si ₈ O ₁₀ (OH) ₂ (3, 4)
Olivina* (Ol)	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄ (3)
Perovskita (Pv)	CaTiO ₃ (1, 2, 3)
Pirita (Pi)	FeS ₂ (1, 2, 3, 4)
Pirofilita (Pir)	AlSi ₂ O ₅ (OH) (4)
Riebeckita (Rb)	Na ₂ Fe ₃ Fe ₂ Si ₈ O ₂₂ (OH) (3)
Rutilo (Ru)	TiO ₂ (1, 2, 3, 4)
Serpentina (Sp)	(Fe, Mg) ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ (4)
Sillimanita (Sil)	Al ₂ SiO ₅ (3)
Titanita (Ti)	CaTiSiO ₅ (1, 2, 3)
Wollastonita (Wo)	CaSiO ₃ (1, 2)

Para a computação da Norma Alcalina (Fig. 2c), foram introduzidos diversos minerais normativos adicionais, em relação aos adotados por Le BAS (1973), a maioria deles de ocorrência natural. A seqüência de desilicificação foi parcialmente alterada (cf. Tabelas I e II) e, adicionalmente, esta versão calcula os componentes em modo catiônico.

A Epinorma apresentada (Fig. 3b) em nada difere da proposta por KUMMERT et al. (1970). Já no caso da Mesonorma, foram implementadas mudanças substanciais (Fig. 3a) na seqüência de cálculo, para uma aplicação mais dirigida para as rochas granitóides, em especial para ressaltar características de saturação em alumina. O teor de anortita do plagioclásio normativo (calculado a partir de teor fornecido em base molecular ou a partir dos resultados catanormativos) tem papel fundamental nas "paragêneses" formadas: caso estas se mostrem incompatíveis com equivalentes naturais, o conteúdo de anortita do plagioclássio é aumentado de modo a substituí-las por outras, compatíveis (compare KUMMERT et al., 1970 e Fig. 3a).

As alterações introduzidas permitem, por um lado, a coexistência de ortoclásio com biotita e hornblenda e/ou diopsídio e, por outro, consideram incompatível titanita em presença de muscovita, sillimanita, granada ou cordierita, ambas características comuns em rochas granitóides. Desta forma, as "paragêneses" obtidas em rochas marginalmente peraluminosas incluem biotita, biotita ± titanita ± rutilo (titanita em pequenas quantidades), biotita ± muscovita ± rutilo (muscovita em pequenas quantidades). Rochas francamente peraluminosas apresentarão rutilo e muscovita abundantes, acompanhados ou não por sillimanita, granada e/ou cordierita. Granitóides tipicamente meta-aluminosos resultarão em biotita ± hornblenda ± diopsídio ± titanita. Riebeckita e/ou metassilicato de sódio caracterizam as variedades peralcalinas.

Procedimento de desilicificação

A compensação do déficit em sílica (ver também KUMMERT et al., 1970) é realizada através de balanço em que, como primeiro passo, os componentes saturados são progressivamente convertidos em termos sub- a insaturados, de acordo com as reações de desilicificação apresentadas em ordem de prioridade na Tabela II. Após cada etapa de desilicificação, testa-se o novo "status" de sílica: se ainda persiste déficit, passa-se para a próxima reação; se há excesso, este é transformado em componentes sub- a saturados, diminuindo-se proporcionalmente os equivalentes sub- a insaturados em obediência à estequiometria da reação em questão.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Alguns exemplos comparativos, tomados a partir de dados de literatura, são apresentados na Tabela III. Nesta, são confrontados dados químicos e modais com os dados normativos obtidos com o programa apresentado. Um exemplo de saída, obtido em impressora, é adicionado no Apêndice I.

Tabela 2 - Reações para compensação de déficits em sílica (em parte segundo KUMMERT et al., 1970).

