

# CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS DE PASSO FUNDO E ERECHIM, E GEOLÓGICA DA ROCHA DE PASSO FUNDO

*Álison Silveira Sachetti*

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Email: <eng.sachetti@gmail.com>.

*José Waldomiro Jimenez Rojas*

Professor da Universidade Federal do Pampa  
Email: <engrojas@gmail.com>.

*Karla Salvagni Heineck*

Professora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Email: <00016525@ufrgs.br>.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar a caracterização geotécnica dos solos localizados no município de Passo Fundo e Erechim, e geológica da rocha de Passo Fundo, ambas cidades localizadas no norte do Rio Grande do Sul. Desse modo, foram realizados ensaios que envolvem os seguintes parâmetros geotécnicos para o solo: granulometria por sedimentação e peneiramento, limites de Atterberg, densidade real dos grãos, análises químicas e físicas, e por fim o ensaio de compactação, e os seguintes parâmetros geológicos para a rocha: análises petrográficas de lâminas delgadas e fluorescência de raios X. Com o término de toda a caracterização geotécnica e geológica, os materiais foram classificados de acordo com sistemas de classificação encontrados em literatura pertinente. Portanto, a série de ensaios e análises realizadas possibilitou a caracterização dos materiais cujos resultados permitem estabelecer as seguintes conclusões: o solos de Passo Fundo e Erechim, quanto à granulometria, classificam-se como argilosos, e a rocha, a partir dos ensaios de fluorescência de raios X constatou-se que se classifica como ácida do tipo riodacito.

**Palavras-chave:** Caracterização Geotécnica, Caracterização Geológica, Solos Argilosos, Riodacito.

## INTRODUÇÃO

Sabe-se que o solo é um material complexo e variável, porém devido a sua abundância, facilidade de obtenção e manuseio, além do baixo custo, oferece grandes oportunidades de emprego na engenharia, conforme Sousa Pinto (2000).

De acordo com Montardo (1999), é comum que o solo de uma localidade não preencha parcial ou totalmente as exigências de projeto. A realização de obras de engenharia sobre solos com

características geotécnicas debilitadas torna-se, na maioria das vezes, inviável economicamente.

Uma das alternativas que o engenheiro geotécnico dispõe para viabilizar técnica e economicamente a construção de obra é melhorar as propriedades do solo existente, de modo a criar um novo material capaz de atender da melhor forma às exigências de um projeto.

Portanto, a necessidade de atender ao mercado de engenharia, que aspira por soluções que reduzam custos, é necessário o profundo conhecimento do solo e da rocha com os quais irão se trabalhar.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar a caracterização geotécnica dos solos e a caracterização geológica da rocha em estudo.

## MATERIAIS

### SOLO DE PASSO FUNDO.

Um dos solos utilizados nesta pesquisa é proveniente do município de Passo Fundo, coletado junto à Britadeira Farroupilha no Bairro São Luiz Gonzaga, neste local realiza-se a extração de rochas para utilização em construção civil e pavimentação.

### SOLO DE ERECHIM.

O solo proveniente do município de Erechim é localizado no extremo norte do Estado do Rio Grande do Sul, coletado junto à Britadeira Andreetta. Neste local realiza-se a extração de rocha para utilização em construção civil e pavimentação. O solo foi coletado em um talude que está sobre o maciço rochoso de exploração.

### MÉTODOS.

A preparação das amostras para os ensaios de caracterização, que envolve os procedimentos de secagem ao ar, destorroamento, peneiramento e determinação da umidade higroscópica, no caso do solo, seguiu os procedimentos descritos pela NBR 6457 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 1986). Os procedimentos utilizados na determinação das propriedades geotécnicas constituem práticas usuais em laboratórios de mecânica dos solos e encontram-se normalizados.

Para a caracterização da rocha foi extraída uma amostra de dentro da jazida. A amostra de rocha encontrava-se a uma profundidade de aproximadamente 20 metros em relação ao topo do maciço rochoso, ou seja, a parte mais profunda de extração da jazida.

### ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.

A realização de ensaios para caracterização da distribuição granulométrica de um solo constitui um procedimento básico e fundamental em qualquer estudo. A análise granulométrica dos solos desta pesquisa foi realizada por peneiramento e sedimentação, seguindo o procedimento proposto na NBR 7181 (ABNT, 1984). Como agente defloculante foi utilizada a solução de hexametáfosfato de sódio.

### LIMITES DE ATTERBERG.

Os limites de Atterberg, também chamados de limites de consistência, constituem um indicativo da plasticidade da fração fina (silte e argila) dos solos. Em um solo, a plasticidade reflete a maneira como os finos se comportam na presença de água e está relacionada à quantidade de água absorvida e ao tipo e quantidade de finos, principalmente de argilominerais, presentes no solo.

Nesta pesquisa, a determinação dos limites de Atterberg do solo estudado foi feita de acordo com os procedimentos e recomendações das normas brasileiras NBR 6459 (Solo – Determinação do limite de liquidez) e NBR 7180 (Solo – Determinação do limite de plasticidade).

### MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS.

A massa específica real dos grãos foi determinada conforme o procedimento proposto pela NBR 6508 (ABNT, 1984).

### ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO.

Para a obtenção dos parâmetros peso específico máximo seco e umidade ótima do solo natural, foram realizados ensaios de compactação com energia Proctor normal, intermediária e modificada, segundo as normas NBR 7182 (ABNT, 1986) e NBR 12023 (ABNT, 1992).

### FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.

A partir da amostra de rocha coletada foram realizadas análises de composição química

para elementos maiores determinado por espectrometria de fluorescência de raios-X. As análises foram realizadas no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

### ANÁLISE PETROGRÁFICA.

A partir das microfotografias, tiradas da lâmina delgada polida da amostra de rocha, pode-se realizar uma análise visual e assim apontar as principais propriedades petrográficas do material de Passo Fundo.

### RESULTADOS.

A seguir, serão apresentados os resultados referentes à caracterização geotécnica dos solos de Passo Fundo e Erechim e, caracterização geológica da rocha de Passo Fundo.

### ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica obtida para o solo de Passo Fundo com o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio). Os resultados da análise granulométrica evidenciam a predominância da fração argilosa (53%). A areia apresenta 26% da composição total, seguida de 21% de silte.

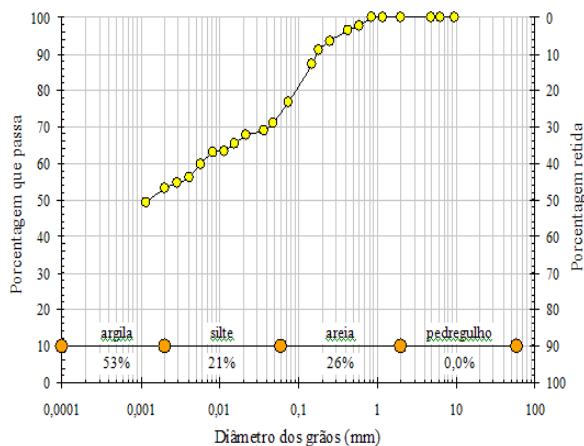


Figura 1: Distribuição granulométrica do solo.

A Figura 2 apresenta a curva granulométrica obtida para o solo Erechim com o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio). Os re-

sultados da análise granulométrica evidenciam a predominância da fração argilosa (62%). O silte apresenta 22% da composição total, seguido de 16% de areia.

