

ANÁLISE QUÍMICA DO TEOR DO FERRO NO SOLO AGRÍCOLA

CHEMICAL ANALYSIS OF IRON CONTENT IN AGRICULTURAL SOIL

ANÁLISIS QUÍMICO DEL CONTENIDO DE HIERRO EN SUELOS AGRÍCOLAS

**Gimo Chivite da Graça¹, Gildo Eusébio Valentim Salvador², Gervásio Castro Morais Magaia³,
Jaime Diocleciano Lucas Diogo⁴, Isac Toaya Mussama⁵, Luís Manuel Vicente⁶**

DOI: 10.54899/dcs.v22i85.4073

Recibido: 19/11/2025 | Aceptado: 08/12/2025 | Publicación en línea: 19/12/2025.

RESUMO

A pesquisa quantitativa, intitulada análise química do teor do ferro no solo agrícola, objetivou analisar o teor de ferro nos solos agrícolas. Foi usado o método gravimétrico que envolveu a coleta da amostra de solo tendo submetido ao tratamento de peneiramento que seguiu com a pesagem de 0.5 g da amostra, solubilização a quente com solução de ácido clorídrico a 32%, filtração, precipitação a quente com a solução de hidróxido de amônio a 25%, lavagem com solução de nitrato de amônio a 20%, filtração, calcinação com uma temperatura de 180 °C durante 6 horas de tempo e pesagem com uma balança analítica. Onde foram obtidos os resultados de 18.904% para as amostras do ponto A, 19.384% amostras do ponto B e 20.28% para as amostras do ponto C. Os resultados obtidos para análise de 3 amostras de solo, duas amostras A e B estão em concordância com os teores recomendados, as concentrações totais de Fe no solo devem variar entre <1% a >20%; e o resultado da amostra do ponto C está acima da concentração ideal do ferro no solo.

Palavras-chave: Solo. Gravimetria. Analito. Ferro.

ABSTRACT

The quantitative research, entitled Chemical Analysis of Iron Content in Agricultural Soil, intended to analyze the iron content in agricultural soils. The gravimetric method was used, which involved the collection of the soil sample having been cultivated and the sieving treatment followed by weighing 0.5 g of the sample, hot solubilization with a 32% hydrochloric acid solution, filtration, hot treatment with the 25% ammonium hydroxide solution, washing with 20%

¹ Mestrando em Físico-química, Universidade Federal de Mato Grosso de Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso de Sul, Brasil. E-mail: gimochivitegraca@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-7968-4087>

² Mestrando em Antropologia Social, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: tuariquesebio@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-2258-3876>

³ Mestrando em Recursos Naturais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: gervasiomagaia19@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-4406-5815>

⁴ Mestrando em Biologia Funcional e Biotecnologia de Plantas, Universidade de Porto (UP), Cidade do Porto, Porto, Portugal. E-mail: jaimeioclecianodiogo@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-1476-734X>

⁵ Mestrando em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas, Tocantins, Brasil. E-mail: isacmussama7@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-3165-0508>

⁶ Mestrando em Química-Analítica, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: luismmanuelmangame@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-5759-6913>

ammonium nitrate solution, filtration, calcination at a temperature of 180 °C for 6 hours and weighing with an analytical balance. Where the results of 18.904% were obtained for the sample from point A, 19.384% sample from point B and 20.28% for the sample from point C. The results obtained for the analysis of 3 soil samples, two samples A and B are in agreement with the levels recommended, the total concentrations of Fe in the soil should vary between <1% to >20%; and the sample result for point C is above the ideal concentration of iron in the soil.

Keywords: Soil. Gravimetry. Analyte. Iron.