1. Norma CIPW e Catanorma

a. 2 Hiperstênio	⇌	Olivina + SiO ₂
b. Albita	⇌	Nefelina + 2 SiO ₂
c. Ortoclásio	⇌	Leucita + SiO ₂
d. 2 Diopsídio	⇌	2 Wollastonita + Olivina + SiO ₂
e. Titanita	⇌	Perovskita + SiO ₂
f. Olivina + 2 Coríndon	⇌	2 Espinélio + SiO ₂
g. Leucita	⇌	Kalsilita + SiO ₂
h. 2 Wollastonita	⇌	Larnita + SiO ₂

2. Norma Alcalina

a. 3 Albita + Ortoclásio	⇌	Nefelina + 2 SiO ₂
b. Ortoclásio	⇌	Leucita + SiO ₂
c. Albita	⇌	Carnegeita + SiO ₂
d. Titanita	⇌	Perovskita + SiO ₂
e. 4 Diopsídio	⇌	2 Ackermanita + Olivina + 3 SiO ₂
f. Zircão	⇌	Baddeleyita + SiO ₂
g. Olivina + 2 Coríndon	⇌	Kalsilita + SiO ₂
h. Leucita	⇌	Kalsilita + SiO ₂
i. 2 Wollastonita	⇌	Larnita + SiO ₂

3. Mesonorma

a. 2 Antofilita	⇌	7 Olivina + 9 SiO ₂ + 2 OH ⁻
b. 2 Diopsídio + 2 CO ₂	⇌	Olivina* + 2 Calcita + SiO ₂
c. Titanita	⇌	Perovskita + SiO ₂
d. Cordierita	⇌	2 Espinélio + 5 SiO ₂
e. Sillimanita	⇌	Coríndon + SiO ₂

4. Epinorma

a. Serpentina + 3 Calcita + 3 CO ₂	⇌	3 Dolomita + 2 SiO ₂ + 4 OH ⁻
b. 2 Pirofilita	⇌	Andaluzita + 3 SiO ₂ + OH ⁻

Tabela 3 - Análises químicas, dados modais e resultados normativos para algumas rochas ígneas
2: UDANSKY, 1985; 3: JANASI, inéditos; 4: OLIVEIRA, inéditos).

A. Olivina Melilito (1)

Óxidos (% peso)		Moda (% volume)		Norma CIPW (% peso)		Norma Alcalina (% peso)	
SiO ₂	36,03	Nefelina	2	An	0,62	Geh	0,61
TiO ₂	4,01	Melilita	45	Ne	14,29	Ne*	19,60
Al ₂ O ₃	8,03	Piroxênio	16	Lc	11,65	Lc	4,30
Fe ₂ O ₃	7,45	Olivina	15	Wo	21,25	Di	8,42
FeO	6,32	Perovskita	6	Fo	19,20	Hd	3,30
MnO	0,26	Opacos	13	Jn	12,37	Fo	10,63
CaO	19,34	Vidro	3	Il	7,66	Fa	5,20
Na ₂ O	3,10			Mt	9,66	Fe-Akm	8,52
K ₂ O	2,50			Hm	0,84	Hm	7,50
P ₂ O ₅	0,76			Ap	1,81		
CO ₂	—			Pv	6,86		
H ₂ O ⁺	0,58			Ap	1,81		
H ₂ O ⁻	1,53						
SOMA	99,32		100		99,32		99,32

B. Melanita Ijolito (1)

Óxidos (% peso)		Moda (% volume)		Norma CIPW (% peso)		Norma Alcalina (% peso)	
SiO ₂	39,06	Nefelina	49	An	0,11	Or	0,56
TiO ₂	2,76	Cancrinita	2	Ne	29,61	Geh	0,11
Al ₂ O ₃	14,16	Aegirina-augita	19	Lc	15,91	Ne*	40,60
Fe ₂ O ₃	11,12	Melanita	29	Di	0,21	Lc	0,30
FeO	2,37	Titanita	tr	Wo	31,50	Di	14,01
MnO	0,20	Apatita	1	Fo	4,49	Hd	9,02
MgO	2,57	Biotita	tr	Il	5,32	Andr	23,01
CaO	15,93	Calcita	tr	Mt	0,30	Ti	6,87
Na ₂ O	6,36			Hm	11,09	Hm	4,06
K ₂ O	3,38			Cc	0,74	Cc	0,74
P ₂ O ₅	0,35			Ap	0,83	Ap	0,83
CO ₂	0,32						
H ₂ O ⁺	1,53						
H ₂ O ⁻	0,10						
SOMA	100,11		100		100,11		100,11

