

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DAS GELEIRAS DE ROCHAS E  
FEIÇÕES GELO-ROCHA  
MONTES PATRIOT – ANTÁRTICA OCIDENTAL



Sumirê da Silva Hinata

Orientador: Professor Dr. Jefferson Cardia Simões

Co-orientadora: Professora Dra. Rosemary Vieira

Porto Alegre  
Dezembro, 2009.

CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DAS GELEIRAS DE ROCHAS E  
FEIÇÕES GELO-ROCHA  
MONTES PATRIOT – ANTÁRTICA OCIDENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial  
para a obtenção do título de  
Bacharel em Geografia, pelo Curso  
de Geografia da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões  
Co-orientadora: Profª Dra. Rosemary Vieira

Porto Alegre

Dezembro de 2009.

## **Agradecimentos**

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu pai Sauro Hinata, que sempre acreditou em mim e durante toda sua existência demonstrou generosidade, companheirismo e apoio, incondicionalmente. À minha mãe Eva da Silva Hinata que lutou para me dar instrução e me educou para ser alguém melhor. E ao meu filho Jones, que faz com que eu planeje e busque um mundo melhor.

Ao meu orientador Jefferson Cardia Simões por me aceitar como orientanda, e dar oportunidade para que eu possa mostrar a minha vontade de trabalhar. A minha querida co-orientadora Rosemary Vieira, por toda sua generosidade, garra e fé, sempre acreditando que podemos fazer melhor!

Ao meu grande e melhor amigo Guilherme Joaquim, que desde o primeiro dia de aula até o último sempre esteve presente com sua inteligência, amizade e companheirismo. Que nossos trabalhos não se encerrem com o fim da graduação (com certeza não se encerrarão!) e que nossa amizade permaneça transparente e sincera para toda vida!

A minha irmã do coração Renata Webber Drehmer, minhas queridas “chicas” Gabriela Hoff Silveira e Patrícia Hoff, e a minha “orientadora” e amiga de toda a graduação e grande exemplo de determinação e batalha, a Geógrafa Kátia Kellen.

A todos os meus amigos e parentes, sempre presentes nos meus pensamentos e meus desejos de felicidade. E, em especial, ao sempre amigo Alessandro Ketzer Bianchi.

Aos meus colegas e amigos da Ecoplan Engenharia Ltda. que me fizeram viver a profissão do Bacharel Geógrafo e presenciar diariamente toda a integração entre equipes, entendendo que cada um é a parte essencial que compõe o todo. Dentre tantos que são tão importantes para mim, meu agradecimento muito especial ao Geógrafo Ronaldo Godolphim Plá, por toda generosidade ao dividir seu conhecimento, ao Biólogo Dr. Willi Bruschi Junior, pelo seu voto de confiança e paciência para ensinar, a nossa chefe Eng<sup>a</sup> Sandra Sonntag, ao Geólogo Rodrigo Oliveira e a Bruna Serafini Paiva, por dividir desde o início todas as atribuições e diversões do dia a dia. E aos grandes novos amigos que se aproximaram neste ano e foram muito importantes, Rafael Kubbe e Fábio Rodríguez.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo ensino público e de qualidade e seus incríveis educadores!

## Resumo

As geleiras de rocha e demais feições gelo-rocha associadas são amplamente estudadas no hemisfério norte, dada sua importância para entender os processos geomorfológicos atuantes sobre o ambiente glacial e periglacial. No continente Antártico os estudos são em menor número, e especificamente, nos montes Patriot - localizados no manto de gelo da Antártica Ocidental, nenhuma pesquisa foi publicada até o momento sobre o tema. A Expedição Deserto de Cristal, realizada entre novembro de 2008 e janeiro de 2009 pelo Centro Polar e Climático (CPC) da UFRGS, identificou esse tipo de feição nos montes Patriot. Em laboratório foram realizadas as análises granulométricas e morfoscópicas sobre os sedimentos coletados, o que gerou evidências de transporte passivo dos sedimentos e de sua recente fragmentação e movimentação, indicando a atividade e crescimento da geleira de rocha, ainda que muito lenta. Os dados climáticos disponibilizados pela ALE não foram suficientes para alcançar resultados mais completos, como os da variação da temperatura do manto de gelo, por exemplo, e os índices de precipitação no local. Os dados de direção e velocidade do vento reafirmaram a presença constante de ventos constantes oriundos do platô polar ao sul, conforme descrito na literatura, o que atesta a influência do clima na composição do relevo, associado a morfologia do vale e a topografia. Com estes resultados, seria possível estabelecer um parâmetro mais exato e estabelecer um critério mais rigoroso para a classificação das geleiras de rocha e as feições gelo-rocha, o que só foi possível sumariamente. A classificação apropriada e completa não foi atingida devido à insuficiência de elementos que proporcionassem a sua compartimentação. Este trabalho pioneiro apresenta um estudo preliminar sobre as geleiras de rocha e feições gelo-rocha nos montes Patriot, e abre muitos precedentes para novas pesquisas.

## **Lista de abreviaturas**

ALE - *Antarctic Logistic Expedition*

ASTER - *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

CECO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

CPC - Centro Polar e Climático

GPS - Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

InSAR - *Interferometric Synthetic-Aperture Radar*

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

# Sumário

1	APRESENTAÇÃO.....	11
1.1	Introdução.....	11
1.2	Objetivos gerais.....	12
1.3	Objetivos específicos.....	12
1.4	Justificativa do tema escolhido.....	12
1.5	Área de estudo.....	14
1.5.1	História geológica e glacial.....	16
2	FEIÇÕES GELO-ROCHA.....	20
2.1	Classificação geral das feições gelo-rocha.....	20
2.1.1	Geleira de rocha.....	21
2.1.2	Corrente de seixos.....	21
2.2	Geleiras de rocha.....	23
2.2.1	Classificação quanto à gênese.....	24
2.2.1	Classificação quanto à atividade.....	28
2.2.2	Classificações adotadas.....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1	Atividades de campo.....	33
3.2	Classificação geomorfológica das feições gelo-rocha.....	33
3.3	Metodologia em laboratório.....	33
3.3.1	Análise granulométrica.....	33
3.3.2	Análise morfoscópica.....	34
3.4	Análise de dados meteorológicos.....	36
3.5	Mapeamento geomorfológico.....	36

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
4.1	Observações em campo .....	37
4.2	Geleiras de rocha e feições gelo-rocha nos montes Patriot.....	37
4.2.1	Feições gelo-rocha.....	40
4.2.2	Geleira de rocha.....	42
4.3	Características climáticas na região dos montes patriot.....	45
4.4	Características sedimentares nos montes Patriot.....	50
5	CONCLUSÃO .....	56
6	REFERÊNCIAS.....	58
7	ANEXOS.....	63

## Índice de Figuras

Figura 1 - Mapa de localização das montanhas Ellsworth, Antártica ocidental. A área à direita da figura indica a localização do Vale da Ferradura e dos montes Patriot, Independence e Marble (Modificado do Antarctic Digital Database). .....	15
Figura 2 - Mapa de localização do vale da Ferradura (imagem ASTER). A área, em vermelho, selecionada no canto inferior direito corresponde aos montes Patriot, Independence e parte dos montes Marble. (Fonte: Sérgio Zilberstein e Rosemary Vieira - Centro Polar e Climático - CPC/UFRGS, 2009). .....	17
Figura 3 - Mapa de localização dos montes Patriot. (Fonte: Sérgio Zilberstein e Rosemary Vieira - Centro Polar e Climático - CPC/UFRGS, 2009). .....	18
Figura 4 - Classificação da geleira de rocha conforme sua morfologia. Adaptado de Benn e Evans, 1998. ....	20
Figura 5 - (a) Fotografia aérea oblíqua de geleira de rocha de anfiteatro, localizada a sudeste das montanhas Talkeetna, Alaska. Disponível em: <a href="http://pubs.usgs.gov">http://pubs.usgs.gov</a> ; (b) Geleira de rocha de parede de vale, Lago Canyon (Lundy Canyon), Califórnia, USA. Fonte: Millar e Westfall, 2007; (c) Corrente de seixos, Lago Helen (Kuna Park), Califórnia, USA. Fonte: Millar e Westfall, 2007; (d) Fluxo de corrente na geleira de cânion, Cânion Lee Vining, Califórnia, USA. Fonte: Millar e Westfall, 2007. ....	22
Figura 6 - Modelo de formação de geleira de rocha a partir do progressivo enterro do gelo glacial (Adaptado de Benn e Evans, 1998). .....	26
Figura 7 - Modelo de fluxo de formação de geleira de rocha periglacial (Adaptado de Benn e Evans, 1998). .....	27
Figura 8 - Sequência de eventos de uma geleira de rocha em estado ativo. Geleira de rocha em Reichenkar, Stubai Alps, Austria. Disponível em: <a href="http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html">http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html</a> . .....	29
Figura 9 - Geleira de rocha inativa com bom desenvolvimento transversal de sulcos e cristas. Steinigkarle, oeste dos Alpes Ötztal, Áustria. Disponível em: <a href="http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html">http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html</a> . .....	30
Figura 10 - Geleira de rocha relictas. Vale Kaiserberg, oeste dos Alpes Ötztal, Áustria. Disponível em: <a href="http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html">http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html</a> . .....	30



Figura 11 - Mapa geomorfológico dos montes Patriot (Fonte: Sérgio Zilberstein e Rosemary Vieira - Centro Polar e Climático - CPC/UFRGS, 2009). .....	38
Figura 12 - Localização das feições gelo-rocha nos montes Patriot. (Fonte: Sérgio Zilberstein e Rosemary Vieira. Centro Polar e Climático - CPC/UFRGS, 2009). .....	39
Figura 13 - Geleira de rocha e feições gelo-rocha nos montes Patriot, orientação da imagem vista em sentido NE (Fonte: CPC/UFRGS, 2009). .....	40
Figura 14 - Feições gelo-rocha nos montes Patriot: (a) geleira de rocha de anfiteatro; (b) geleira de rocha de anfiteatro; (c) geleira de rocha de anfiteatro; (d) rastejamento; (e) geleira de rocha de anfiteatro e rastejamento de massa ; (f) vertente abrupta; (g) vertente abrupta; (h) corrente de seixos. (Fotos cedidas: Rosemary Vieira, CPC-2008/2009.) .....	42
Figura 15 - Perfil longitudinal da geleira de rocha. O gráfico apresenta o vale com maior extensão longitudinal dos montes Patriot, de aproximadamente 450 m. ....	43
Figura 16 - (a) geleira de rocha de anfiteatro; (b) zona de contato entre a geleira de rocha e a moraina <i>hummocky</i> ; (c) geleira de rocha e moraina com núcleo de gelo; (d) geleira de rocha de anfiteatro; (e) Sulcos e cristas em contato com <i>frozen pools</i> e gelo azul, ; (e) ponto de coleta de sedimentos sobre a geleira de rocha. (Fotos: Rosemary Vieira, CPC-2008/2009.) .....	44
Figura 17 - Distribuição da temperatura média diária em dezembro de 2008. ....	46
Figura 18 - Distribuição da temperatura média diária e umidade relativa em dezembro de 2008. ....	48
Figura 19 - Direção e velocidade do vento em dezembro de 2008. ....	48
Figura 20 - Distribuição da temperatura média diária e velocidade do vento em dezembro de 2008. ....	49
Figura 21 - Esquema representando o deslocamento do vento e a localização a sotavento das formas de vertente de rastejamento e das formas abruptas de vertentes. ....	50
Figura 22 - Histogramas de análise granulométrica elaborados do <i>software Grapher</i> . ....	51
Figura 23 - Gráficos ternários elaborados no programa Grapher. ....	52
Figura 24 - Grau de arredondamento dos sedimentos dos montes Patriot. ....	53
Figura 25 - Textura superficial dos sedimentos dos montes Patriot. ....	53
Figura 26 - Grau de esfericidade dos sedimentos dos montes Patriot. ....	54

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Nomenclatura das geleiras de rocha e o tipo de critério de descrição utilizado por vários autores (adaptado de Hamilton e Whalley, 1995).....	32
--	----

# 1 APRESENTAÇÃO

---

## 1.1 INTRODUÇÃO

As geleiras de rocha e feições gelo-rocha na Antártica têm demandado estudos detalhados sobre sua origem, caracterização, dinâmica e estágios evolutivos. As pesquisas referentes ao tema são extremamente importantes para desvendar as variações nos limites climáticos e altitudinais do *permafrost*, tanto pretéritos como atuais, e proporcionar melhor entendimento dos processos de rastejamento e deformação das geleiras.

As geleiras de rochas são morfologicamente abundantes em muitas áreas de alta montanha (HUMLUM, 1998a) e durante o último século foram identificadas em quase todas as cadeias montanhosas do mundo (BURGER *et al.*, 1999), desde regiões de elevadas latitudes às montanhas elevadas equatoriais (SERRANO *et al.* 2006). São formas distribuídas amplamente em ambientes árticos e alpinos com baixas temperaturas, baixa umidade e abundância de material rochoso (GIARDINO e VITEK, 1988). Dentro das áreas montanhosas onde são mais estudados, tais tipos de geleiras cobrem, por exemplo, cerca de 5% na Suíça (FRAUENFELDER, 2004) e mais de 10% no Chile (BRENNING, 2005), contendo entre 50 - 80% de gelo por volume (BRENNING, 2005).

Apesar do desenvolvimento de muitos estudos geológicos e geomorfológicos na área dos montes Patriot, desde a segunda metade do século XX, não há estudos sobre as geleiras de rocha existentes, sua estrutura, dinâmica e classificação. A pesquisa a ser desenvolvida nesta região é de extrema importância, considerando-se a falta de classificação geomorfológica das geleiras de rocha e feições gelo-rocha, e a lacuna existente sobre a análise de dados climáticos na região, e os conseqüentes resultados em relação às variações climáticas ocorridas na Antártica.

Este trabalho foi realizado com base no referencial teórico de publicações científicas sobre as geleiras de rocha, bem como análise morfométrica de sedimentos coletados na Expedição Deserto de Cristal, realizada entre novembro de 2008 e janeiro de 2009, desenvolvido pelo Centro Polar e Climático (CPC), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e análises estatísticas sobre observações das variações climáticas nos monte Patriot, concedidas pela *Antarctic Logistic Expedition* (ALE).

## 1.2 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar e classificar as formas e locais de ocorrência das geleiras de rocha e de suas feições gelo-rocha nos montes Patriot, manto de gelo da Antártica Ocidental, buscando identificar a sua origem e dinâmica.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Classificar e caracterizar geomorfologicamente as geleiras de rocha dos montes Patriot;
- b) Analisar a morfoscopia e granulometria dos sedimentos coletados nos montes Patriot, relacionando com a dinâmica da geleira de rocha;
- c) Analisar as variações climáticas com base nos dados de variação meteorológica.

## 1.4 JUSTIFICATIVA DO TEMA ESCOLHIDO

Enquanto as geleiras de montanha vêm sofrendo retração significativa em todo o mundo, a água contida no gelo dentro das geleiras de rocha está de certa forma protegida das variações termais pelo manto de detritos que cobre grande parte da superfície dessas geleiras. Elas contêm, em média, cerca de 40 a 60% de gelo por volume (ARENSEN *et al.*, 2002; BARSCH, 1987; CORTE, 1987; CROCE e MILANA, 2002; HAEBERLI, 1985; HOELZLE *et al.*, 1998; SCHROTT, 1996).

Por esta razão, as geleiras de rocha estão se transformando em importantes e mensuráveis reservatórios de água dentro das atuais condições de aquecimento global. Além disso, atuam como reservatórios de água no ciclo hidrológico de zonas onde a precipitação é muito baixa, ainda que pesquisas orientadas neste sentido não tenham sido desenvolvidas (MILLAR e WESTFALL, 2007).