RESUMEN

La investigación cuantitativa, titulada "Análisis Químico del Contenido de Hierro en Suelos Agrícolas", tuvo como objetivo analizar el contenido de hierro en suelos agrícolas. Se empleó el método gravimétrico, que consistió en recolectar una muestra de suelo, someterla a un tamizado, pesar 0,5 g de la muestra, solubilizarla en caliente con una solución de ácido clorhídrico al 32%, filtrarla, precipitarla en caliente con una solución de hidróxido de amonio al 25%, lavarla con una solución de nitrato de amonio al 20%, filtrarla, calcinarla a 180 °C durante 6 horas y pesarla con una balanza analítica. Se obtuvieron resultados del 18,904 % para las muestras del punto A, del 19,384 % para las del punto B y del 20,28 % para las del punto C. Los resultados obtenidos en el análisis de tres muestras de suelo (A y B) concuerdan con los niveles recomendados por (Murad y Fischer, 1988); las concentraciones totales de Fe en el suelo deben variar entre <1 % y >20 %; y el resultado de la muestra del punto C supera la concentración ideal de hierro en el suelo.

Palabras clave: Suelo. Gravimetria. Analito. Hierro.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial para a produção agrícola, influenciando diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Entre esses nutrientes, o ferro (Fe) destaca-se como um micronutriente vital para a síntese de clorofila, respiração celular e diversas reações enzimáticas (Marschner, 2012; Fageria, 2009). Embora seja abundante na crosta terrestre, a sua disponibilidade é altamente dependente de fatores como pH, textura, teor de matéria orgânica e condições de oxirredução, que podem transformar o ferro em formas pouco solúveis ou, em condições extremas, excessivamente solúveis e tóxicas (Lindsay, 1979; Havlin et al., 2014).

Em Moçambique, a agricultura constitui a principal fonte de sustento para as comunidades rurais, sendo determinante para a segurança alimentar e o desenvolvimento socioeconómico (MINAG, 2021). Na região de Ncoripo, no distrito de Montepuez, predomina a agricultura de

subsistência, caracterizada por baixo uso de insumos e manejo tradicional. Nesse contexto, compreender a fertilidade do solo, e em particular a disponibilidade de micronutrientes como o ferro, é essencial para melhorar a produtividade agrícola e promover práticas sustentáveis (FAO, 2015).

Os solos tropicais altamente intemperizados, comuns em grande parte do território moçambicano, tendem a apresentar formas de ferro predominantemente oxidado e insolúvel, podendo ocasionar deficiências nutricionais nas culturas (Sparks, 2019; Brady & Weil, 2016). Por outro lado, áreas com drenagem deficiente podem apresentar ferro reduzido em concentrações elevadas, o que pode causar toxicidade, especialmente em culturas sensíveis (Mengel & Kirkby, 2001). Assim, a avaliação do teor de ferro nos solos agrícolas de Ncoripo é necessária para orientar estratégias de adubação, seleção de culturas e práticas de manejo mais adequadas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Importância do Ferro para as Plantas

O ferro desempenha funções fisiológicas fundamentais, como a participação na síntese de clorofila, na transferência de elétrons na fotossíntese e na respiração celular (Marschner, 2012). Ele também atua como cofator em várias enzimas essenciais ao metabolismo vegetal (Mengel & Kirkby, 2001). Apesar de ser um micronutriente, sua deficiência é comum em ambientes agrícolas, especialmente em solos alcalinos ou altamente intemperizados.

Fatores que Influenciam a Disponibilidade de Ferro no Solo

A solubilidade do ferro no solo é fortemente influenciada pelo pH. Em solos alcalinos, predomina a forma Fe^{3+} complexada em hidróxidos insolúveis, reduzindo a disponibilidade para as plantas (Lindsay, 1979). Em solos ácidos ou hidromórficos, processos de redução podem aumentar a concentração de Fe^{2+} , tornando-o mais disponível, mas também potencialmente tóxico (Havlin et al., 2014).

A matéria orgânica também desempenha papel importante por formar complexos que podem aumentar a mobilidade do ferro no solo. Já a textura e o grau de intemperismo determinam o tipo e quantidade de óxidos de ferro presentes (Sparks, 2019; Brady & Weil, 2016).