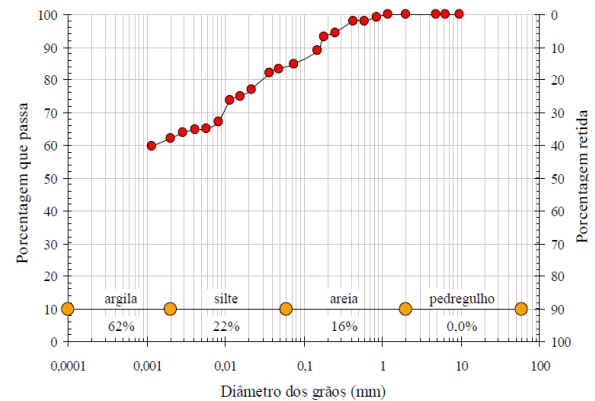


Figura 2: Distribuição granulométrica do solo.

### MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS.

Para a determinação da massa específica real dos grãos foi utilizada 60g de solo (passante na peneira #4). Seguindo os passos descritos pela NBR 6508 a densidade real dos grãos calculada para o solo de Passo Fundo é de 2,81 g/cm<sup>3</sup>. Já para o solo de Erechim o valor obtido foi de 2,78 g/cm<sup>3</sup>.

### LIMITES DE ATTERBERG.

A Tabela 1 apresenta os valores de limites de Atterberg obtidos para a amostra de solo natural de Passo Fundo. Observa-se que o índice de plasticidade apresenta um valor baixo, entorno de 4%, podendo assim considerar o solo como fracamente plástico.

Segundo Pinto (2000), a atividade da fração argila do solo pode ser determinada a partir do índice de atividade coloidal, proposto por Skempton (1954). Este índice coloidal do solo diz respeito à atividade da fração argilosa, ou seja, avalia o potencial da argila de conferir plasticidade e coesão ao solo, este parâmetro pode ser calculado através da relação entre o IP e a porcentagem de solo menor que 2 microns (argila). O solo em estudo apresentou um índice de atividade de 0,36 o qual classifica a argila como inativa.

Tabela 1: Limites de Atterberg e atividade coloidal do solo natural.

Parâmetros	Valores médios
Limite de Liquidez (LL)	40 %
Limite de Plasticidade (LP)	21 %
Índice de Plasticidade (IP)	19 %
Índice de Atividade (IA)	0,36

Já para o solo de Erechim, A Tabela 2 apresenta os valores de limites de Atterberg obtidos para a amostra de solo natural. Observa-se que o índice de plasticidade apresenta um valor baixo, entorno de 4%, podendo assim considerar o solo como fracamente plástico.

Tabela 2: Limites de Atterberg e atividade coloidal do solo natural.

Parâmetros	Valores médios
Limite de Liquidez (LL)	62 %
Limite de Plasticidade (LP)	47 %
Índice de Plasticidade (IP)	15 %
Índice de Atividade (IA)	0,24

### CLASSIFICAÇÃO DO SOLO.

A partir dos limites de Atterberg, foi possível classificar o solo de Passo Fundo, conforme ilustra a Figura 2. De acordo com a carta de plasticidade de Casagrande, classificação unificada, que serve para a classificação de um solo segundo as suas propriedades plásticas, o solo caracteriza-se como (CL), argiloso de baixa compressibilidade.

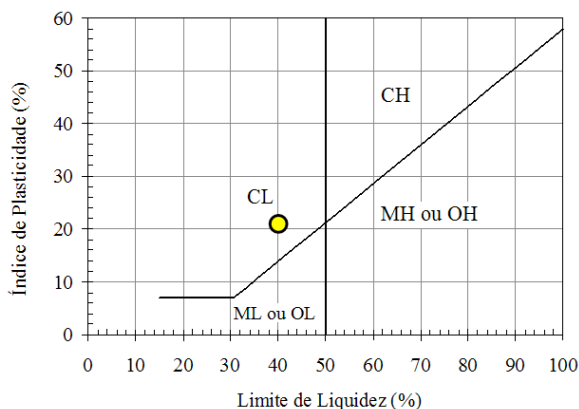


Figura 3: Carta de Plasticidade para classificação unificada.

Conforme classificação trilinear, que leva em consideração somente a granulometria, o solo é classificado como predominantemente argiloso. A Figura 4 apresenta o diagrama trilinear com a marcação do ponto correspondente ao solo de Passo Fundo.