As geleiras de rochas são também estudadas pelo seu valor como arquivo da história glacial e paleoclimática, assim como as geleiras típicas. Pela comparação de idades e elevações de geleiras de rocha ativas (que contém gelo glacial) e geleiras de rocha relictas (ausência de gelo), e interpretando mudanças na linha de equilíbrio de altitude ou na linha de altitude da geleira de rocha, o período de glaciações e diferenças de temperatura podem ser determinadas (WHITE, 1981).

Outra aproximação para se estimar paleoclimas está baseada no conceito de que as geleiras de rocha indicam a extensão da zona de *permafrost*, dentro da qual se assume que a temperatura média anual de -1°C a -2°C ou menor para se desenvolver, possibilita a comparação de mudanças na temperatura em uma escala temporal (BARSCH, 1996; FRAUENFELDER e KÄAB, 2000; AOYAMA, 2005).

Em comparação com as geleiras “típicas”, as geleiras de rocha permanecem relativamente pouco descritas e estudadas. Muitos autores afirmam que elas estão entre as mais enigmáticas formas produzidas em ambiente glacial, e inspiram uma vasta gama de debates a respeito de sua formação (BENN e EVANS, 1998). Além disto, as pesquisas publicadas até o momento ainda discutem termos e definições para as geleiras de rocha e oferecem classificações generalizadas (JOHNSON, 1983; CORTE, 1987; HAMILTON e WALLEY, 1995; WALLEY e AZIZI, 2003).

A maioria dos estudos sobre geleiras de rochas foi realizada em regiões montanhosas em todo o mundo: Alpes europeus (BARONI *et al.*, 2004; GUGLIELMIN *et al.*, 1997; HAEBERLI, 1985), montanhas na Ásia central (CIU ZHIJUI, 1983; GORBUNOV, 1983), e cordilheiras na América do Norte e do Sul (CORTE, 1987; BRENNING, 2005; WHITE, 1971; MILLAR e WESTFALL, 2007; SOTO *et al.*, 2004).

Nas latitudes mais altas, foram descritas em Svalbard (ANDRÉ, 1994; BERTHLING *et al.*, 1998, 2000; SOLLID e SÖRBEL, 1992), Groenlândia (HUMLUM, 1997, 1998a, 2000), Ilhas Faeroe (HUMLUM, 1998b), Ártico canadense (EVANS, 1993) e Alasca (WAHRHAFTIG e COX, 1959 apud HAMILTON e WHALLEY, 1995).

Na Antártica, são citadas por Barsch *et al.* (1985) e Serrano e López-Martínez (2000) ao descreverem a ocorrência de geleiras de rocha ativas na Ilha Rei George (Ilhas Shetland do Sul) em uma área de *permafrost* pouco profundo, porém contínuo. Estas geleiras de rocha movem-se com velocidade média de 30 cm ano<sup>-1</sup> e são atravessadas por uma praia elevada formada aproximadamente entre 500 e 1000 anos AP (antes do presente).

Guglielmi *et al.* (1997) descreveram as geleiras de rocha ao norte da Terra de Victoria e mediram as propriedades geolétricas das mesmas. Com base nas medições de resistividade, foi possível distinguir entre geleiras de rocha cimentadas por gelo e aquelas com núcleo de gelo (consideradas provavelmente gelo de geleira). Mayewski (1979) e Mjagkov (1980) *apud* Bockheim e Hall (2002) estudaram as geleiras de rocha nas Montanhas Transantárticas.

Humlum (1998a) e Strelin e Stone (1998) mencionam geleiras de rocha na Ilha James Ross na parte leste da península Antártica. A ilha é uma área de *permafrost* contínuo e numerosas geleiras de rocha foram encontradas na parte noroeste da ilha, livre de gelo. Humlum (1998a) sugeriu que a maioria das geleiras de rocha é derivada de gelo, mas há também algumas formas derivadas de talude.

Em McMurdo, Dry Valleys, as geleiras de rocha e gelo soterrado são predominantes em vales mais altos e ao longo da borda do platô polar, como o Vale Arena e Vale Beacon (MAYEWSKI, 1979; MAYEWSKI e HASSINGER, 1980). A geleira de rocha e o gelo soterrado nesses vales contêm menos de 1 metro acumulado sobre o gelo puro.

Durante a expedição brasileira Deserto de Cristal foram identificadas geleiras de rocha e feições gelo-rocha nos montes Patriot, no manto de gelo da Antártica Ocidental. O conhecimento da evolução das geleiras de rocha também é imprescindível para padronizar e melhor classificar as feições geomorfológicas presentes no interior do continente antártico.

## 1.5 ÁREA DE ESTUDO

Os montes Patriot localizam-se no extremo sul das montanhas Ellsworth (Figura 1), que são um grupo de montanhas localizado no manto de gelo da Antártica Ocidental. As montanhas Ellsworth são constituídas pela cadeia Sentinel ao norte e a cadeia Heritage ao sul, onde os Montes Patriot (Figura 3) estão inseridos.

A cadeia Heritage tem 190 km de comprimento e 90 km de largura e a orientação NNW-SSE domina a topografia. A cadeia Heritage é consideravelmente mais baixa que a Sentinel, onde os pontos mais altos estão entre 2.000 e 2.500 m de elevação (a maioria apresenta menos de 2.000 m).

O gelo interior inunda o cume oeste de Heritage. Ventos constantes do platô polar varrem a cadeia Heritage, aumentando a acumulação de neve em anfiteatros e ao longo das declividades da face oeste em direção ao sentido preferencial do vento (RUTFORD, 1969 *apud* DENTON *et al.*, 1992).

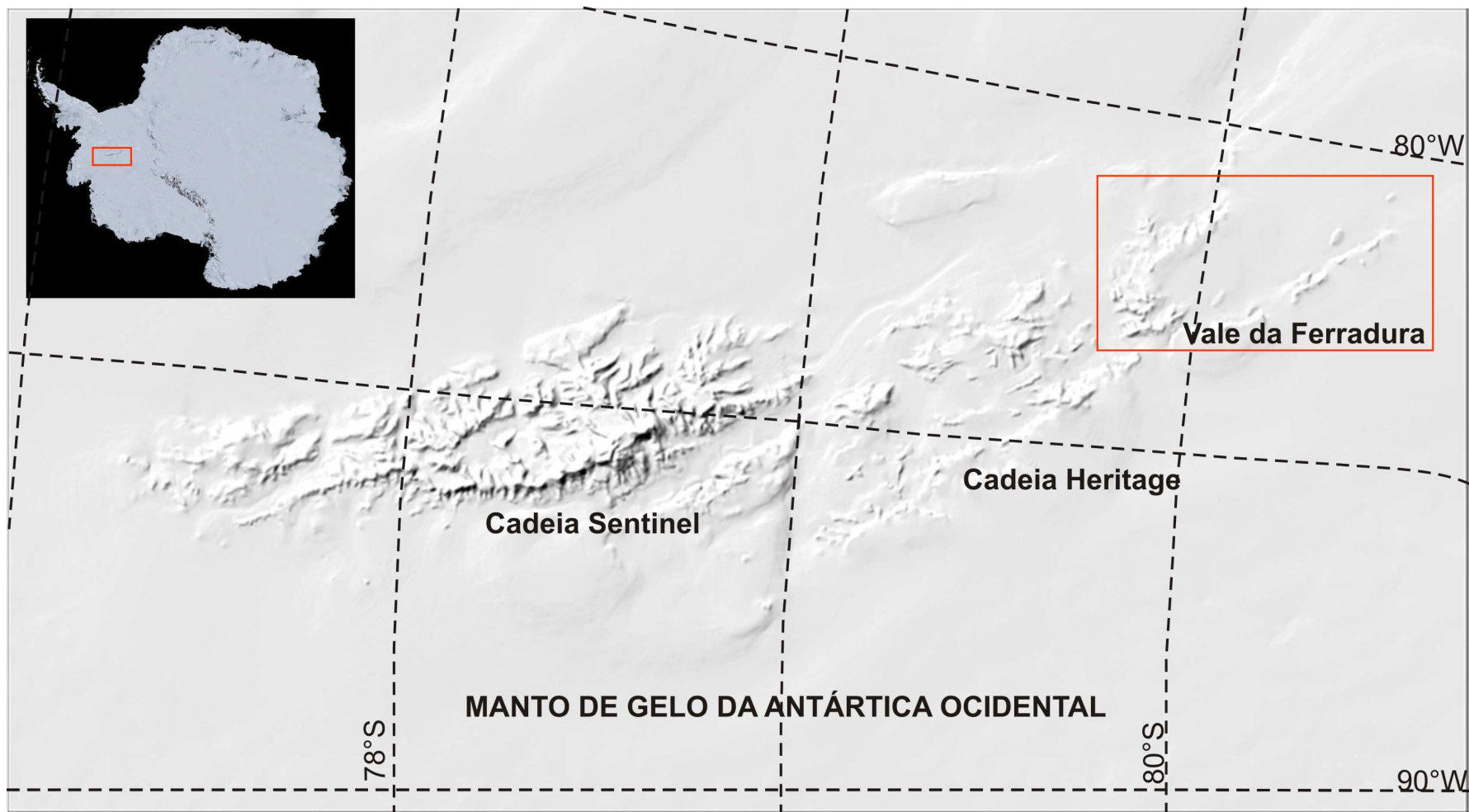


Figura 1 - Mapa de localização das montanhas Ellsworth, Antártica ocidental. A área à direita da figura indica a localização do Vale da Ferradura e dos montes Patriot, Independence e Marble (Modificado do Antarctic Digital Database).

Em contraste, muitas faces do circo leste e nordeste, bem como cumes e declividades da montanha, são livres de gelo porque a ablação produzida pelos ventos flui ao redor e sobre estes obstáculos topográficos. Áreas de ablação do gelo azul também ocorrem em superfícies de gelo a sotavento dos obstáculos topográficos (DENTON *et al.*, 1992).

À parte as áreas livres de gelo causadas pelos ventos constantes, a cadeia Heritage é altamente glacializada. A drenagem interna do gelo é canalizada largamente através de três extensos sistemas de geleira. (RUTFORD, 1969 *apud* DENTON *et al.*, 1992).

As geleiras fluem em direção ENE, alimentando-se de numerosos tributários de circos internos e bacias de acumulação entre as cristas das montanhas. Um terceiro grande sistema de geleira, situado no vale Ferradura (Figura 2) ao sul de da cadeia Heritage, drena a bacia de acumulação interna (DENTON *et al.*, 1992).

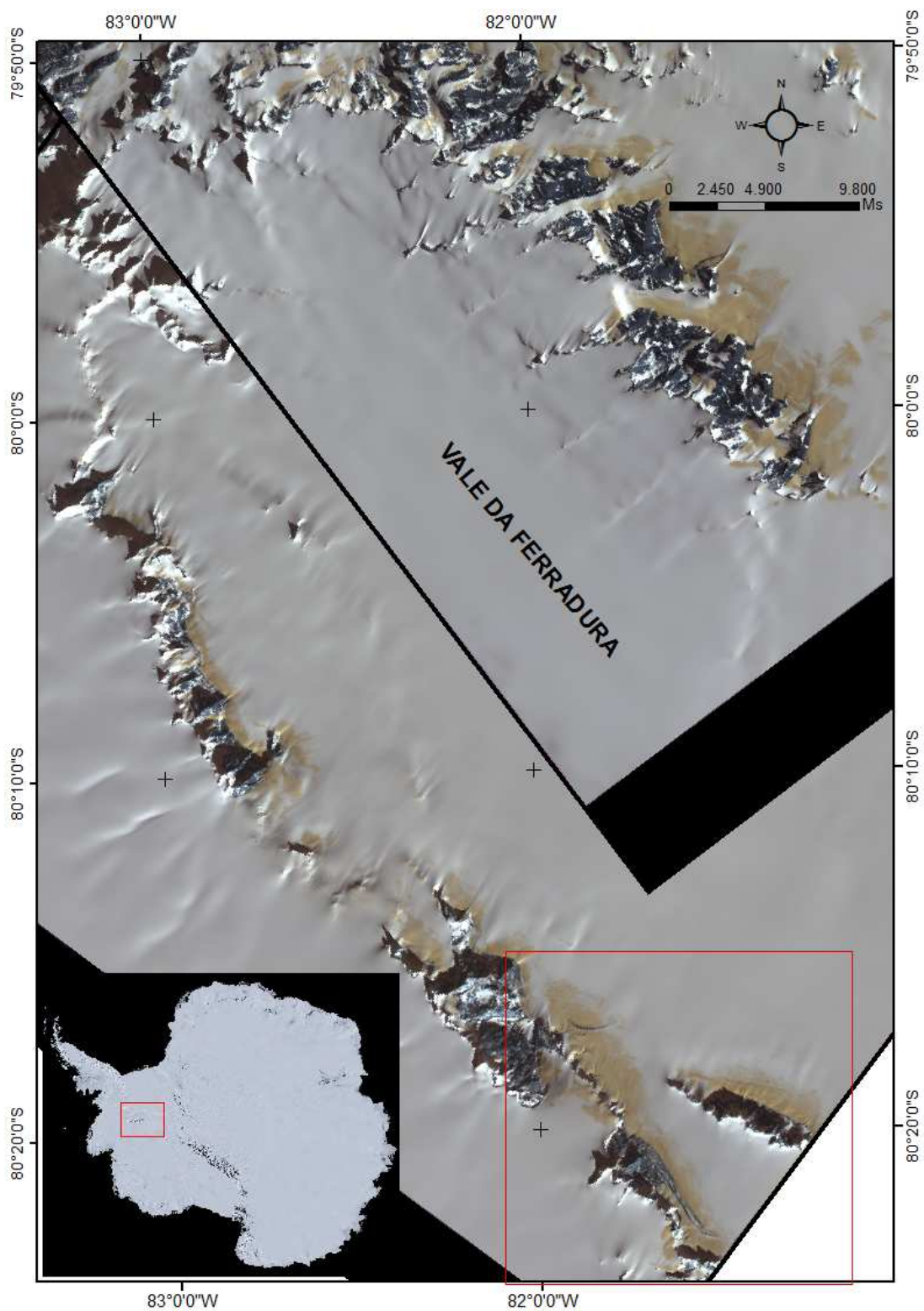
Segundo Carrasco *et al.* (2000), a região é marcada por fortes ventos constantes ( $>30\text{m/s}^{-1}$ ) e ocorrem baixas taxas de acumulação ( $\sim 50\text{ kg } 0^{-2}/\text{a}^{-1}$ ) (CASASSA *et al.*, 1998).

A extensão total dos montes Patriot é de 8500 m, mas os vales abertos, onde se encontram expostos os conjuntos deposicionais e erosivos, estão distribuídos ao longo de 6100 km de extensão, em sete vales de orientação NNE, com diferentes características topográficas e morfológicas (VIEIRA e SIMÕES, comunicação pessoal).

### **1.5.1 História geológica e glacial**

A tectônica das montanhas Ellsworth exerceram e ainda exercem um importante papel no manto de gelo da Antártica Ocidental. Elas formam uma barreira entre o mar de Weddel e o mar de Ross, e alguns autores argumentam que o manto de gelo não poderia existir sem a sua presença (DALZIEL e LAWER, 2001). As montanhas Ellsworth atuariam como balizas que registram as variações da espessura do manto de gelo.