Solos Tropicais e Ferro

Solos de regiões tropicais, como os de Moçambique, são geralmente dominados por óxidos de ferro e alumínio, resultantes de um forte intemperismo químico. Estes óxidos, como a hematita e a goethita, tendem a fixar micronutrientes, reduzindo sua disponibilidade (Souza et al., 2016). Solos desse tipo também apresentam baixa capacidade tampão e são fortemente influenciados por práticas de manejo inadequadas.

Agricultura em Moçambique e a Necessidade de Estudos de Fertilidade

A agricultura moçambicana depende fortemente de práticas tradicionais e do uso limitado de fertilizantes, o que torna o conhecimento sobre propriedades químicas do solo ainda mais importante (MINAG, 2021). Estudos sobre micronutrientes, incluindo ferro, são escassos em nível local, especialmente em regiões como Montepuez, onde condições edafoclimáticas podem gerar variações significativas na disponibilidade de nutrientes.

Importância de Análises Locais do Teor de Ferro

A avaliação do teor de ferro no solo permite identificar deficiências, toxicidades e padrões espaciais de distribuição, auxiliando na definição de práticas de manejo específicas para cada área (Fageria, 2009). Essa abordagem orienta intervenções mais eficientes, contribuindo para aumentar a produtividade e a sustentabilidade da agricultura local

METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados procedimentos metodológicos que viabilizaram as atividades de pesquisa que se pretendeu desenvolver.

Coleta da Amostra

As amostras de solo foram coletadas no bairro de Ncoripo pelas 16 horas do dia 11 de agosto de 2022, bairro este localizado na cidade de Montepuez. A coleta foi feita por meio da

técnica de quarteamento, método ziguezague com ajuda de uma enxada, com a finalidade de cavar. Foram selecionados 3 pontos de amostragem, primeiro ponto onde a população cultiva algodão representado pela letra A, segundo ponto onde a população cultiva amendoim e milho representado pela letra B e o terceiro ponto onde a população cultiva amendoim, feijão-jugo, milho e ervilha representado pela letra C.

As covas foram feitas numa profundidade de 0-20 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos. Cada saco plástico, foi contido uma certa quantidade de solo e rotulado em letras A, B e C encaminhadas a temperatura ambiente até laboratório de Química da Unirovuma onde foram trituradas num cadinho de 1 kg e selecionadas com crivos de um coador, após os procedimentos foram devolvidas nos respectivos sacos plásticos e acondicionadas a temperatura ambiente.

Figura 1

Materiais e reagentes

Materiais	Solventes e Reagentes
Uma enxada, dois sacos plásticos, um marcador, uma espátula, papeis filtros, 6 Erlenmeyer, três Bequeres, bureta graduada, pinça de madeira, balança analítica, fogão eléctrico, 3 funis de filtração, papel de alumínio, termómetro, duas seringas.	Água destilada, água oxigenada a 30–35%, ácido clorídrico concentrado 32%, solução de nitrato de amónia 10%, amónio aquoso a 25% e nitrato de amónia em pó.

Procedimento Experimental da Amostra

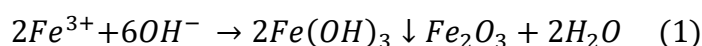
Pesou-se três vezes 0,5000 gramas de solo numa balança analítica de marca KERN_{ADB} e as amostras foram transferidas para três Béqueres de 250 mL rotulados com números que variam de 1-3. As amostras foram adicionadas 50 mL de água destilada e agitadas, em seguida foram adicionadas 2 mL de ácido clorídrico concentrado a 32% para solubilizar a mistura. As amostras foram aquecidas num fogão eléctrico de marca P Selecta até a ebulição, foram retiradas do fogão e agitadas de novo. Foram filtradas para 3 Erlenmeyer de 250 mL diferentes rotulados com números que variam de 1-3 e em seguida foram adicionadas 100 mL de água destilada, para cada amostra, 2 mL de ácido clorídrico concentrado a 32% e 2 mL de água oxigenada. Foram aquecidas até 70°C e adicionadas 3 mL de solução nitrato de amónio, elevou-se a temperatura até 95°C e as amostras foram adicionadas hidróxido de amónia 25% sob agitação até ligeiro excesso para a precipitação dos íons de ferro. As amostras foram arrefecidas a temperatura ambientes, em seguida foram lavados os precipitados com a solução de nitrato de amónio e filtrados com papel