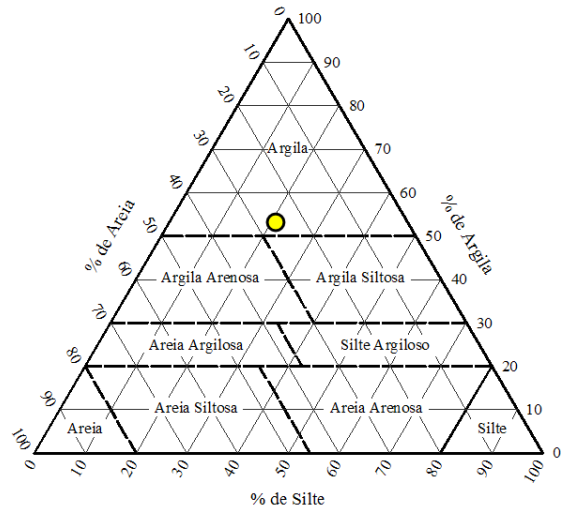


Figura 4: Diagrama trilinear de classificação do solo.

De acordo com a classificação Highway Research Board (HRB), o solo foi enquadrado como sendo A-7-6, solos argilosos, onde mais de 35% passando na peneira 200#.

Já para o solo de Erechim, a partir dos limites de Atterberg, foi possível classificar o solo, conforme ilustra a Figura 5. De acordo com a carta de plasticidade de Casagrande, classificação unificada, que serve para a classificação de um solo segundo as suas propriedades plásticas, o solo caracteriza-se como (MH), fino de alta plasticidade, semipermeável a permeável.

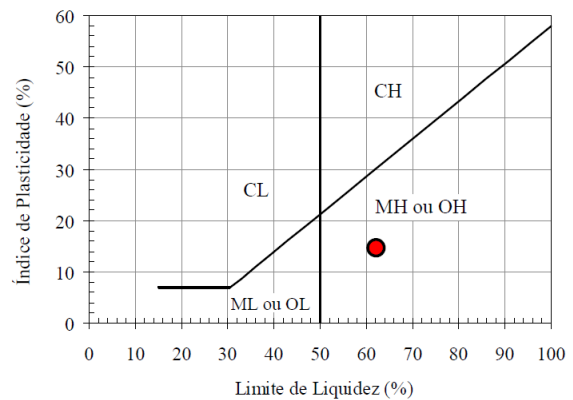


Figura 5: Carta de Plasticidade para classificação unificada.

Conforme classificação trilinear, que leva em consideração somente a granulometria, o solo é classificado como predominantemente argiloso.

A Figura 6 apresenta o diagrama trilinear com a marcação do ponto correspondente ao solo Erechim.

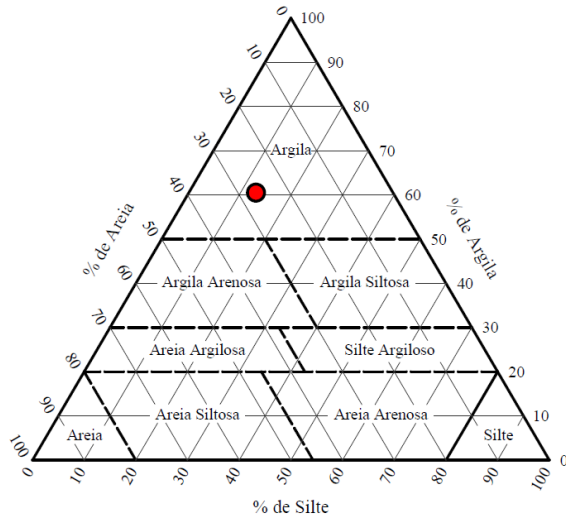


Figura 6: Diagrama trilinear de classificação do solo.

De acordo com a classificação Highway Research Board (HRB), o solo foi enquadrado como sendo A-7-5, solos argilosos, onde mais de 35% passando na peneira 200#.

### ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO.

Foram realizados ensaios de compactação para energias Proctor normal, intermediário e modificado. A Figura 7 apresenta as curvas de compactação e as curvas de saturação para o solo de Passo Fundo.

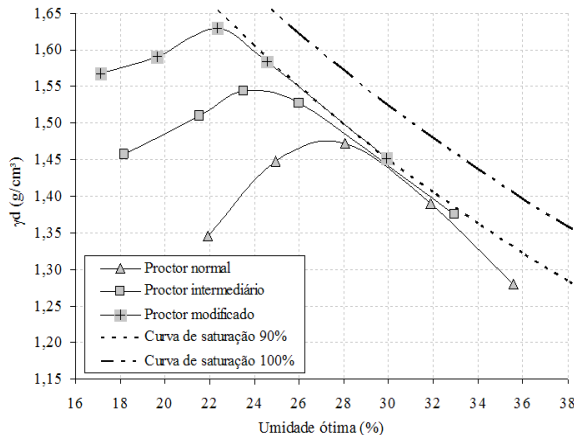


Figura 7: Curvas de compactação do solo.

De acordo com a Figura 7, constataram-se os seguintes resultados na tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Resultado dos ensaios de compactação.

Proctor Normal		Proctor Intermediário		Proctor Modificado	
gdmáx (g/cm³)	wótima (%)	gdmáx (g/cm³)	wótima (%)	gdmáx (g/cm³)	wótima (%)
1,47	28,05	1,54	23,52	1,63	22,34

A Figura 8 apresenta as curvas de compactação e as curvas de saturação do solo de Erechim.

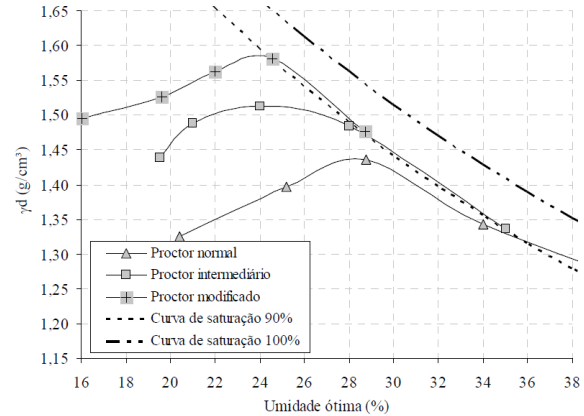


Figura 8 Curvas de compactação do solo.

De acordo com a Figura 8, constataram-se os seguintes resultados na tabela 4 abaixo.

Tabela 4: Resultado dos ensaios de compactação.

Proctor Normal		Proctor Intermediário		Proctor Modificado	
gdmáx (g/cm³)	Wótima (%)	gdmáx (g/cm³)	Wótima (%)	gdmáx (g/cm³)	Wótima (%)
1,44	29,00	1,51	24,05	1,57	24,00

### FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.

A partir da amostra coletada da rocha de Passo Fundo foram realizadas análises de composição química para elementos maiores determinado por espectrometria de fluorescência de raios-X, que seguem na tabela 5.

Tabela 5: Propriedades químicas da rocha.

Óxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	70,52%
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	13,28%
Óxido de titânio (TiO <sub>2</sub> )	0,97%
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,49%
Óxido de manganês (MnO)	0,10%
Óxido de magnésio (MgO)	0,84%
Óxido de cálcio (CaO)	2,28%
Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)	1,97%
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	3,99%
Óxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,21%
Perda ao Fogo	0,67%

A partir dos resultados de fluorescências de raios X foram plotados os resultados no diagrama binário SiO<sub>2</sub> x Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O para obtenção das

classificações de Cox, Bell e Pankhurst (1979) e TAS (Lebas & Streckeisen, 1991). As Figuras 9 e 10 apresentam os diagramas.