**Figura 2 - Mapa de localização do vale da Ferradura (imagem ASTER). A área, em vermelho, selecionada no canto inferior direito corresponde aos montes Patriot, Independence e parte dos montes Marble. (Fonte: Sérgio Zilberstein e Rosemary Vieira - Centro Polar e Climático - CPC/UFRGS, 2009).**

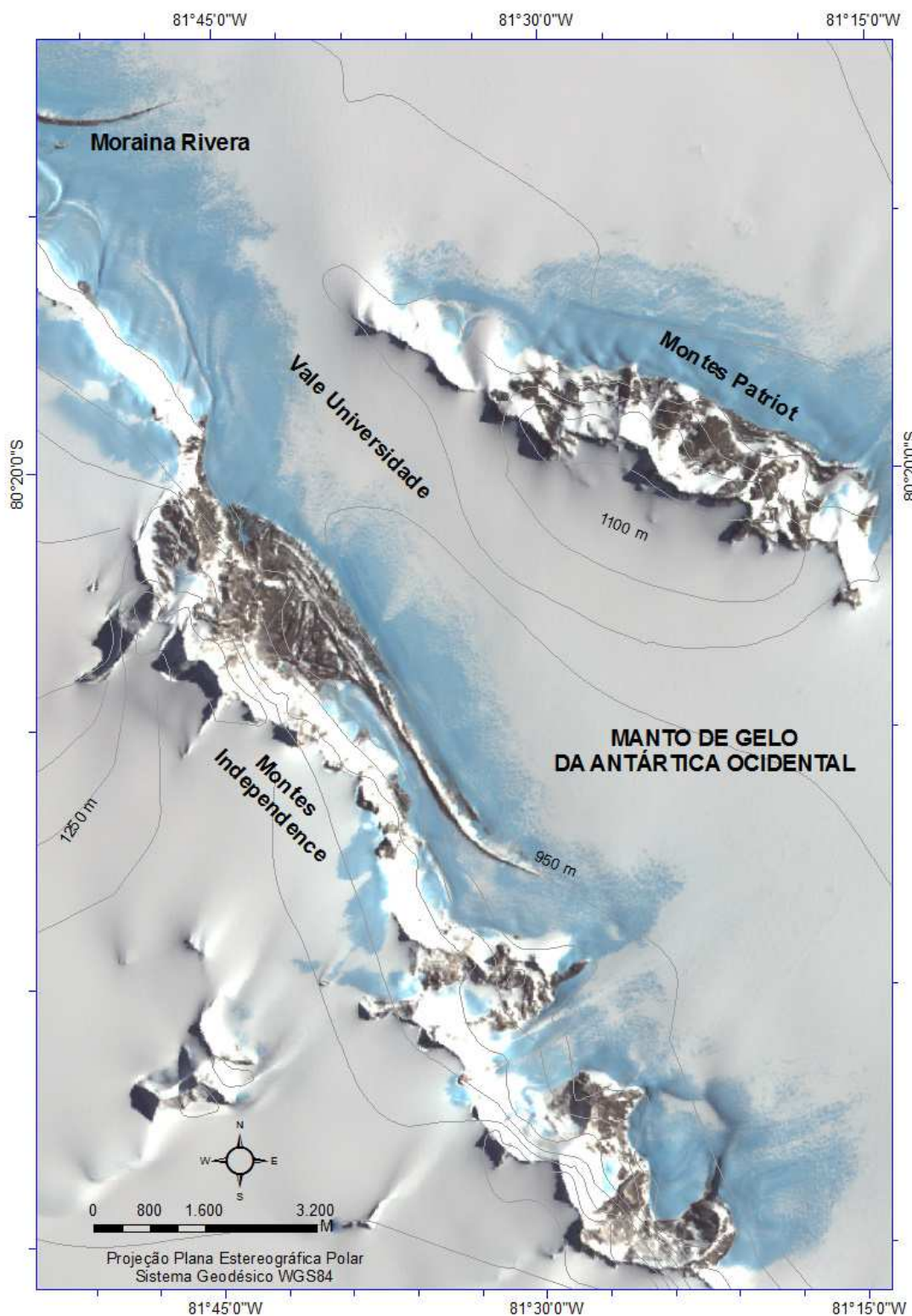


Figura 3 - Mapa de localização dos montes Patriot. (Fonte: Sérgio Zilberstein e Rosemary Vieira - Centro Polar e Climático - CPC/UFRGS, 2009).

As fases da história glacial pelas quais a região passou produziram um conjunto de formas e depósitos, muitos dos quais ainda não estão completamente compreendidos. A primeira fase corresponde às glaciações de vale, possivelmente iniciada no Mesozóico Superior e Terciário Inferior, quando as montanhas formavam um arquipélago ou uma ilha. A segunda fase envolve a glaciação continental que cobriu a área, deixando apenas os picos mais elevados expostos como *nunataks* (RUTFORD, 1972 *apud* DENTON *et al.*, 1992; RUTFORD, 1980).

A história geomorfológica pós-tectonismo das montanhas Ellsworth foi traçada (RUTFORD, 1972 a, b *apud* DENTON *et al.*, 1992; RUTFORD *et al.*, 1980) por meio da seguinte sequência: (1) erosão fluvial e desenvolvimento dos principais sistemas de vales atuais; (2) início da glaciação de vale que segue até o presente momento e de processos dominantes de desenvolvimento de formas nas partes mais elevadas da cadeia; (3) glaciação continental resultando no preenchimento das partes mais baixas das montanhas pelo gelo continental e (4) deglaciação parcial com a redução do nível de gelo continental de mais de 300 m.

Uma antiga superfície do manto de gelo foi estimada entre 300 e 500 m sobre a superfície atual. Alguns trabalhos também sugerem que a diminuição da superfície do manto de gelo ocorreu recentemente e de forma rápida, devido à presença de blocos erráticos e de rochas estriadas bem preservadas, o que sugere que as rochas não estiveram expostas ao intemperismo por longo tempo (CRADDOCK *et al.*, 1964 *apud* DENTON *et al.*, 1992).

Os montes Patriot constituem-se predominantemente de calcário. Conglomerados - seixos rolados, agrupados por cimento de origem variada, formando um depósito consolidado, geralmente de rochas muito heterogêneas - são formados à base de calcário e apresentam também rochas carbonáticas recristalizadas que são conhecidas por mármore (CRADDOCK, 1969 *apud* DENTON *et al.*, 1992).

Uma seção de aproximadamente 100 metros de conglomerados de coloração marrom a verde, composta de arenitos de granulometria grossa, associado com rochas vulcânicas básicas de cor púrpura e verde, representa a mais antiga exposição estratigráfica no extremo leste dos montes Patriot (SPÖRLI e CRADDOCK, 1992).

## 2 FEIÇÕES GELO-ROCHA

As feições gelo-rocha podem estar relacionadas a uma vasta gama de formas, classes e localização topográfica, com muitas formas intermediárias e locais de transição (Figura 4).

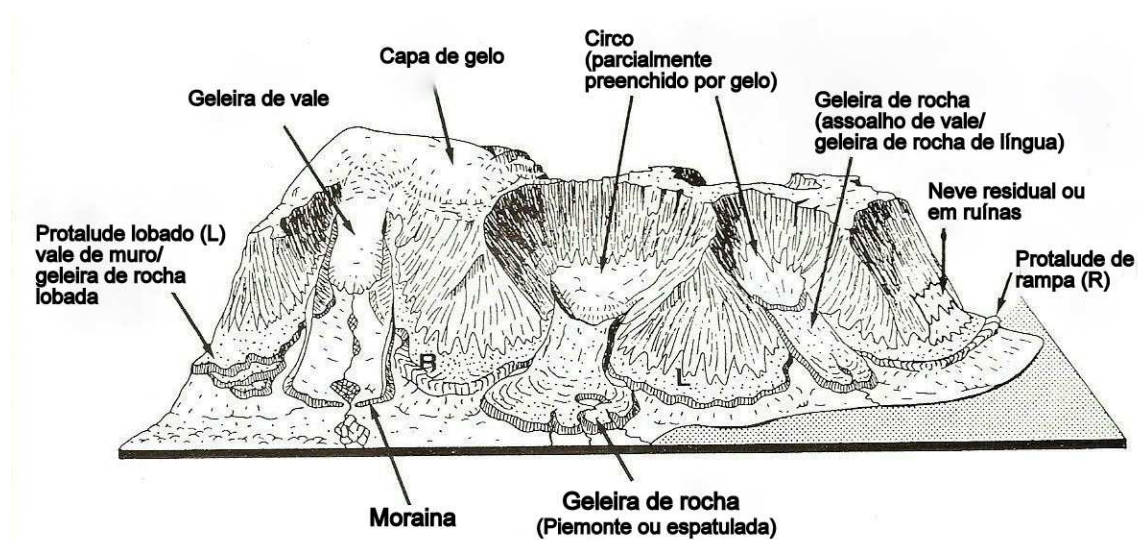


Figura 4 - Classificação da geleira de rocha conforme sua morfologia. Adaptado de Benn e Evans, 1998.

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES GELO-ROCHA

O grande grupo das feições gelo-rocha é caracterizado por Millar e Westfall (2007) da seguinte maneira:

- 1) Detritos de rochas angulares, composto por material sortido e característico de paisagens de alta montanha;
- 2) A paisagem aparenta mover-se conjuntamente por movimentos de superfície gradual e irregular, e não por deslocamento catastrófico;
- 3) Detritos de rocha sortidos (os finos são poucos ou inexistentes, sendo a maioria grossos);
- 4) Bordas da paisagem tipicamente abruptas, em poucos casos é gradual.

A caracterização individualizada de cada feição gelo-rocha segue a metodologia proposta por Millar e Westfall (2007):

### 2.1.1 Geleira de rocha

Podem ser feições simples ou complexamente lobadas, com bordas abruptas, encosta e frente muito íngremes, topo plano em relação à vertente. O gelo subsuperficial é raramente visível, exceto em pontos de degelos ocasionais, ou nas áreas de anfiteatro ou parede de penhasco acima da forma primária das feições gelo-rocha.

Essas feições ocorrem em anfiteatros, estendendo-se destes ao fundo de vale, ou ocorrem em paredes de vale, em taludes em forma de cone, ou em encostas de penhascos ou corredores de avalanche. Quantidades de leito rochoso decomposto ou outros detritos (*till*) formam a fonte de material disponível.

A origem potencial das geleiras de rochas pode ser glacial (fragmentos de rocha envolvendo geleiras) ou periglacial (gelo sazonalmente persistente e/ou transitoriamente estável interagindo com massas de rocha desagregada).

- **Geleira de rocha de anfiteatro:** Feições originadas em circos altos e contidas tanto dentro deste (paredes ou na base) ou emanado da base do vale em lobos complexos, corpos alongados de detritos de rocha (Figura 5 a); feições menores também se desenvolvem a partir de morainas terminais com núcleo de gelo internas ou externas ao anfiteatro. Fluem paralelamente ao eixo do vale, e a frente geralmente é perpendicular ao eixo; linhas de fluxo arqueado são comuns.
- **Geleira de rocha de parede de vale:** feições relativamente menores se comparadas às geleiras de rocha de anfiteatro (Figura 5 b), fluem para baixo em direção à base do vale, e tem frente paralela ao eixo do vale. Feições de parede de vale ocorrem ao longo do talude, em cones, e abaixo de encostas ou corredores de avalanchas.

### 2.1.2 Corrente de seixos

Formação similar à geleira de rocha, predominando rocha sortida e fragmentada, mas ausente de encosta e frente muito íngremes. O limite frontal das correntes de seixos ocorre onde os seixos largos sortidos (angulares, sem líquen, e sem abrasões recentes) encontram abruptamente o solo. Correntes de seixo ocorrem sobre declividades e paredes de vale em localização topográfica similar às geleiras de rocha de parede de vale, e raramente estão em anfiteatros.





(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 5 - (a) Fotografia aérea oblíqua de geleira de rocha de anfiteatro, localizada a sudeste das montanhas Talkeetna, Alaska. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov>; (b) Geleira de rocha de parede de vale, Lago Canyon (Lundy Canyon), Califórnia, USA. Fonte: Millar e Westfall, 2007; (c) Corrente de seixos, Lago Helen (Kuna Park), Califórnia, USA. Fonte: Millar e Westfall, 2007; (d) Fluxo de corrente na geleira de cânion, Cânion Lee Vining, Califórnia, USA. Fonte: Millar e Westfall, 2007**

A origem potencial é: periglacial, gelo transitoriamente estável e/ou sazonalmente persistente interagindo com massas de gelo fragmentada. Processos de *permafrost* ou ciclos de congelamento/degelo podem envolver distintos limites na frente e dos lados destas feições. Avalancha pode contribuir com neve e gelo nestas feições.

- **Talude:** esta feição (Figura 5 c) ocorre sobre parede de vale e outras declividades com gradiente que varia de íngreme a baixo. Podem ser grandes (toda a vertente)

ou pequenas (sob campos de neve persistentes). Enquanto a água corrente é frequentemente ouvida sob a superfície, a mesma é difusa entre a feição, não concentrada em um curso único.

- **Fluxo de corrente:** correntes de seixos, tanto na vertente como no fundo do vale; vertentes variam de moderado a muito baixo gradiente (Figura 5 d).

## 2.2 GELEIRAS DE ROCHA

Geleiras de rocha são caracterizadas por deformações internas do gelo ou do gelo intersticial, ou de lâminas de gelo entre detritos grossos, podendo ter a forma de línguas ou de lobos. Normalmente apresentam cristas e sulcos, que ocorrem paralelamente (longitudinalmente) ou perpendicularmente (transversal ou em arco) à direção do movimento; forte declividade frontal, através da qual os sedimentos superficiais deslizam e tombam, sendo então cobertos pelo avanço da massa que se encontra no nível acima; exibem pouca ou nenhuma vegetação (POTTER, 1972; WASHBURN, 1979 *apud* HAMILTON e WHALEY, 1995; BALLANTYNE e HARRIS, 1994).

Apresentam cordões superficiais paralelos a direção do fluxo da geleira que se deslocam possivelmente através do sistema em resposta às variações das condições climáticas e da entrada de detritos (KIRKBRIDE e BRAZIER, 1995).

São formadas por detritos e gelo que se deslocam sob a influência da deformação plástica do gelo dentro da estrutura e da gravidade, em velocidades de decímetros a centímetros por ano. As geleiras de rocha localizam-se na base de vales rochosos com vertentes livres e com grande suprimimento de talude (HAEBERLI, 1985; BARSCH, 1988).

As cristas e sulcos podem ser usados para identificar as geleiras de rocha tanto em campo quanto em fotografias aéreas ou satélites. Estas feições podem ser atribuídas às taxas de suprimimento de talude (i.e., detritos de rocha provenientes da cabeceira), ou às taxas e frequência do movimento da própria geleira de rocha. (GIARDINO e VICK, 1987). De maneira geral, as geleiras de rocha são feições caracterizadas por possuir material congelado e localizarem-se em regiões de clima frio e altitudes mais elevadas.

Entretanto, as geleiras de rocha têm características únicas, com depósitos de detritos pouco selecionados, variando de angulares a tabulares, unidos por gelo massivo ou uma matriz de clastos finos cimentados por gelo (GIARDINO, 1979).

Uma definição adequada de uma geleira de rocha poderia ser, portanto, uma acumulação de detritos de rocha angulares, normalmente com padrão de cristas e sulcos

e parte frontal acentuada e declividade lateral, cujo comprimento é geralmente maior do que a largura, existente em um fundo do vale (HAMILTON e WHALLEY, 1995).

### 2.2.1 Classificação quanto à gênese

Pelo fato dessas geleiras ocorrerem em amplo espectro de formas e topografia, apresentando também diversas formas intermediárias e ocupando áreas de transição, hipóteses conflitantes acerca de sua definição e origem foram desenvolvidas ao longo do último século (SOTO *et al.*, 2004). Mesmo assim, os diversos estudos demonstram que as geleiras de rocha são um importante componente no *continuum* glacial-periglacial, e que o seu monitoramento constante pode prover informações sobre a sua dinâmica e associá-las a variações climáticas de larga escala.