C. Nefelina Sientino (1)

Óxidos (% peso)		Moda (% volume)		Norma CIPW (% peso)		Norma Alcalina (% peso)	
SiO ₂	49,80	Feldspato alcalino	39	Or	35,03	Or	18,58
TiO ₂	0,59	Nefelina	34	Ab	5,66	Ab	21,08
Al ₂ O ₃	19,10	Aegirina-augita	17	Ne	33,54	Ne*	34,54
Fe ₂ O ₃	3,37	Melanita	tr	Di	6,34	Ac	9,32
FeO	1,48	Titanita	tr	Hd	3,72	Di	4,37
MnO	0,21	Biotita	1	Fo	0,03	Hd	4,09
MgO	1,16	Calcita	3	Fa	0,01	Fo	0,65
CaO	4,74	Zeólitas	6	Ac	9,52	Fa	0,77
Na ₂ O	9,02			Il	1,159	Ti	1,48
K ₂ O	5,79			Mt	0,33	Hrn	0,23
P ₂ O ₅	0,29			Cc	3,53	Cc	3,53
CO ₂	1,52			Ap	0,69	Ap	0,69
ZrO ₂	0,09			Zr	0,14	Zr	0,14
H ₂ O ⁻	2,32						
SOMA	99,48		100		99,48		99,48

D. Biotita-Muscovita Monzogranito (2)

Óxidos (% peso)		Moda (% volume)		Norma CIPW (% peso)		Mesonorma (% cátions)	
SiO ₂	73,11	Quartzo	33	Qz	32,15	Qz	31,43
TiO ₂	0,04	Plagioclásio	24,66	Or	21,66	Or	14,77
Al ₂ O ₃	14,38	Feldspato alcalino	23	Ab	34,36	Ab	36,61
Fe ₂ O ₃	—	Biotita	12	An	6,43	An	6,46
FeO (t)	1,17	Muscovita	10	Co	1,60	Mu	6,12
MnO	—			En	1,14	Bi	4,15
MgO	0,45			Fe	2,11	Ru	0,03
CaO	1,54			Il	0,08	Ap	0,43
Na ₂ O	4,00			Ap	0,47		
K ₂ O	3,61						
P ₂ O ₅	0,20						
H ₂ O ⁺	1,50						
SOMA	100,00		102		100,00		100,00

E. Biotita Tonalito (2)

Óxidos (% peso)		Moda (% volume)		Norma CIPW (% peso)		Mesonorma (% cátions)	
SiO ₂	65,84	Quartzo	27,6	Qz	20,82	Qz	23,20
TiO ₂	0,53	Plagioclásio	54,1	Or	12,98	Or	5,32
Al ₂ O ₃	16,02	Feldspato alcalino	—	Ab	39,57	Ab	42,79
Fe ₂ O ₃	—	Biotita	12,8	An	15,63	An	15,94
FeO (t)	2,42	Muscovita	4,3	Co	0,49	Mu	1,89
MnO	0,05	Ilmenita	0,4	En	3,44	Bi	10,47
MgO	1,36			Fe	3,72	Ru	0,38
CaO	3,10			Il	1,02		
Na ₂ O	4,60						
K ₂ O	2,16						
H ₂ O ⁺	1,59						
SOMA	97,67		99,20		97,67		100,00

F. Álcali-feldspato granito com riebeckita (4)

Óxidos (% peso)		Moda (% volume)		Norma CIPW (% peso)		Mesonorma (% cátions)	
SiO ₂	76,2	Quartzo	39,71	Qz	33,65	Qz	31,41
TiO ₂	0,15	Feldspato alcalino	56,6	Or	31,78	Or	31,88
Al ₂ O ₃	11,20	Riebeckita	1,0	Ab	27,86	Ab	29,78
Fe ₂ O ₃	0,70	Opacos	1,0	Di	0,01	Bi	0,20
FeO	0,99	Fluorita	tr	Hd	1,23	Rb	3,69
MnO	0,04	Zircão	tr	En	0,01	Mu	2,66
MgO	<,01	Carbonatos	tr	Fe	1,00	Ru	0,11
CaO	0,28			Ac	2,03	Cc	0,55
Na ₂ O	4,53			Mt	1,93		
K ₂ O	5,36						
P ₂ O ₅	—						
H ₂ O ⁺	0,33						
SOMA	99,79		98,3		99,79		100,28 (0,28 excesso de C)