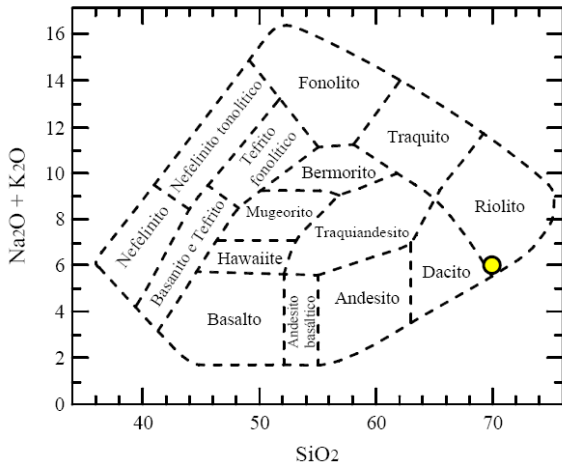


Figura 9: Diagrama Binário para classificação do tipo de rocha. (Cox, Bell e Pankhurst; 1979).

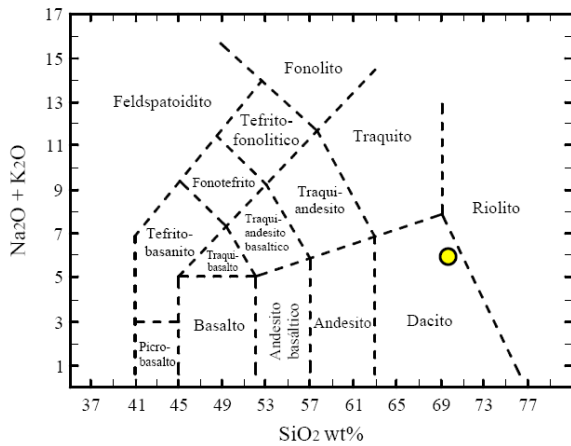


Figura 10: Diagrama Binário para classificação do tipo de rocha. (Lebas & Streckeisen, 1991).

A plotagem do resultado da fluorescência de amostra de rocha no diagrama binário  $SiO_2 \times Na_2O + K_2O$ , segundo as classificações de Cox, Bell & Pankhurst (1979) e TAS (Lebas & Streckeisen, 1991), indicam que a rocha corresponde a um rioladacito (riolito/dacito).

### ANÁLISE PETROGRÁFICA.

O riolito e o dacito são alguns dos exemplos mais comuns de rochas ígneas vulcânicas. Constituídos basicamente por quartzo e feldspatos (plagioclásios e feldspatos alcalinos), os riolitos são equivalentes vulcânicas dos granitos, pois possuem os mesmos minerais.

Além disso, muitas vezes o quartzo presente se forma a partir de mesóstases vítreas oriundas do processo de formação da rocha, conhecida

como vidro vulcânico. Os dacitos são rochas vulcânicas ácidas, com 63% a 68% de  $SiO_2$ , plagioclásio oligoclásico a andesina predominante nos feldspatos, freqüentemente porfirítica com feldspato e/ou piroxênio/anfibólio associados como fenocristais e na matriz.

A partir das microfotografias, tiradas da lâmina delgada polida, apresentada pela Figura 11, pode-se realizar uma análise visual e assim apontar as principais propriedades petrográficas da rocha.



Figura 11: Lâmina delgada utilizada para microfotografias.

A Figura 12 apresenta a microfotografia com luz polarizada cruzada e nicóis cruzados (LPX), realizada para a rocha. A partir dessa imagem é possível observar os principais minerais constituintes do rioladacito, além disso, é possível constatar que a textura da rocha ígnea caracteriza-se por ser glomeroporfirítica, apresentando fenocristais agrupados no meio da matriz mais fina. Plagioclásio e piroxênio em matriz recristalizada com quartzo feldspatos.