de filtro de faixa preta. Pesou-se três vezes papel de alumínio e rotulou-se com números correspondentes aos Erlenmeyer (1-3), em seguida os precipitados foram transferidos para o papel de alumínio juntamente com os papéis de filtros e aquecidos no fogão eléctrico a temperatura de 180 °C durante 6 horas de tempo. Foram retirados os precipitados após o arrefecimento, foram pesados na mesma balança e obteve-se os dados que são trabalhados na interpretação. Todas amostras passaram pelos mesmos processamentos da colheita até a pesagem do analito.

APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados todos resultados obtidos nesta pesquisa e em seguida, os mesmos resultados, serão analisados e discutidos com base nas fontes bibliográficas que referenciam assuntos relacionados a este tema.

Reação química de precipitação de óxidos de ferro com solução de hidróxido de amónia



Onde:

Fe^{3+} = íon férrico

OH^{-} = íon hidroxila

$Fe(OH)_3$ = hidróxido de ferro

Fe_2O_3 = óxido de ferro (III)

Tabela 1

Dados da amostra do Ponto A em gramas (g)

Ord.	M da amostra	M dos papéis de alumínio	M total (alumínio + analito)	M do analito
1	0,5000	0,8614	0,9965	0,1351
2	0,5000	0,8549	0,9756	0,1207
3	0,5000	0,7889	0,9386	0,1497

É notório que as amostras do ponto A apresentaram uma precisão nos seus valores razão pela qual não houve necessidade da determinação do teste Q. Com isso, pressupõe-se que as análises estão em bom andamento.

Tabela 2*Dados da Amostra do Ponto B em Gramas (g)*

Ord.	M da amostra	M dos papéis de alumínio	M total (alumínio + analito)	M do analito
1	0,5000	0,7956	0,9204	0,1248
2	0,5000	0,7569	0,9350	0,1781
3	0,5000	0,6747	0,8314	0,1567

Nesta tabela, nota-se um aumento da massa dos experimentos em relação às massas das amostras do ponto A, mas mesmo com isso, as amostras do ponto B, mostram uma precisão de forma independente, não havendo necessidade da determinação do teste Q.

Tabela 3*Dados da amostra do ponto C em gramas (g)*

Ord.	M da amostra	M dos papéis de alumínio	M total (alumínio + analito)	M do analito
1	0,5000	0,8513	0,9975	0,1462
2	0,5000	0,8581	0,9899	0,1318
3	0,5000	0,7905	0,9497	0,1592

Nesta tabela, assim como a tabela A e B, verifica-se uma precisão dos dados o que põe a pesquisa em um bom caminho.

Tratamento Estequiométrico dos Dados**Tabela 4***Determinação da massa do ferro na amostra do ponto A*

Amostra A	M. da amostra em g	M. de F_2O_3 em g	M. de Fe^{3+} em g
m ₁	0.5	0.1351	0.09445
m ₂	0.5	0.1207	0.08441
m ₃	0.5	0.1497	0.1047

Tabela 5*Determinação da massa do ferro na amostra do ponto B*

Amostra B	M. da amostra em g	M. do de F_2O_3 em g	M. de Fe^{3+} em g
m ₁	0.5	0.1248	0.08729
m ₂	0.5	0.1318	0.09218
m ₃	0.5	0.1592	0.1113

Tabela 6

Determinação da massa do ferro na amostra do ponto C

Amostra C	M. da amostra em g	M. do de F ₂ O ₃ em g	M. de Fe ³⁺ em g
m ₁	0.5	0.1462	0.1023
m ₂	0.5	0.1318	0.09218
m ₃	0.5	0.1567	0.1096

Em relação às tabelas 4, 5 e 6 dos dados da massa de ferro nas amostras colhidas em pontos A, B e C, os dados foram obtidos pelos cálculos estequiométricos, relação, massa – massa de acordo com a equação da reação de precipitação.