G. Hornblenda-biotita monzodiorito (3)

Óxidos (% peso)		Moda (% volume)		Norma CIPW (% peso)		Mesonorma (% cátions)	
SiO ₂	52,5	Quartzo	0,2	Or	26,63	Qz	2,96
TiO ₂	1,3	Plagioclásio	43,2	Ab	30,95	Or	13,21
Al ₂ O ₃	17,9	Feldspato alcalino	25,1	An	17,87	Ab	36,26
Fe ₂ O ₃	2,5	Biotita	18,0	Ne	1,60	An	17,52
FeO	5,49	Anfibólio	8,8	Di	2,84	Bi	21,81
MnO	0,14	Piroxênio	0,6	Hd	1,72	Hb	0,76
MgO	3,5	Opacos	2,1	Fo	5,21	Ti	2,74
CaO	5,6	Titanita	1,1	Fa	4,00	Mt	2,63
Na ₂ O	4,0	Apatita	0,3	Il	2,47	Cc	0,28
K ₂ O	4,5	Outros	1,1	Mt	3,62	Ap	1,96
P ₂ O ₅	0,93			Ap	2,25		
SrO	0,15						
BaO	0,52						
H ₂ O ⁺	0,21						
SOMA	99,21		100		99,21		100,14

(0,14 excesso de C)

AGRADECIMENTOS

São devidos aos Drs. G.Amaral e H.Ulbrich pelas sugestões oferecidas. Este último também revisou criticamente o manuscrito. Este trabalho foi em parte realizado com auxílio FINEP/USP, nº 4.2.86.0491.00, coordenado por H. Ulbrich.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTH, T.F.W. (1955) Presentation of rock analyses. *Journal of Geology*, **63**(4):348-363.

BARTH, T.F.W. (1959) Principles of classification and norm calculations of metamorphic rocks. *Journal of Geology*, **67**(2):135-152.

CROSS, W.; IDDINGS, J.P.; PIRSON, L.V.; WASHINGTON, H.S. (1902) A quantitative

chemicominalogical classification and nomenclature of igneous rocks. **Journal of Geology**, 10(6):555-690.

DE LA ROCHE, H. (1986) Classification et nomenclatures des roches ignées: un essai de restauration de la convergence entre systématique quantitative, typologie d'usage et modélisation génétique. **Bulletin de la Société Géologique de France**, 8(2):337-353.

DEBON, F. & LE FORT, P. (1988) A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. **Bulletin de Minéralogie**, 111(5):493-510.

HUTCHINSON, C.S. (1974) **Laboratory handbook of petrographic techniques**. New York, John Wiley. 527p.

JOHANNSEN, A. (1931) **A descriptive petrography of the igneous rocks**. Chicago, University Chicago Press. v.1.

KUMMERT, P.; LAVREAU, J.; MICHOT, J. (1970) Présentations d'un programme de calcul automatique de normes et de paramètres a partir d'analyses chimiques. **Annales de la Société Géologique de Belgique**, 93(1):81-86.

LE BAS, M.J. (1973) A norm for feldspathoidal and melilitic igneous rocks. **Journal of Geology**, 81(1):89-96.

NIGGLI, P. (1923) **Gesteins und Mineralprovinzen**. Berlin, Borntraeger.

NIGGLI, P. (1936) Über Molekularnormen zur **Gesteinsberechnung**. **Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen**, 16(2):295-317.

UDANSKY, S.I. (1985) Peranorm: a basic program to calculate a modal norm for peraluminous granitoids. **Computers & Geosciences**, 12(1):13-20.