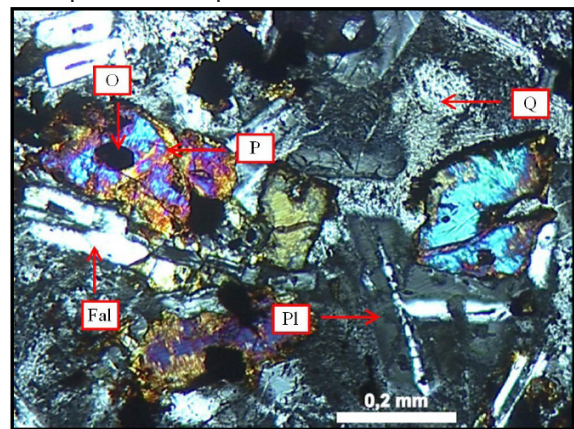


Figura 12: Aspecto microscópico da rocha constituída essencialmente por (Fal) feldspatos alcalinos, (O) minerais opacos, (P) piroxênio (Pl) plagioclásio e (Q) quartzo em (LPX).

A Figura 13 detalha a recristalização da matriz do riodacito, em que se observam intercrescimentos de quartzos e feldspatos.

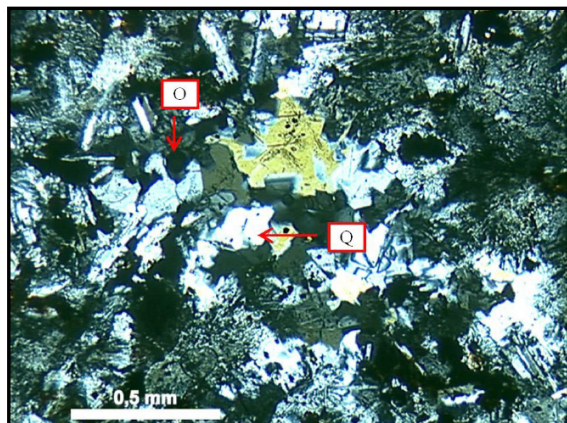


Figura 8: Aspecto microscópico da rocha de Passo Fundo. Detalhes de recristalização.

## CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados podemos concluir que: o solo de Passo Fundo e Erechim, quanto à granulometria, classificam-se como argiloso, o pH apresentam-se com valores baixos, de 3,8 e 3,43, respectivamente, e possuem a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) característico de argilominerais do tipo caulinítico.

A partir dos ensaios de fluorescência de raios X constatou-se que a rocha de Passo Fundo classifica-se como ácida do tipo riodacito.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1986). *Amostras de Solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. NBR 6457. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). *Solo - Determinação da massa específica aparente*. NBR 6508. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). *Solo - Determinação do limite de liquidez*. NBR 6459. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. NBR 7180. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984). *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. NBR 7180. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1986). *Solo-cimento – Ensaio de compactação*. NBR 12023. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1986). *Solos – Ensaio de compactação*. NBR 7182. Rio de Janeiro.

Cox, K. G., Bell, J. D.; Pankhurst, R. J. (1979). *The interpretation of igneous rocks*. London: G. Allen & Unwin, 449 p.

Le Bas, M. J., Streckeisen, A. L. (1991). The IUGS systematics of igneous rocks. *Journal of the Geological Society*, 148, 825-833.

Montardo, J. P. (1999). Comportamento mecânico de compósitos solo-cimento-fibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes (Master's thesis engineering). CPGEC/UFRGS. Porto Alegre. 130p.

Pinto, C. S. (2002). *Curso básico de mecânica dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos. 247p.

Rojas, J. W. J. (2012). *Estudo da resistência, condutividade hidráulica e lixiviação de um solo argiloso cimentado e contaminado*. (Doctoral dissertation engineering). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 193 f.

Sachetti, A. S., Rojas, J. W. J., Heineck, S. K., Consoli, N. C. (2011). Caracterização geotécnica e geológica do solo e da rocha do município de Passo Fundo. In Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, 6, 2011, Passo Fundo. *Anais...* [CD]. UPF, Passo Fundo.

Skempton, A. W. (1954). The pore pressure coefficients A and B. *Geotechnique*, London, 4, 143-147.