Historicamente, dois modelos genéticos das geleiras de rocha foram propostos. Um é o modelo periglacial (CLARK *et al.*, 1994), em que o congelamento *in situ* da água de chuva e de fusão ocorre dentro dos interstícios de taludes pré-existentes (WARHAFTIG e COX, 1959; OUTCALT e BENEDICT, 1965). O outro é o modelo glaciênico, no qual uma geleira é coberta por detritos e rochas. Esses detritos são derivados das vertentes ou por acumulação por fusão, isolando conseqüentemente o gelo subjacente (OUTCALT e BENEDICT, 1965; POTTER, 1972).

Alguns pesquisadores preferem usar o termo geleira de rocha exclusivamente para se referir a um fenômeno periglacial, e consideram formas com núcleo de gelo de geleira sendo “geleiras cobertas por detritos”, e não geleira de rocha (BARSCH, 1977, 1987; HAEBERLY, 1985). Entretanto, esta discordância é puramente terminológica, e o fato é que deformações similares de massas de detritos rochosos envolvem tanto processos periglaciais quanto gelo de geleira enterrado.

Assim, as geleiras de rocha representam um exemplo perfeito de equifinalidade, onde determinado estado final é resultante de vários pontos de partida diferentes e muitos processos variados. Ou seja, múltiplos processos provavelmente parecem produzir formas similares e, inversamente, processos similares aparecem para formar diferentes feições de geleiras de rocha, dependendo do ambiente e microclima (MILLAR e WESTFALL, 2007).

Outros autores sugerem que as geleiras de rocha são a resposta de três tipos de processos geomórficos: (1) glacial. (2) periglacial, ou (3) de talude. O trabalho pioneiro de Wahrhaftig e Cox (1959) sugere que as geleiras de rocha formadas por processo de *permafrost* criam uma mistura de detritos de rocha congelados e gelo do talude ou



detritos de morainas. Estes resultados são afirmados e expandidos por estudos subsequentes (SMITH, 1973), com o advento de novas tecnologias e interesse global em reconhecer e estudar as geleiras de rocha (BURGER *et al.*, 1999).

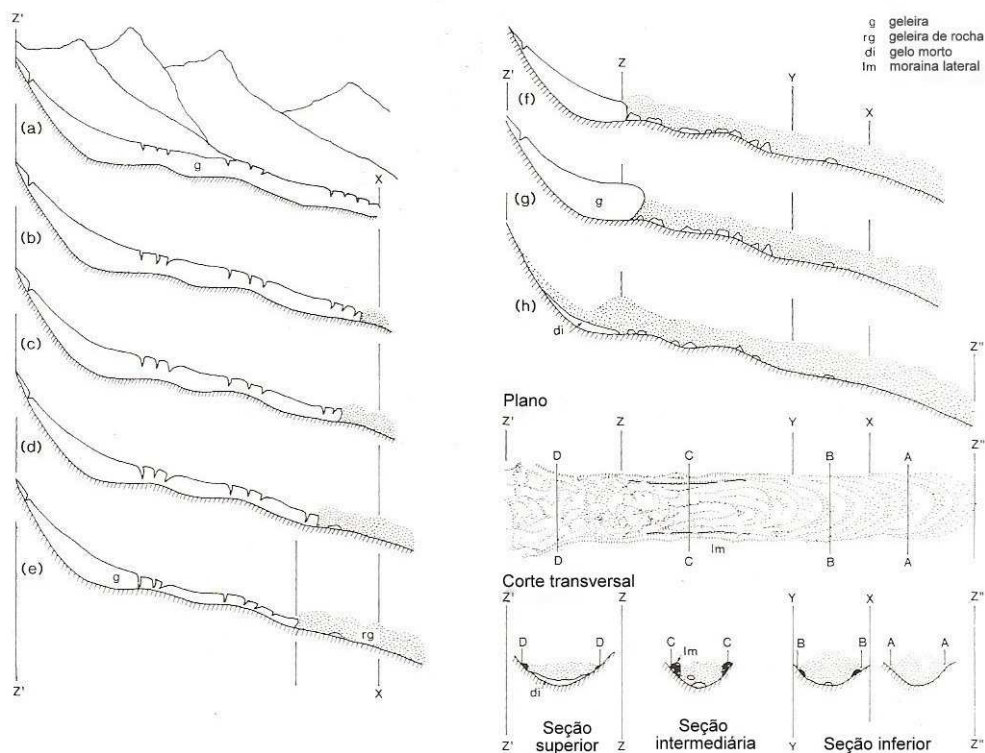
Corte (1976) e Barsch (1988) identificaram muitos tipos ou combinações de geleiras de rocha, enquanto Parson (1987) sugeriu que talvez existam cinco tipos. Benn e Evans (1998) adotaram duas classificações genéticas para as geleiras de rocha: glacial e periglacial.

As geleiras de rocha glaciais (Figura 6) são formadas pelo progressivo soterramento e deformação de um núcleo de gelo glacial, coberto por um espesso manto de detritos grossos (JOHNSON, 1980 a,b; BARSCH, 1987; GIARDINO e VITEK, 1988). Geralmente se formam em vale de anfiteatro, onde há abundância de detritos que são despejados sobre a superfície do gelo, através de processos de declividade e derretimento do gelo entre os detritos (GRIFFEY e WHALLEY, 1979; MAYEWSKI e HASSINGER, 1980; BIRNIE e THOM, 1982; GORDON e BIRNIE, 1986; JOHNSON, 1987). A existência de *permafrost* não é essencial (MARTIN e WHALLEY, 1987).

Os detritos irão se acumular se forem depositados na superfície da geleira mais rapidamente do que forem carregados pelo fluxo. Então, a formação da geleira de rocha é favorecida por baixas velocidades do fluxo do gelo e rápida acumulação de sedimentos. Tais condições são mais prováveis em geleiras em estágio avançado de retração, especialmente aquelas circundadas por vales em anfiteatro de altas paredes (BENN e EVANS, 1998).

Segundo Whalley e Martin (1992), a principal sequência de eventos para a formação da geleira de rocha de origem glacial é:

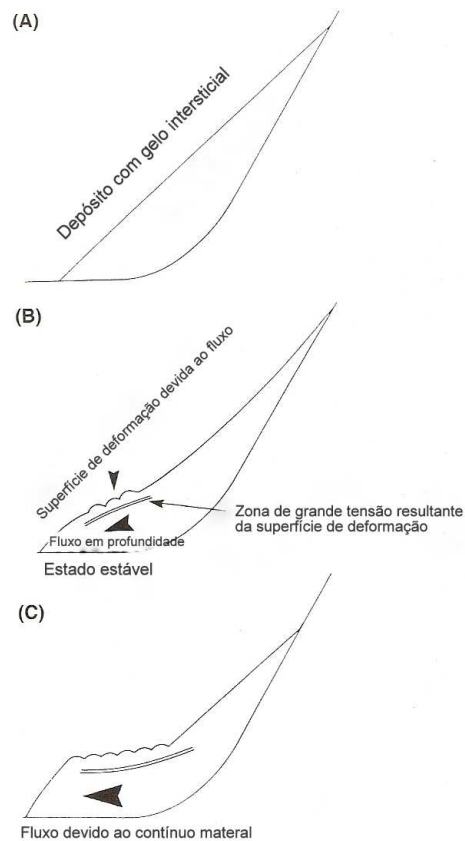
- 1) Uma fina e residual parte frontal da geleira fica protegida do derretimento por uma cobertura de sedimentos rochosos;
- 2) Os detritos são derivados de rochas das paredes laterais do vale facilmente intemperizadas cujo talude de descarga cai diretamente sobre a superfície da geleira;



**Figura 6 - Modelo de formação de geleira de rocha a partir do progressivo enterramento do gelo glacial (Adaptado de Benn e Evans, 1998).**

- 3) O fino corpo de gelo flui a taxas reduzidas. A velocidade da superfície é reduzida, porque o gelo da geleira torna-se menos espesso conforme flui e sofre os processos de ablação;
- 4) O balanço de sedimentos que abastece o suprimento de gelo é fundamental para a formação da geleira de rocha;
- 5) Taxas de deslizamento são baixas ou igual a zero, mesmo quando o gelo está próximo do ponto de pressão do derretimento. Se a temperatura cai abaixo de 0°C, então a taxa de fluxo diminui.

As geleiras de rocha periglaciais originam-se pela deformação da parte mais baixa da declividade do talude, formando uma feição lobada protuberante na base. Este fenômeno é puramente periglacial, não envolvendo a presença de gelo glacial (Figura 7).



**Figura 7 - Modelo de fluxo de formação de geleira de rocha periglacial (Adaptado de Benn e Evans, 1998).**

Segundo Corte (1987), a formação da geleira de rocha de origem periglacial começa com a acumulação do gelo nas partes superiores da vertente. O fluxo de gelo desce pela encosta, onde ocorre ablação do gelo lentamente dentro ou abaixo dos detritos. Os requisitos gerais para formação da geleira de rocha incluem:

- 1) Cadeias de montanhas relativamente jovens apresentam a rocha fonte com propriedades que favorecem a formação de blocos de detritos;
- 2) Microclima propício para os ciclos diários de congelamento-derretimento ou intemperismo glacial, suficiente umidade do solo para processos periglaciais, baixa a moderada precipitação de neve suficiente para a produção de detritos e avalanche, e baixa cobertura de neve isolante;
- 3) Combinação de posição geográfica (latitude, altitude) e condições climáticas (temperatura, orientação) que permitam processos periglaciais e mantenham temperaturas de solo abaixo de zero;

- 4) Suprimento de talude promovido por terreno íngreme e rugoso, talvez de detritos de glaciação anterior, ciclos frequentes de congelamento/derretimento, e propriedades de massa de rocha.

### 2.2.1 Classificação quanto à atividade

Em termos de atividade, as geleiras de rocha são classificadas em ativas, inativas ou relictas - ou tipo fóssil (MARTIN e WHALLEY, 1987; BARSCH, 1996). Geleiras de rocha ativas contêm água em estado permanentemente congelado. Para sua formação, desenvolvimento e melhor preservação elas devem estar sob condições de temperatura abaixo de  $-1^{\circ}\text{C}$ . O movimento ativo requer um constante suprimento de detritos a partir da cabeceira do depósito, uma característica que distingue as geleiras de rocha de outras feições de rastejamento de encosta (Figura 8).

Qualquer movimento menor que  $1\text{ cm/ano}^{-1}$  ou maior que  $150\text{ cm/ano}^{-1}$  pode ser usado para indicar o estado ativo.

Quando ativa, caracteriza-se pela espessura em torno de 20 a 100 m, em forma de língua ou lobada, e seu comprimento pode ter muitos quilômetros, mas a medida mais comum está entre 200 e 800 m (BENN e EVANS, 1998). Fluem em média  $0,1\sim 1\text{ m/ano}$  (BARSCH, 1996), sendo mais lentas que as geleiras normais; mas presumivelmente mais competentes no transporte de sedimentos (HUMMEL, 1998a).

As geleiras de rocha inativas (Figura 9) ainda contêm gelo intersticial, mas já cessaram seu movimento. E as geleiras de rocha relictas ou fósseis carecem tanto de movimento quanto de gelo. Geleiras de rocha ativas são indicadoras da presença, distribuição e recente evolução de *permafrost* descontínuo (ANGILLIERI, 2008).

A transição de ativa para inativa é um processo temporal lento no qual a inatividade é simplesmente um estado temporário de *equilibrium*. Desta maneira, as taxas do movimento podem indicar somente o *status* atual do processo (BURGER *et al*, 1998).

Tanto o estado ativo como o inativo devem ser considerados como estados de um movimento *continuum* e não devem ser comparados ao estado final alcançado pela paisagem, pois uma variedade de processos pode eventualmente transformar uma geleira de rocha em algum outro tipo de paisagem ou depósito sedimentar. A geleira de rocha deve então ser considerada uma forma transicional e não um fim em si (BURGER *et al*, 1999).



12.05.1999



28.05.1998



04.06.1998



15.08.1998

**Figura 8 - Sequência de eventos de uma geleira de rocha em estado ativo. Geleira de rocha em Reichenkar, Stubai Alps, Austria. Disponível em: [http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active\\_rg.html](http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html).**

Muitos estudos de geleiras de rocha ativa, inativa e relictas descrevem depressões confinadas, fendas amplas e depressões lineares que estão associadas ao derretimento do gelo, remoção de sedimentos sazonais, processos de congelamento e degelo. Estudos geomorfológicos de geleira de rocha relictas (Figura 10) sugerem que muitos m de subsidência têm ocorrido como resultado do derretimento e consolidação do gelo (HUMLUM, 1998a).





**Figura 9 - Geleira de rocha inativa com bom desenvolvimento transversal de sulcos e cristas. Steinigkarle, oeste dos Alpes Ötztal, Áustria. Disponível em: [http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active\\_rg.html](http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html).**



**Figura 10 - Geleira de rocha relict. Vale Kaiserberg, oeste dos Alpes Ötztal, Áustria. Disponível em: [http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active\\_rg.html](http://www.uibk.ac.at/projects/rockglacier/active_rg.html).**

### **2.2.2 Classificações adotadas**

Diferentes modelos de geleiras de rocha podem ser adotados dentro da mesma definição, em geral, com base na morfologia e localização. Isso então permite que o trabalho possa ser concentrado em investigações sobre as propriedades do núcleo. As diferentes classificações para as geleiras da rocha foram elaboradas com base em critérios diversos e distintos (Tabela 1).

(i) morfologia bruta, por exemplo, geleira de rocha lobada, em forma de língua ou “espatulada” de Wahrhaftig e Cox (1959);

(ii) processo de formação (ou gênese), por exemplo, geleira de rocha com o núcleo de gelo ou gelo-cimentado de White (1971) e Potter (1972);

(iii) a posição topográfica, por exemplo, geleiras de rocha de parede de vale ou fundo de vale (ou assoalho de circo) de Outcalt e Benedict (1965).

(iv) a dinâmica, por exemplo, geleiras de rocha ativa e relictas de Wahrhaftig e Cox (1959) e Haeberli (1985).

**Tabela 1 – Nomenclatura das geleiras de rocha e o tipo de critério de descrição utilizado por vários autores (adaptado de Hamilton e Whalley, 1995).**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descrição</b>	<b>Autor e data</b>
Geleira de rocha	Morfologia	Capps (1910)
Geleira de rocha Forma de língua lobada	Morfologia	Wahrhaftig e Cox (1959), White (1971), Humlum (1982), Parson (1987), Luckman (1977), Luckman and Crockett (1978), André (1992), Zhu Cheng <i>et al.</i> (1992)
Geleira de rocha Fundo de vale Parede de vale	Posição Topográfica	Outcalt e Benedict (1965), Benedict (1967, 1968)
Geleira de rocha	Genética	Wahrhaftig e Cox (1959), White (1971), Potter (1972), Washburn (1979), Giardino <i>et al.</i> (1978), Gorbunov (1983)
Geleira de rocha Glacigênica Detritos de avalanche Detritos de gelifluxão	Genética	Corte (1976)
Complexos de ablação	Genética	Johnson (1974, 1983, 1987)
Geleiras de rocha Detritos Talude	Genética	Barsch (1988)
Geleiras de rocha Moraina Talude Avalanche	Genética	Johnson (1973, 1987)
Protalude lobado	Morfologia	Richmond (1952), Whalley e Martin (1992)
Geleira de rocha Protalude Morâinica	Posição Topográfica	Lindner e Marks (1985)
Geleira de rocha Ativa Fóssil	Dinâmica	Brown (1925), Blagbrough (1984), Haeberli (1985)
Morainas com núcleo de gelo	Morfologia dinâmica	Ostrem e Arnold (1970), Ostrem (1971)
Geleiras cobertas por detritos	Morfologia	Clark <i>et al.</i> (1994)



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

---

A metodologia descrita a seguir apresenta os processos desenvolvidos na fase de coleta dos sedimentos, medições em laboratório e interpretação de dados. Também são apresentadas as análises dos dados meteorológicos observados no mês de dezembro de 2008, no acampamento base da *Antarctic Logistic Expeditions* (ALE).