Tratamento Estatístico de Dados

Tabela 7

Média, desvio padrão amostral, erro, limite máximo e mínimo

Amostr	X ₁	X ₂	X ₃	Média	Desvio padrão	Erro	L. Inf	L. sup
A	94.45	84.41	104.7	94.52	10.14518	0.292866	94.22713	94.81287
B	87.29	92.18	111.3	96.92	12.68836	0.366281	96.55705	97.28961
C	102.3	92.18	109.6	101.4	8.74796	0.252532	101.1075	101.6125

Os dados apresentados nesta tabela foram obtidos utilizando-se a ferramenta Excel, cuja forneceu as medias das amostras que são trabalhadas para interpretação dos resultados.

Tabela 8 e 9

Anova: fator único

SUMÁRIO

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra A	3	283.56	94.52	102.9247
Amostra B	3	290.77	96.92333	160.9944
Amostra C	3	304.08	101.36	76.5268

ANOVA

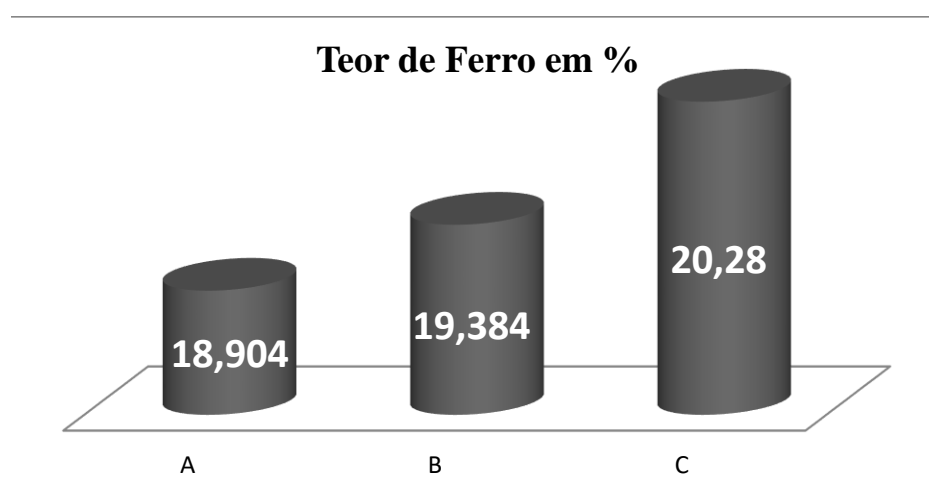
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor P	F crítico
Entre grupos	72.24562	2	36.12281	0.318313	0.738944	5.143253
Dentro de grupos	680.8919	6	113.482			
Total	753.1375	8				

A tabela 8 e 9 é referente a anova fator único, que tem uma forte influência na comparação dos resultados.

Tabela 10*Teor do ferro no solo*

Amostra	M da amostral em g	M do análito em g	Teor em %
A	0.5	0.09452	18.904
B	0.5	0.09692	19.384
C	0.5	0.1014	20.28

A tabela 10, mostra com clareza os teores de ferro em amostras de solo colhidas em 3 pontos diferentes, onde é notório observar no gráfico de teor de ferro as variações das barras devido as diferenças dos teores. É nesta tabela onde foi aplica a equação da determinação de teores de ferro no solo por meio da ferramenta Excel.

Figura 2*Teor do ferro*

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Análise e Discussão dos Resultados para Amostra do Ponto A

Após ter-se feitos os cálculos estequiométricos de teor de ferro nas amostras de solo como ilustra a tabela 10 e figura 2, obteve-se uma percentagem de 18.904% de ferro na amostra do ponto A. De acordo com estudos feitos por (Murad & Fischer, 1988), em suas pesquisas sobre ferro no solo e minerais argilosos as concentrações totais de Fe no solo devem variar entre <1% a >20%. Com estes resultados, pode-se a firmar que a amostra do solo do ponto A, contém quantidades de ferro dentro dos parâmetros exigidos.