#### 3.1 ATIVIDADES DE CAMPO

Foram coletadas sete amostras da geleira de rocha em transecto longitudinal. As amostras foram coletadas com uma pá, em pequenas cavidades rasas até atingir a superfície do gelo, na quantidade superior a 100 gramas e postas em sacos plásticos, contendo o código de cada amostra. Em cada local de coleta foram tomados pontos de controle de GPS (altitude e coordenadas), fotografias com escala e descrição do ambiente de entorno.

#### 3.2 CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DAS FEIÇÕES GELO-ROCHA

Para a classificação das feições gelo-rocha encontradas, a classificação adotada foi de Millar e Westfall (2007), por ser mais compatível com o ambiente em questão. A compartimentação adotada seguiu a caracterização estruturada pelos autores e, dentre aquelas, as feições nos montes Patriot foram enquadradas conforme observação em campo.

#### 3.3 METODOLOGIA EM LABORATÓRIO

As análises dos sedimentos foram realizadas no laboratório de sedimentologia do CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – UFRGS) para determinar a distribuição granulométrica e características morfoscópias.

##### 3.3.1 Análise granulométrica

Esta análise mede a distribuição do tamanho dos grãos das amostras, a qual é fortemente influenciada pela litologia original e também pela história dos sedimentos, pois ela é produto dos processos geradores dos mesmos. Processos pós-deposicionais também podem modificar a distribuição original do tamanho dos grãos de um depósito (LEWIS e MCCONCHIE, 1994). A análise granulométrica serve para determinar a origem do material depositado, como ele foi modificado durante o fluxo glacial e posteriormente

depositado, e também indica alterações pós-deposicionais (LEWIS e MCCONCHIE, 1994; HAMBREY, 1994).

Inicialmente as amostras foram etiquetadas e numeradas. Após, os sedimentos finos foram separados dos grossos usando um conjunto de peneiras apropriado. O material retido na peneira com malha maior foi considerado “grosso” e foi peneirado com malha decrescente até o limite de 0,062 mm, para que houvesse a separação de acordo com classes texturais. Em seguida realizou-se a pesagem por classe.

Os dados foram processados, usando o *software* Sisgram, obtendo-se assim a distribuição percentual das classes texturais dos sedimentos segundo a escala de Wentworth (1922). A classificação dos sedimentos foi realizada segundo Shepard (1954) e o grau de selecionamento de acordo com Folk e Ward (1957). Foram elaborados gráficos ternários para representar a distribuição granulométrica de cada amostra e histogramas para analisar se a distribuição é unimodal, bimodal ou multimodal.

### **3.3.2 Análise morfoscópica**

Este procedimento permite analisar as características morfoscópicas das partículas sedimentares, para obter-se dados sobre a textura superficial (arredondamento superficial), o grau de arredondamento (grau de curvatura das bordas) e da esfericidade.

Segundo Toldo Jr. (2007), o desenvolvimento das propriedades morfoscópicas são controlados por fatores referentes às propriedades do grão, como forma original do mesmo, na rocha fonte; e propriedades químicas, físicas e cristalográficas.

Os demais fatores referem-se ao ambiente sedimentar, como natureza do agente de transporte de sedimento, tempo e distância do transporte e mudanças físicas e químicas ocorridas após a deposição. As amostras foram observadas em lupa binocular e comparadas conforme os seguintes parâmetros:

#### **a) Esfericidade**

A esfericidade ou forma corresponde a uma medida comparativa entre uma partícula sedimentar e uma esfera. A tabela de Rittenhouse (1943) foi utilizada para fazer a comparação e determinar o grau de esfericidade de uma partícula sedimentar.

#### **b) Arredondamento**

A análise do grau de arredondamento de uma partícula é feito através da observação da presença ou não de irregularidades na superfície do grão. A tabela comparativa de Krumbein (1941) foi utilizada como parâmetro.

Para expressar os graus de arredondamento foram utilizadas as seguintes siglas: “A” para angulares, “AS” subangulares, “SR” suabarredondados, “R” arredondados e “WR” muito arredondados.

c) Textura superficial

A textura superficial é expressa pela ornamentação das faces dos grãos e pela presença ou ausência de brilho. Para este trabalho seguiu-se a classificação proposta por Bigarella (1946), onde os três tipos principais são:

- a) grãos sacaróides: superfícies irregulares e arestas agudas;
- b) grãos mamelonados: arestas com formas arredondadas;
- c) grãos lisos: superfícies curvas.

A forma do clasto é definida pela dimensão relativa dos três eixos ortogonais, chamados “a” (maior), “b” (intermediário), e “c” (menor) (HUBBARD e GLASSER, 2005). Em laboratório foram mensurados, com paquímetro, os clastos com eixo a > 20 mm. Os dados da forma dos clastos foram distribuídos em diagramas triangulares, colocando os raios dos três eixos ortogonais da partícula no programa *Grapher*. Esses dados proveem informações a respeito da história de transporte e caracterização do ambiente deposicional (GRAHAM e MIDGLEY, 2000). Nos diagramas, os raios variam linearmente, mostrando a distribuição da forma da partícula sem distorcer a continuidade da forma (GRAHAM e MIDGLEY, 2000).

Adicionalmente, para reconstruir a história do transporte dos sedimentos glaciais pelas características dos clastos, foi utilizada a metodologia proposta por Benn e Ballantyne (1994), a qual é baseada na covariância entre a forma e o arredondamento do clasto. O índice RA (% dos clastos angulosos) foi correlacionado em relação ao índice C40 (% de clastos cujo eixo  $c/a$  é < 0,4) na forma de gráficos de dispersão. Esse método distingue os sedimentos transportados ativamente daqueles transportados passivamente pela geleira, além de quantificá-los (BENNETT *et al.*, 1997), sendo assim, útil para discriminar ambientes glaciais (BENN e BALLANTYNE, 1994).

Os resultados da medição dos eixos *a*, *b* e *c* dos clastos também foram distribuídos em diagramas triangulares, colocando os raios dos três eixos ortogonais da partícula no programa *Grapher*. Esses dados fornecem informações a respeito da história de transporte e caracterização do ambiente deposicional (GRAHAM e MIDGLEY, 2000).

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS METEOROLÓGICOS

Foram elaborados gráficos referentes aos dados de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, durante o mês de dezembro de 2008. Os dados foram disponibilizados pelo ALE. As medições de parte do dia 05, e dos dias 06, 25 e 30 não foram registradas. Os dados foram registrados por uma estação automática Wx7, localizada aproximadamente a 3 km da geleira de rocha e a 880 m de altitude.

### 3.5 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO

O mapeamento da área dos montes Patriot faz parte do projeto em execução denominado Mapeamento Glaciológico e Geomorfológico das montanhas Ellsworth, pelo Grupo de Pesquisas de Geomorfologia e Geologia Glacial, do CPC/UFRGS.

Para a identificação e mapeamento das feições morfológicas mais marcantes foram usadas imagens ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* – anos 2004 e 2005), com resolução espacial de 15 m, nas três bandas VNIR (visível e infravermelho-próximo). Foram introduzidos parâmetros de correção de projeção, sistema de coordenadas Polar Estereográfica e sistema geodésico de referência WGS84. Dados altimétricos foram obtidos do *Antarctic Digital Database* (ADD), do *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR), em formato ESRI Arc/Info Export e convertidos para formato *shapefile*, utilizando o software comercial ARCGIS 9.2.

Dados morfométricos foram obtidos das imagens mediante o uso dos *softwares* ARCGIS e ERDAS 9.2. Um mapa geomorfológico preliminar foi confeccionado usando legendas que carregam informações de morfologia e morfometria. Legendas para a diferenciação das feições morfológicas são baseadas em Aragony Neto *et al.* (2006), e em Millar e Westfall (2007).

As feições morfológicas observadas nas imagens de satélite foram identificadas e georreferenciadas em campo, usando um GPS portátil com margem de erro de aproximadamente 10 m.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

---

O relato verbal e o material coletado em campo pela Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosemary Vieira proporcionaram a obtenção dos resultados e discussões apresentados neste capítulo.

Os resultados apresentados por diversos autores no referencial teórico correlacionados às análises sedimentológicas e meteorológicas permitiram classificar as geleiras de rocha e as feições gelo-rocha.

### **4.1 OBSERVAÇÕES EM CAMPO**

A geomorfologia nos montes Patriot é marcada pela presença de diversos tipos de morainas, linhas de cume cobertas por gelo ou expostas, geleiras de rocha e vertentes cobertas por detritos.

Feições de geleiras de rocha foram identificadas pela equipe do CPC em campo, nos vales dos montes Patriot: formas lobadas com as partes frontais e laterais abruptas e a parte superior relativamente plana. As geleiras de rocha não foram identificadas previamente nas imagens de satélite, mas foram inseridas no mapeamento geomorfológico, executado pelo CPC, após a expedição. (Figura 11 e Figura 12).

Através do trabalho de campo e do mapa geomorfológico é possível inferir a procedência dos detritos que abastecem a geleira de rocha, devido à configuração dos vales e a disponibilidade de material detrítico.

### **4.2 GELEIRAS DE ROCHA E FEIÇÕES GELO-ROCHA NOS MONTES PATRIOT.**

Foram observadas geleiras de rocha e feições gelo-rocha nos montes Patriot (Figura 11 e Figura 12) e as mesmas puderam ser classificadas (Figura 13).

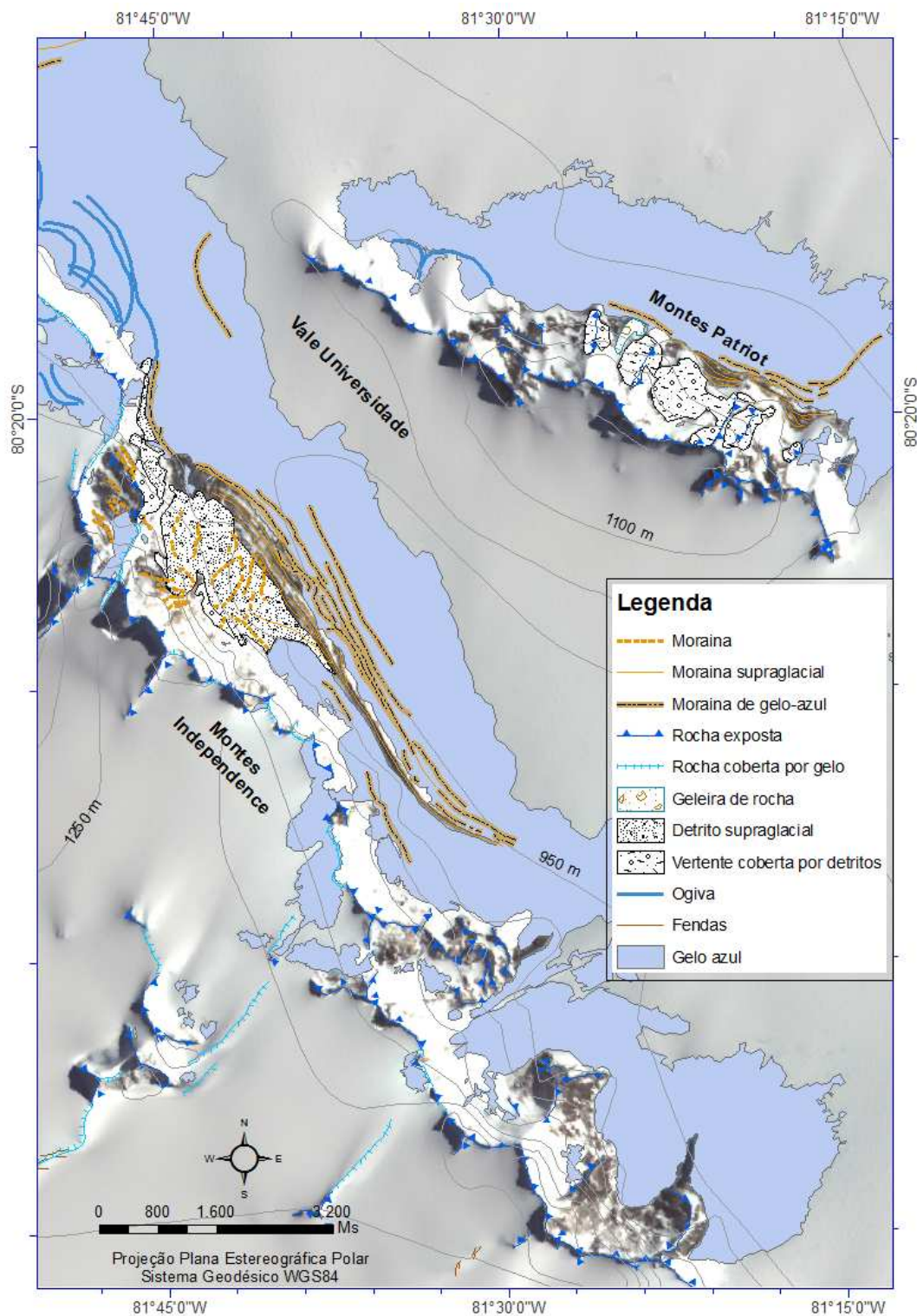


Figura 11 - Mapa geomorfológico dos montes Patriot (Fonte: Sérgio Zilberstein e Rosemary Vieira - Centro Polar e Climático - CPC/UFRGS, 2009).

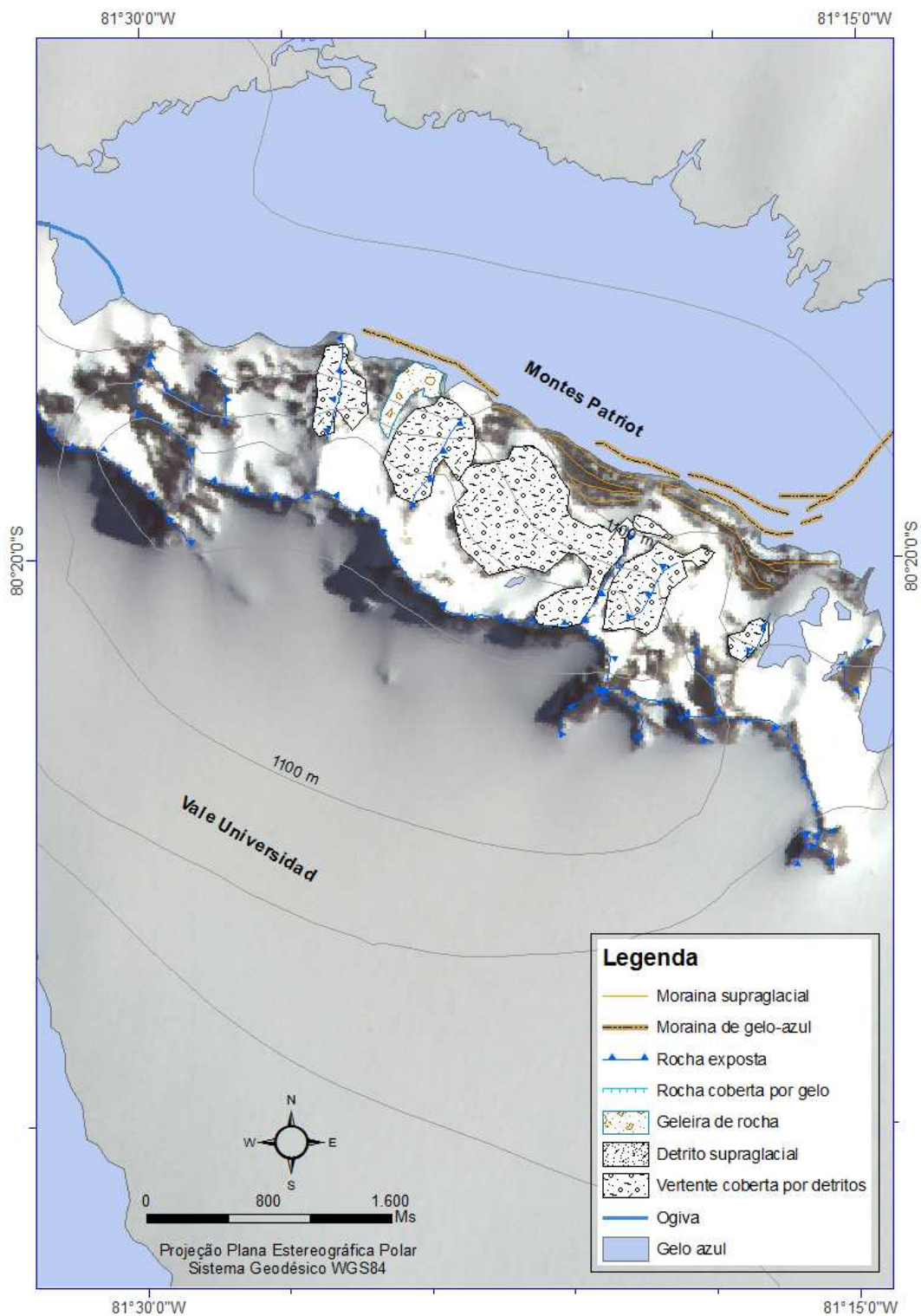


Figura 12 - Localização das feições gelo-rocha nos montes Patriot. (Fonte: Sérgio Zilberstein e Rosemary Vieira. Centro Polar e Climático - CPC/UFRGS, 2009).



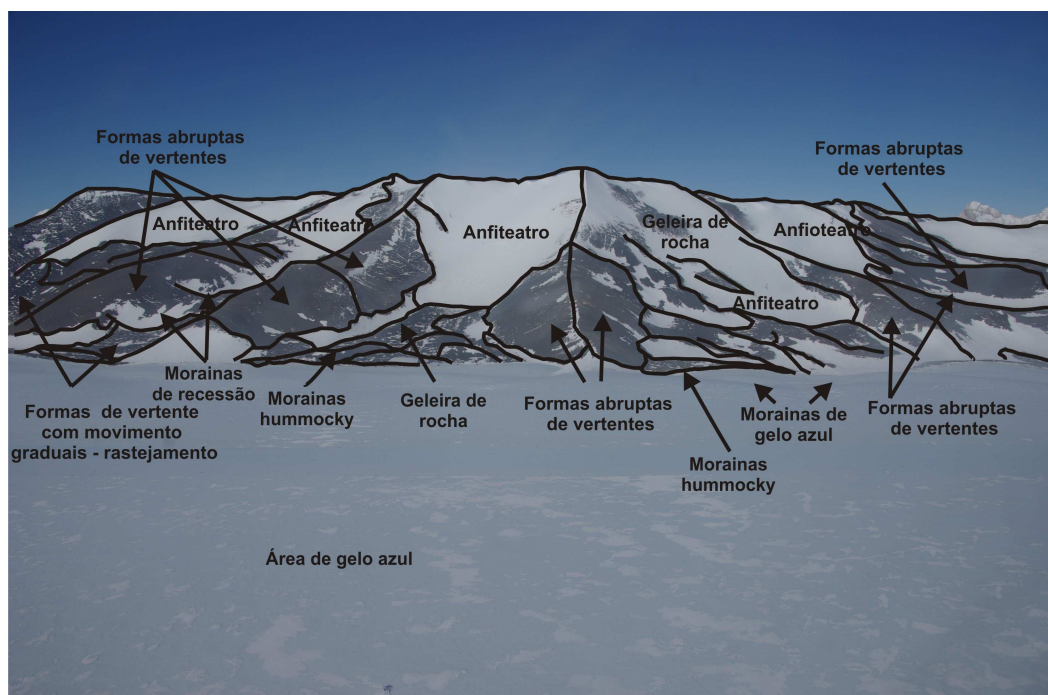


Figura 13 - Geleira de rocha e feições gelo-rocha nos montes Patriot, orientação da imagem vista em sentido NE (Fonte: CPC/UFRGS, 2009).

#### 4.2.1 Feições gelo-rocha

As feições gelo-rocha presentes nos montes Patriot podem ser classificadas em: (a) formas que apresentam movimento gradual em vertente; (b) formas abruptas em vertentes; (c) corrente de seixos. Algumas das formas são caracterizadas por partes frontais e/ou partes laterais abruptas comparadas a outras vertentes (Figura 13).

(a) Formas de vertentes com movimento gradual foram observadas na maioria dos vales nos montes Patriot. Ocorrem nas paredes dos vales e em outras vertentes de gradiente alto a baixo (Figura 14 d-e), podendo ser vista tanto na vertente inteira como em pequenas áreas. Embora não seja observado nenhum tipo de fluxo líquido, a deformação dessas formas, que se assemelha a partes frontais de pequenas geleiras de rocha, aponta para movimentos graduais, porém irregulares ao longo da encosta. No entanto, nessa latitude não há umidade nas camadas subsuperficiais. Portanto, outros agentes podem também ser responsáveis pelo movimento dos detritos nessas vertentes.

A área possui uma temperatura média anual de  $-30^{\circ}\text{C}$  (CASASSA *et al.*, 1998), mas o terreno pode sofrer alterações de temperatura como resultado da variação da radiação ou dos ventos. Em outras áreas do interior da Antártica, como nas montanhas Thiel, estudos sugeriram que movimentos de detritos seriam o resultado de contrações



do gelo subsuperficial, propiciando assim a formação de rampas de talude (FORD e ANDERSEN, 1967 *apud* BOCKHEIM e HALL, 2002).

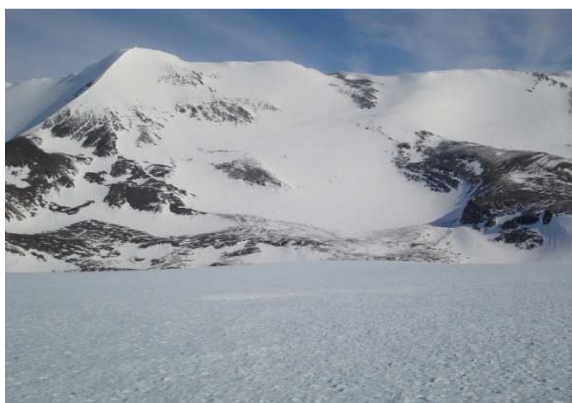
(b) As formas abruptas de vertentes ocorrem preferencialmente sobre as paredes laterais que separam os diversos vales dos montes Patriot. Apesar de ocuparem encostas com elevado gradiente, não foram observadas deformações indicativas de movimentos (Figura 14 f).

Nas montanhas Thiel, também localizadas no interior da Antártica, os estudos sugerem que os movimentos de massa resultam da contração do gelo em subsuperfície (FORD e ANDERSEN, 1967 *apud* BOCKHEIM e HALL, 2002).

(c) As correntes de seixos são encontradas em algumas das paredes laterais dos vales dos montes Patriot (Figura 14 h), onde há disponibilidade de material intemperizado (seixos e cascalhos).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

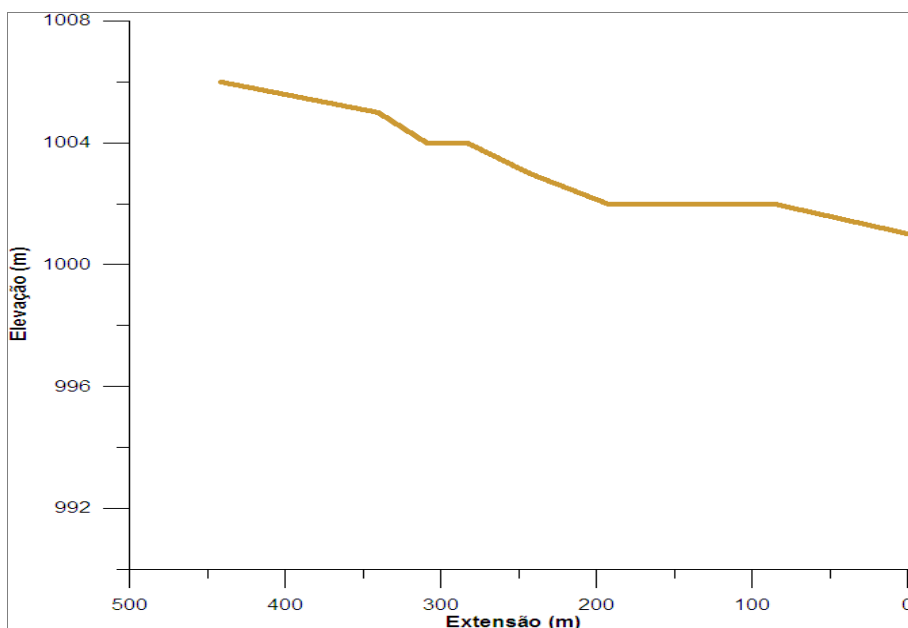
**Figura 14 - Feições gelo-rocha nos montes Patriot: (a) geleira de rocha de anfiteatro; (b) geleira de rocha de anfiteatro; (c) geleira de rocha de anfiteatro; (d) rastejamento; (e) geleira de rocha de anfiteatro e rastejamento de massa ; (f) vertente abrupta; (g) vertente abrupta; (h) corrente de seixos. (Fotos cedidas: Rosemary Vieira, CPC-2008/2009.)**

#### 4.2.2 Geleira de rocha

Características tipicamente atribuídas às geleiras de rochas, tais como feições lobadas com as partes frontais e laterais abruptas e a parte superior relativamente plana foram observadas em apenas um dos vales dos montes Patriot (Figura 13 e Figura 16 a-d). No entanto, geleiras de rochas menos desenvolvidas também foram observadas dentro de anfiteatros, tanto em vertentes como na base destes. (Figura 14 a-e, Figura 14 g).

A geleira de rocha de corpo mais alongado exibe a zona de anfiteatro com vertentes mais inclinadas nas partes mais elevadas, com gradual diminuição da inclinação à medida que se aproxima da cabeceira da geleira de rocha (Figura 16 a-b, Figura 16 d).

O corpo da geleira desenvolve-se no setor leste do vale e possui aproximadamente 450 m de extensão (Figura 15), e pode ser encontrado no vale com maior extensão longitudinal dos montes Patriot. A geleira de rocha é fortemente marcada pela presença de cristas e frente abrupta, com cobertura de detritos poucos selecionados (Figura 16 c) e cimentados pelo gelo. Superficialmente, o gelo é raramente visível excepcionalmente em alguns pontos de fusão expostos.



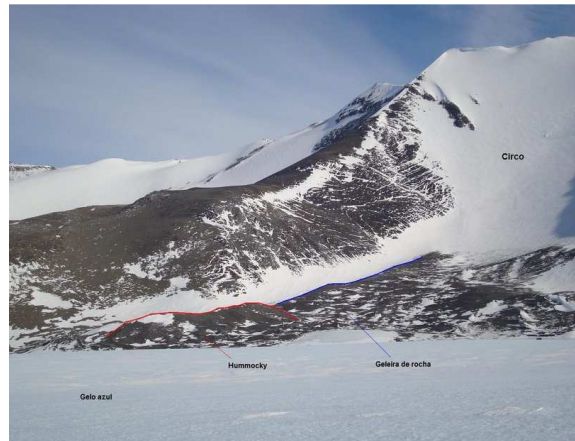
**Figura 15 - Perfil longitudinal da geleira de rocha. O gráfico apresenta o vale com maior extensão longitudinal dos montes Patriot, de aproximadamente 450 m.**

A parte frontal abrupta da geleira de rocha se comunica com um sistema de morainas com núcleo de gelo (*ice-core moraines*), que corresponde em seu conjunto a morainas do tipo *hummocky*. Tais feições são resultado de um processo genético distinto associado possivelmente a ablação diferencial; estas possuem o interior de gelo, pois a cobertura de detritos superficial retarda a fusão. As morainas *hummocky* encontram-se junto à zona de gelo azul e são intercaladas com poças congeladas - *frozen polls* (Figura 16 e).





(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 16 - (a) geleira de rocha de anfiteatro; (b) zona de contato entre a geleira de rocha e a moraina *hummocky*; (c) geleira de rocha e moraina com núcleo de gelo; (d) geleira de rocha de anfiteatro; (e) Sulcos e cristas em contato com *frozen pools* e gelo azul; ; (e) ponto de coleta de sedimentos sobre a geleira de rocha. (Fotos: Rosemary Vieira, CPC-2008/2009.)

Nessas áreas, devido à irregularidade das formas, parte do gelo fica exposta principalmente em seus flancos laterais. Foi observada fusão em pontos de contato entre

a neve e o gelo com rochas ou fragmentos de rocha devido à maior absorção por parte destes da radiação solar (Figura 16 d-e).

O manto de detritos na superfície da geleira de rocha possui clastos não selecionados, predominando os angulosos e muito angulosos. Nas camadas inferiores já podem ser observados clastos de granulometria média a fina, devido possivelmente à percolação e meteorização por eventuais eventos de fusão ou pelo próprio movimento da geleira. A cobertura de detritos varia de 6 cm na parte mais interna a 13 cm de espessura na sua parte frontal (Figura 16 f). A espessura superficial de detritos aumenta levemente em direção a parte frontal, o que pode ser explicado pelo rastejamento superficial em relação ao núcleo de gelo provocado pelo deslocamento da geleira de rocha.

Não existem dados sobre a velocidade de gelo da geleira de rocha, mas características morfológicas e sedimentares, tais como frente abrupta, sulcos, sedimentos finos subjacentes às camadas superficiais de detritos grossos e a maior espessura de detritos da parte frontal, apontam para a atividade da geleira.

Tipicamente, as geleiras de rocha ativas consistem de material não selecionado na superfície e de material mais fino na parte inferior. A espessura da camada de detritos aumenta em direção à parte frontal da geleira de rocha, pois o material é continuamente adicionado à base do *till* de sublimação oriundo das paredes rochosas do vale (HUMLUM, 2000). A geleira de rocha nos montes Patriot apresentam essas características. No entanto, morainas de núcleos de gelo ou morainas *hummocky* ocorrem em proximidade com a geleira de rocha, especialmente em sua parte frontal, onde o contato muito próximo parece indicar a gradação de uma forma para outra, podendo restringir assim o avanço da geleira de rocha (Figura 16 b). Portanto, o deslizamento basal da geleira de rocha pode ser ínfimo nas temperaturas baixas dos montes Patriot. No vale Beacon – Vales Secos, foi calculada a velocidade de 0,15-0,30 mm/ano (RIGNOT *et al.*, 2002).