Análise e Discussão dos Resultados para Amostra do ponto B

Para a amostra do ponto B, obteve-se uma percentagem de 19.384% de ferro. De acordo com estudos feitos por (Murad & Fischer, 1988), em suas pesquisas sobre ferro no solo e minerais argilosos as concentrações totais de Fe no solo devem variar entre <1% a >20%. Com estes resultados, pode-se afirmar que a amostra do solo do ponto B, contém quantidades de ferro dentro dos parâmetros exigidos.

Análise e Discussão dos Resultados para Amostra do Ponto C

Para a amostra do ponto C, obteve-se uma percentagem de 20.28% de ferro. De acordo com estudos feitos por (Murad & Fischer, 1988), em suas pesquisas sobre ferro no solo e minerais argilosos as concentrações totais de Fe no solo devem variar entre <1% a > 20%. Com estes resultados, pode-se afirmar que a amostra do solo do ponto C contém quantidades de ferro acima dos parâmetros exigidos.

CONCLUSÃO

Analisou-se o teor de ferro no solo agrícola de Ncoripo, e com os resultados obtidos concluiu-se que o solo do bairro de Ncoripo contém teor de ferro aceitável para a produção agrícola, mas com um ligeiro excesso no ponto C onde a população cultiva amendoim, feijão jugo, milho e ervilha.

AGRADECIMENTOS

Os autores Agradecem à Universidade Rovuma pelo financiamento de equipamentos e de reagentes.

REFERÊNCIAS

- (BRADY, N. C.; WEIL, R. R.). *The Nature and Properties of Soils*. 15. ed. Pearson, 2016.
- (FAGERIA, N. K.). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press, 2009.

- (HAVLIN, J. L. et al.). *Soil Fertility and Fertilizers*. 8. ed. Pearson, 2014.
- (LINDSAY, W. L.). *Chemical Equilibria in Soils*. Wiley, 1979.
- (MARSCHNER, P.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3. ed. Academic Press, 2012.
- (MENGEL, K.; KIRKBY, E. A.). *Principles of Plant Nutrition*. 5. ed. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- (SKOOG et al.). *Fundamentos de Química Analítica*. 8. ed. Norte Americana, 2006.
- (SPARKS, D. L.). *Environmental Soil Chemistry*. 3. ed. Academic Press, 2019.
- (MURAD, E.; FISCHER, W. R.). *O ciclo geobioquímico do ferro*. In: STUCKI, J. W. et al. (ed.). *Ferro nos solos e minerais argilosos*. Reide, 1988. p. 1-18.
- (SOUZA, E. R. et al.). *Iron oxides in tropical soils*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, p. 1–15, 2016.
- FAO. *Status of the World's Soil Resources*. Food and Agriculture Organization, 2015.
- MINAG — *Ministério da Agricultura e Segurança Alimentar de Moçambique*. Relatório Anual de Produção Agrícola, 2021.
- (SOARES, C. R. S.). *Toxidez de Zinco, Cobre, Cádmio e Chumbo para Eucaliptos em Solução Nutritiva*. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- (NRIAGU, J. A.). *A Silent Epidemic of Environment Metal Poisoning*. Oxford, 1986.
- (TANAKA, A.; YOSHIDA, S.). *Distúrbios nutricionais da planta de arroz na Ásia*. Int. Rice Res. Inst. Technol. Bull., n. 10, 1970.
- (THOMPSON, L. M.; TROEH, F. R.). *Solos e fertilidade do solo*. 3. ed. McGraw-Hill, 1973.
- (WALLIHAN, E. F.). Ferro. In: CHAPMAN, H. D. *Crítérios de Diagnóstico para Plantas e Solos*. Universidade da Califórnia, Div. Agrícola. Sci., Riverside, CA, 1966.
- (ZINDER, B.; FURRER, G.; STUMM, W.). *The coordination chemistry of weathering: II. Dissolution of Fe(III) oxides*. *Geo. Cosmo. Acta*, 1986.