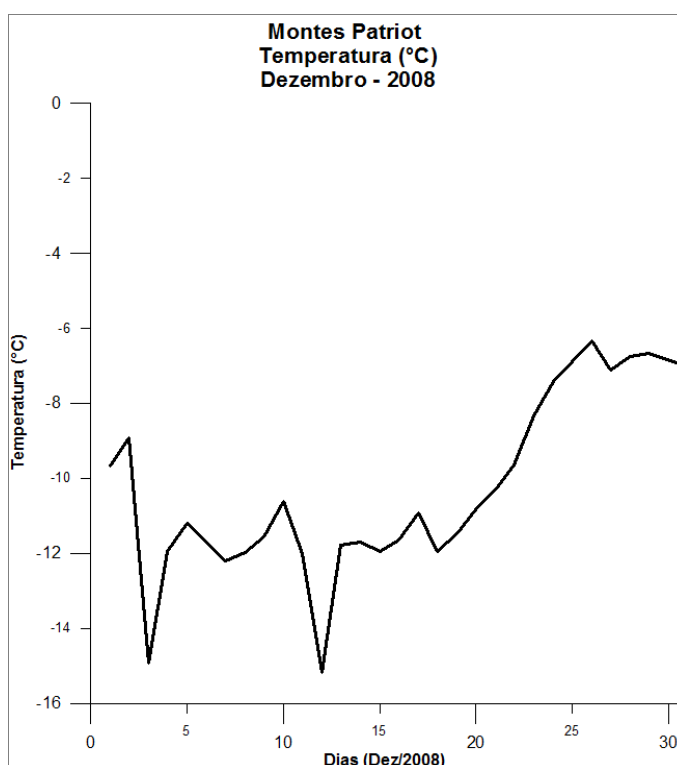
Essa associação geomorfológica entre geleiras de rocha e morainas de núcleos de gelo já foi observada em outras localidades, como na ilha Disko, oeste da Groenlândia (HUMLUM, 2000) e no vale Beacon – Vales Secos (Antártica) (RIGNOT *et al.*, 2002).

#### 4.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS NA REGIÃO DOS MONTES PATRIOT

Informações sobre precipitação na região dos montes Patriot são desconhecidas. Segundo Casassa *et al.*, (1998), a presença das montanhas exerce forte influência no padrão de acumulação local, provavelmente pela divergência do fluxo de neve produzida

pelo vento, o que resulta em acumulação reduzida. A acumulação aumenta com a distância das montanhas e a ablação ocorre na área de gelo azul.

De acordo com os dados disponibilizados (ver Anexo), foi verificado que a média da temperatura diária para o mês de dezembro de 2008 foi de  $-10,4^{\circ}\text{C}$ . A temperatura máxima registrada ocorreu no dia 26 às 3h 40min e atingiu  $-5,1^{\circ}\text{C}$  e a mínima foi no dia 03 entre 21h e 22h e atingiu  $-17,6^{\circ}\text{C}$ . Conforme mostra o gráfico (Figura 17), a temperatura aumentou ao final do mês dezembro.



**Figura 17 - Distribuição da temperatura média diária em dezembro de 2008.**

A região apresentou, em dezembro de 2008, umidade relativa média de 62,7%. Estes valores oscilaram entre 40% e 81% e não apresentam relação quando comparados à temperatura (Figura 18).

Foi calculado para a região do Vale Beacon (Vales Secos – Antártica) que um núcleo de gelo estável, coberto por detritos sem ganho neto ou perda de gelo durante o verão, é alcançado com qualquer uma das seguintes mudanças: queda da temperatura atmosférica de  $-5^{\circ}\text{C}$ , elevação da umidade relativa de 22% (KOWALEWSKI *et al.*, 2006).

HAEBERLI (1985) sugeriu que geleiras de rocha com núcleo de gelo ocorrem com temperatura atmosférica entre 1.0°C e -10°C. Observações das características termais das camadas ativas de geleiras de rocha na Groenlândia sugerem que as geleiras de rocha ocorrem em zonas com baixa precipitação de neve (HUMMLUM, 1997).

Os dados meteorológicos das proximidades dos montes Patriot poderiam indicar, portanto, condições climáticas propícias para o desenvolvimento e sustentação de geleiras de rochas e de outras feições gelo-rocha.

Entretanto, poucos dados meteorológicos da região dos montes Patriot estão disponíveis e publicados. Algumas informações climáticas relacionadas a geleiras de rochas podem ser extraídas da literatura. Em Humlum (1998b), pode ser verificado que na Groenlândia ocidental, temperaturas atmosféricas médias em zonas de geleiras de rocha ocorrem entre -7.8°C a -12.8°C; no norte da Islândia, com temperaturas médias de -1.8°C; no norte da Islândia, com -1°C e, no Alasca, com -2°C.

Para averiguar um desenvolvimento correspondente nos montes Patriot, seriam necessários cálculos da série de dados climáticos de um período mais representativo, e não apenas de um mês (ver Anexo).

O vento tem direção predominante do quadrante sudoeste seguido de sudeste, (Figura 19) o que indica sua procedência das altitudes mais elevadas do platô polar. Deve-se considerar a ocorrência de ventos de sudoeste nos eventos de menores temperaturas médias em dezembro (-6,3°C com direção do vento de 198°, -6,7°C com direção do vento de 202°, -6,7°C com direção do vento de 204°). Entretanto, estes dados constituem uma observação pontual, e seria necessária maior periodicidade dos dados para um resultado mais aprofundado.

A temperatura associada à velocidade do vento apresenta ocorrência de temperaturas mais baixas em dias de ventos mais fortes que a média (8,8 m/s) e a maioria dos dias nas quais as temperaturas estavam mais elevadas predominaram os ventos com velocidade menor (Figura 20).

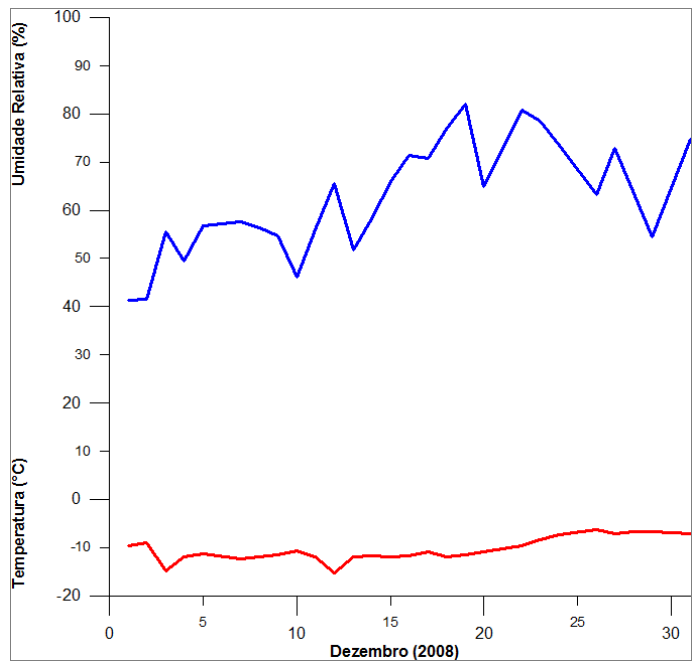


Figura 18 - Distribuição da temperatura média diária e umidade relativa em dezembro de 2008.

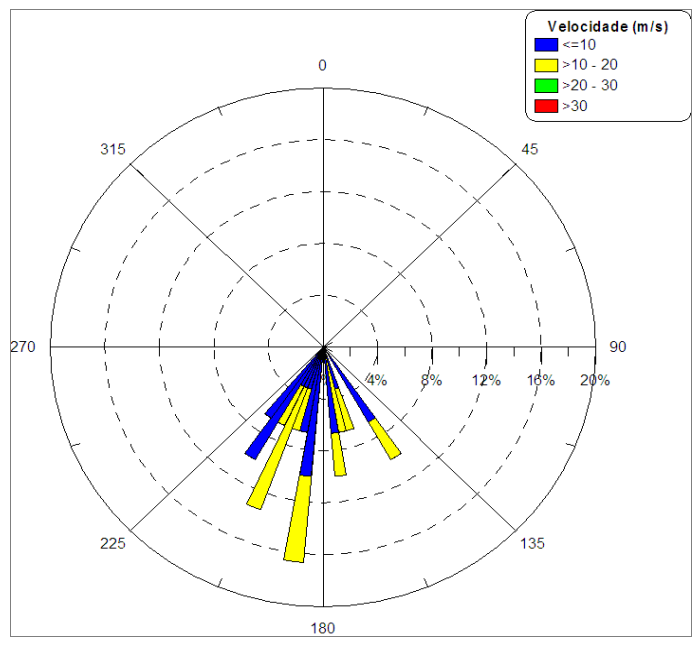
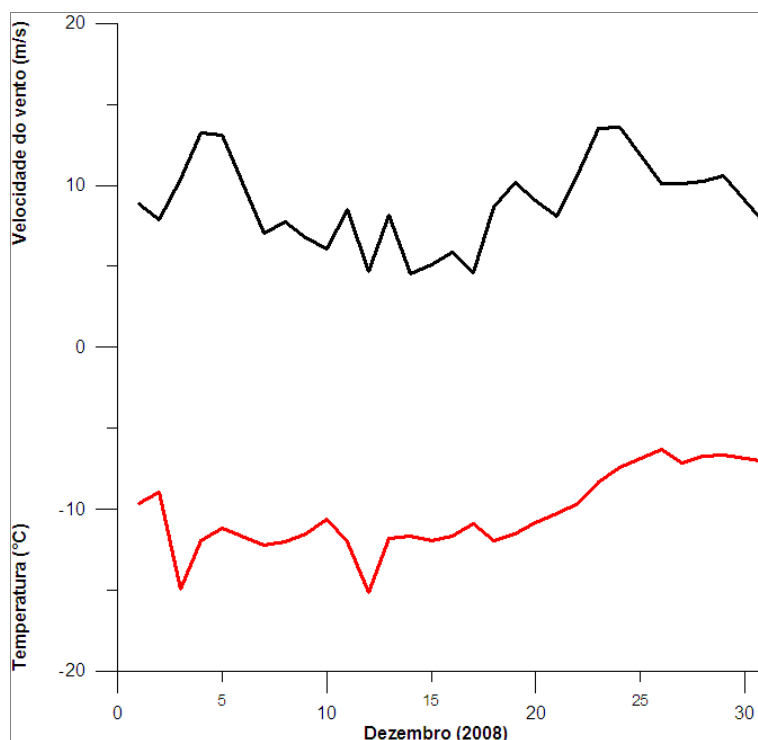


Figura 19 - Direção e velocidade do vento em dezembro de 2008.





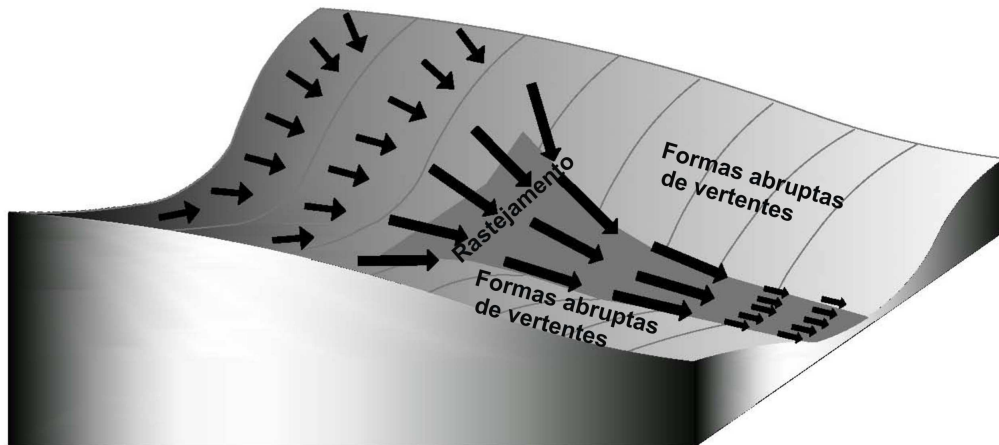
**Figura 20 - Distribuição da temperatura média diária e velocidade do vento em dezembro de 2008.**

O vento parece exercer importante papel na geomorfologia local. Ventos fortes e constantes, originários do platô polar (Figura 19) operam durante todo ano ao longo do eixo longitudinal dos vales dos montes Patriot e são responsáveis pelo processo predominante de ablação local por sublimação e pela formação das áreas de gelo azul (BIRTANJA, 1999).

A presença de formas de vertentes com movimento gradual ou rastejamento (Figura 14 d-e) corresponde a uma disposição a sotavento dos montes Patriot com relação aos ventos descendentes do platô polar. Por outro lado, as formas de vertentes abruptas, embora ocupem encostas com maior declividade das paredes entre os vales, não indicam deformação, portanto, o deslocamento é muito mais lento e menos perceptível. Isso porque os depósitos estão dispostos paralelamente aos ventos (Figura 14 f).

É proposto que condições topográficas relacionadas a fatores climáticos influenciam, na região dos montes Patriot a presença e a distribuição das feições gelo-rocha e das geleiras de rocha. Grande parte das formas observadas em campo está orientada para os quadrantes noroeste-norte-nordeste, a sotavento da barreira

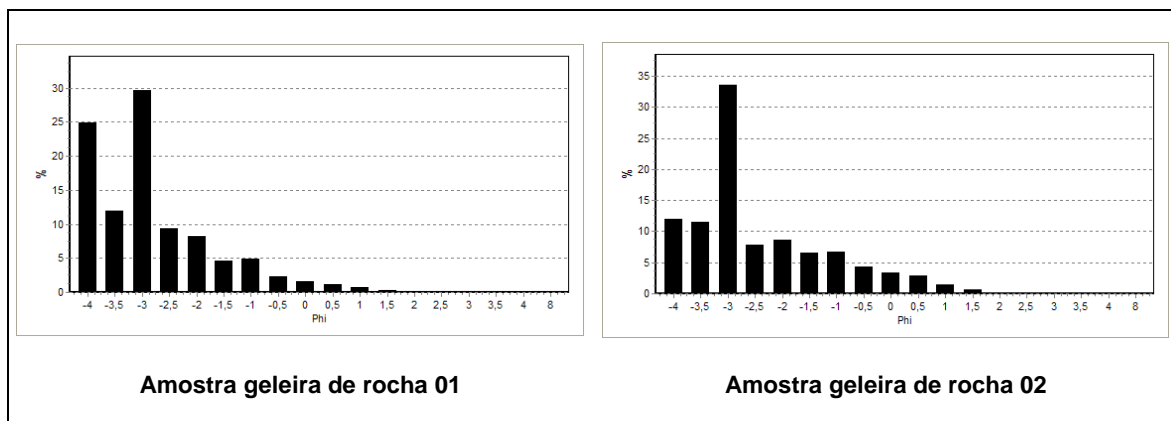
topográfica, representada pelos montes Patriot. As zonas de sombra criadas pela configuração dos vales também podem favorecer a efetividade dos processos (Figura 21).



**Figura 21 - Esquema representando o deslocamento do vento e a localização a sotavento das formas de vertente de rastejamento e das formas abruptas de vertentes.**

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARES NOS MONTES PATRIOT

As amostras foram coletadas em 7 diferentes pontos nos montes Patriot e distribuídas entre 18 classes de sedimentos adotando a escala  $\phi$  (Figura 22).



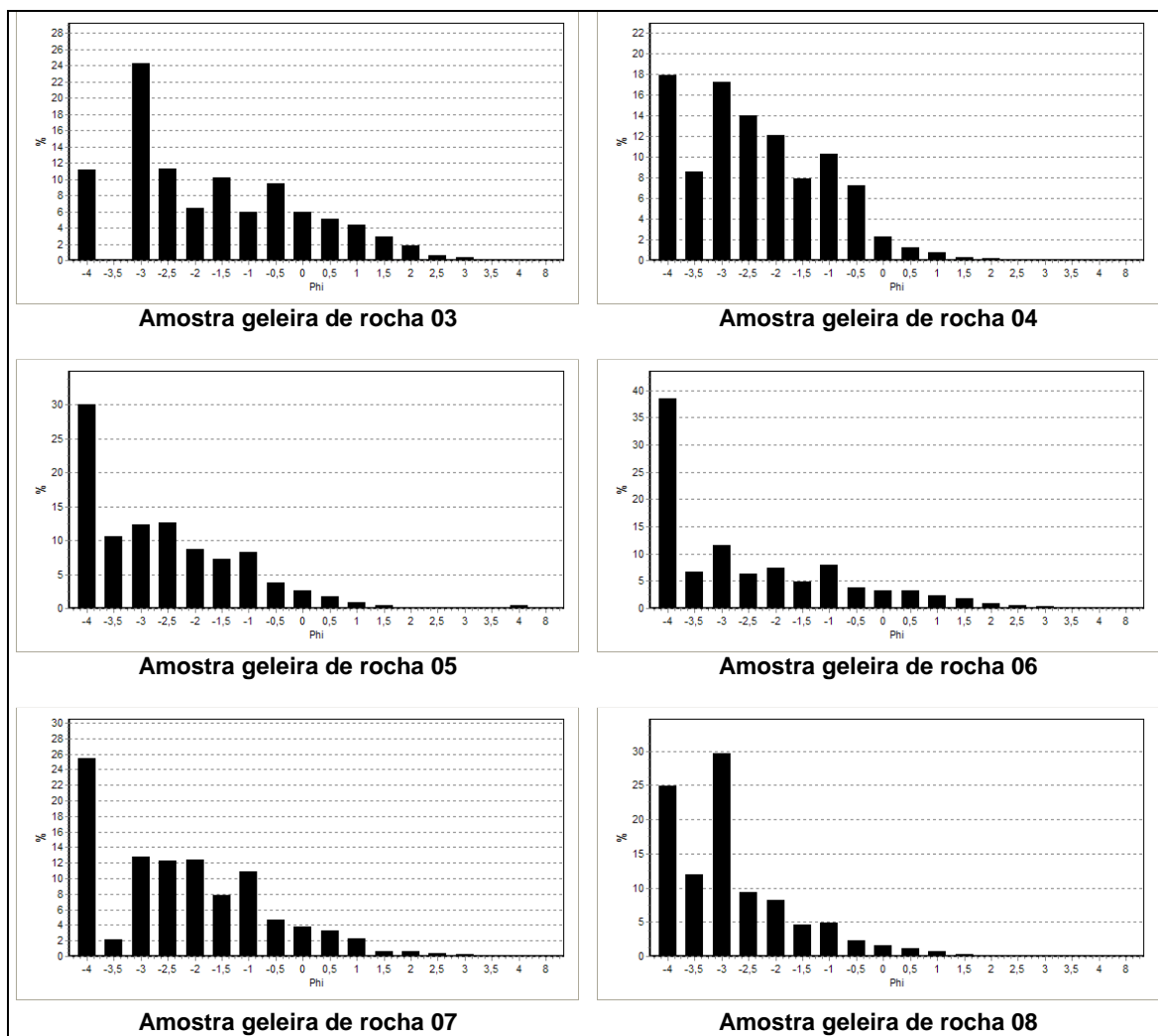
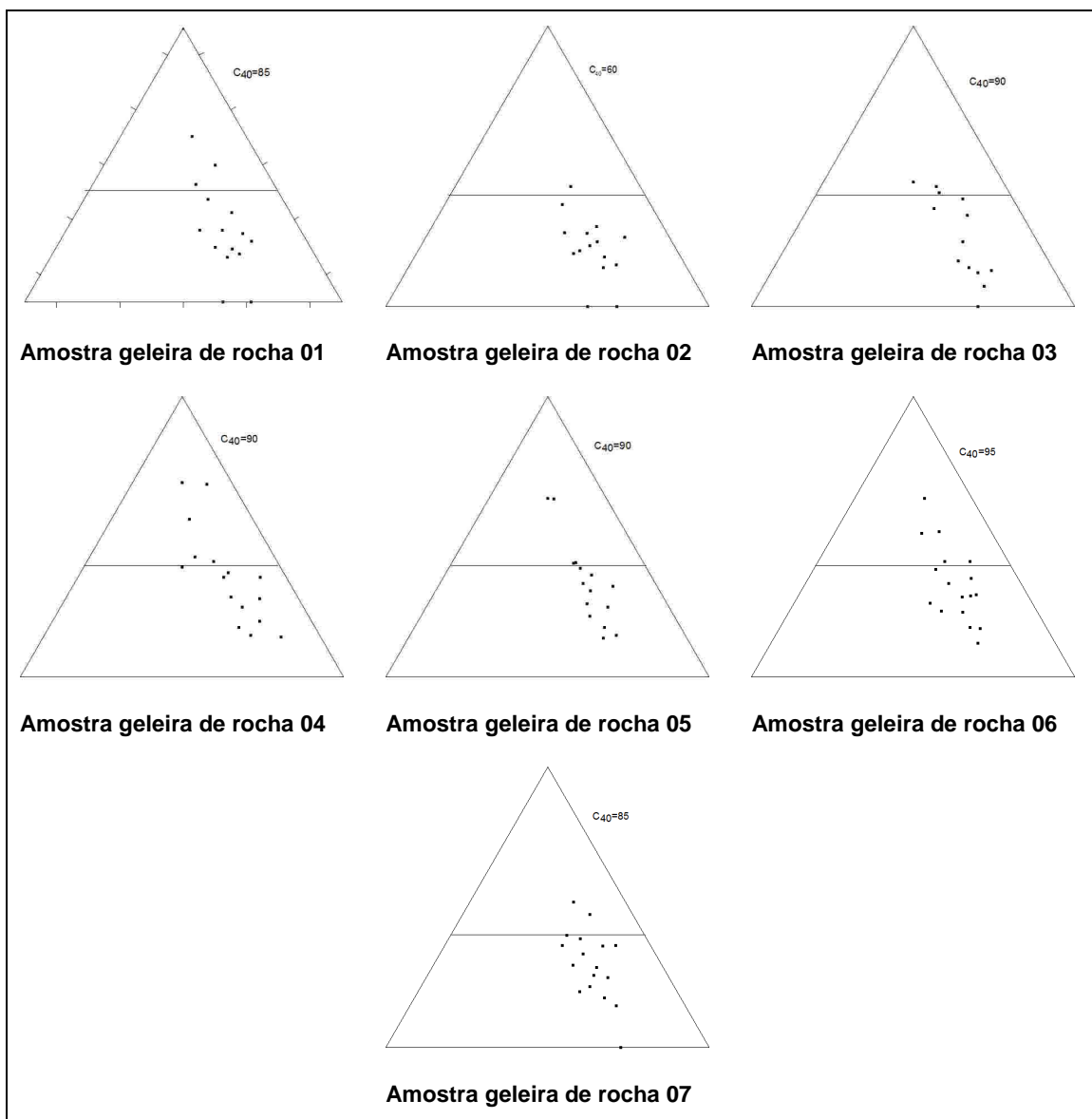


Figura 22 - Histogramas de análise granulométrica elaborados do *software Grapher*.

O resultado dos histogramas apresenta amostras bimodais e multimodais, predominando sedimentos do tipo seixo ( $> -2$ ) seguido de grânulos ( $> -1$ ) e areia muito grossa ( $> 0$ ). O tamanho dos sedimentos reflete a baixa taxa de transporte dos mesmos e a ausência de processos erosivos pela ação glacial.

O alto índice RA dos 7 clastos apresentados nos gráficos (Figura 23) indica baixo grau de arredondamento dos grãos, predominando os clastos angulosos. Os resultados mostram que a maioria dos grãos possui raio  $c/a$  menor que 0,4, o que indica o transporte passivo dos detritos.



**Figura 23 - Gráficos ternários elaborados no programa Grapher.**

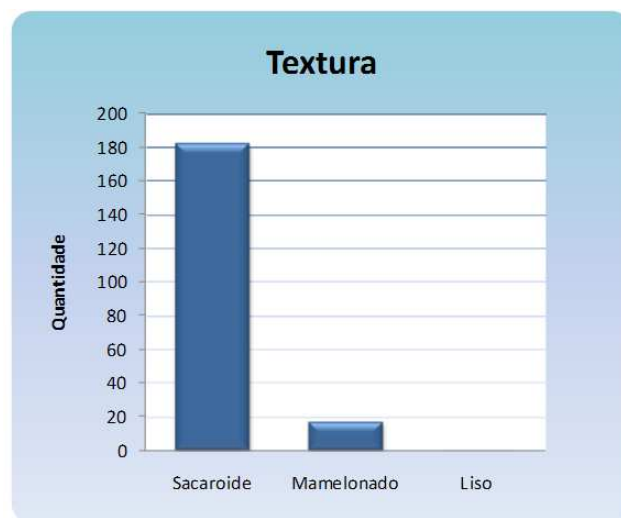
O manto de detritos na superfície da geleira de rocha possui clastos não selecionados, predominando os angulosos e muito angulosos. Nas camadas inferiores já podem ser observados clastos de granulometria média a fina, devido possivelmente à percolação e meteorização pelos raros eventos de água de fusão e também pelo próprio deslocamento da geleira de rocha.

A amostra apresentou predominância de grãos subangulares, característicos da recente fragmentação dos detritos, e que não sofreu esfoliação suficiente pela ação do intemperismo físico característico da ação do gelo (Figura 24).



**Figura 24 - Grau de arredondamento dos sedimentos dos montes Patriot.**

Em relação à textura das amostras dos montes Patriot, predominam os grãos sacaróides, com superfícies irregulares e arestas agudas, caracterizando a amostra como unimodal (Figura 25). Os grãos apresentaram superfície fosca, resultante da ausência de transporte em que o agente tenha sido a água ou gelo.



**Figura 25 - Textura superficial dos sedimentos dos montes Patriot.**

Em relação à esfericidade (Figura 26), a amostra bimodal indica esfericidade predominantemente pobre seguida de média, mais uma característica que atesta a ausência de transporte ativo dos sedimentos.



**Figura 26 - Grau de esfericidade dos sedimentos dos montes Patriot.**

A importância de se analisar as características sedimentares está no papel exercido pela camada superficial de detritos não selecionados, que opera como um isolante térmico entre a atmosfera e o núcleo interior congelado.

De acordo com HUMLUM (1997), durante os eventos de baixa velocidade do vento e de pouca ou nenhuma cobertura de neve, o ar frio penetra na camada ativa devido à diferença de densidades, deslocando o ar mais aquecido. Em contraste, o ar aquecido tende a permanecer na superfície da geleira de rocha, sem a tendência de penetrar na camada ativa. Nessa situação, aquecimento na parte inferior da camada ativa é lento, pois a transferência de calor é somente por condução, enquanto o resfriamento pode ocorrer mais rapidamente, usando processos de condução e de não-condução. Conseqüentemente, quando a velocidade do vento é mais baixa e a cobertura de neve é pouco espessa ou ausente, a superfície de detritos atua aparentemente como um filtro térmico, isolando-a contra o efeito do aquecimento superficial, mas transmitindo o efeito do resfriamento superficial. Essa situação favorece a sustentação do núcleo congelado das geleiras de rocha. Entretanto, ventos mais fortes podem alterar esse padrão e conduzir o ar mais aquecido da superfície para dentro da camada ativa, deslocando o ar mais frio e denso. Quando isso acontece o efeito térmico de aquecimento da superfície, assim como de resfriamento, pode ser rapidamente transmitido por toda a camada ativa.

Por outro lado, se a geleira de rocha é coberta por camadas espessas de neve, a superfície de detritos também atua como um filtro térmico, insulando-a contra o efeito de resfriamento da superfície.

Portanto, a superfície de detritos atua como filtro térmico, protegendo o núcleo de gelo quando a cobertura de neve é ausente ou fina ou quando a cobertura de neve é espessa.

A sublimação do gelo diminui com o aumento da espessura de detritos (SCHAEFER *et al.*, 2000 *apud* KOWALEWSKI *et al.*, 2006). Nos montes Patriot a sublimação é o principal mecanismo de ablação. Deste modo, a disponibilidade de detritos para a acumulação sobre a geleira de rocha e as feições gelo-rocha, proporcionada pelas paredes laterais dos vales, aumenta a tendência de preservação do núcleo de gelo.

Ademais, com o aumento do deslocamento desse material disponível, as geleiras de rocha e as feições gelo-rocha transformam-se em importantes agentes de transporte de detritos dentro do sistema montanhoso.

## 5 CONCLUSÃO

---

Apesar dos fatores climáticos exercerem influência sobre a formação e distribuição das geleiras de rochas e de outras feições gelo-rocha, em áreas onde não há variações climáticas significativas, como no interior da Antártica, fatores locais, como estrutura e litologia, assim como a morfologia do vale e a topografia, também podem atuar como controladores no desenvolvimento e manutenção dessas formas.

As feições gelo-rocha presentes nos montes Patriot podem ser classificadas em: (a) formas que apresentam movimento gradual em vertente; (b) formas abruptas em vertentes; (c) corrente de seixos. Para uma classificação mais detalhada, seguindo os critérios de Millar e Westfall (2007), novos dados e de novas observações em campo devem ser feitas. Os resultados obtidos através das amostras de sedimentos confirmam a atividade da geleira de rocha e seu movimento passivo, ainda que ínfimo.

É proposto que condições topográficas relacionadas a fatores climáticos influenciam, na região dos montes Patriot, a presença, a distribuição espacial e a classificação das diversas feições gelo-rocha e das geleiras de rocha. Os ventos oriundos dos quadrantes sudoeste-sudeste atuam intensa e constantemente sobre a área, produzindo ablação por sublimação. No entanto, a presença dos montes Patriot e sua configuração topográfica, subdividida em diversos vales, criaram condições favoráveis ao desenvolvimento e preservação de um conjunto de feições, que podem ser importantes no entendimento da complexa história glacial da região.

### 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Existe a necessidade de trabalhos futuros que incluam a produção de dados sistemáticos de condições climáticas e da dinâmica da geleira e das feições gelo-rocha. Isso significa a instalação de sensores (umidade relativa, radiação solar, temperatura) ao longo da superfície da geleira de rocha e em perfis verticais, em direção a camada de gelo subjacente.

As geleiras de rocha e as feições gelo-rocha possuem grande potencial como arquivo de dados sobre mudanças climáticas em larga escala temporal. A questão consiste em descobrir se a cobertura de detritos pode manter o núcleo de gelo por milhares ou milhões de anos, ou se a sublimação, que é predominante nos montes



Patriot, pode remover os traços do gelo glacial durante essa escala de tempo. Além disso, a espessura do núcleo de gelo ainda não é conhecida, nem os detritos englaciais, o que requer a aplicação de métodos geofísicos.

Sugere-se também o emprego de modernas técnicas aerofotogramétricas com imagens aéreas de alta resolução para documentar velocidades superficiais. Estes dados não são facilmente produzidos e disponibilizados, especialmente para o continente antártico.

Por outro lado, a técnica do InSAR (*Interferometric Synthetic-Aperture Radar*) pode suprir parcialmente esta demanda, pois pode fornecer valores de velocidade superficial em escala de milímetros e com alta resolução espacial. Com o cálculo aproximado da velocidade da geleira de rocha e de sua extensão, pode-se inferir o tempo tomado pela geleira para descer até a sua atual parte frontal.

A importância desta pesquisa e o objetivo principal da aplicação destes métodos é verificar a presença de feições gelo-rocha e geleiras de rocha nos montes Patriot, bem como sua formação, distribuição espacial e classificação geomorfológica aperfeiçoada e com metodologia própria. Os montes Patriot constituem uma pequena e importante amostragem que pode servir de parâmetro e ser expandida para outras áreas, inicialmente os montes Independence e Marble, na cadeia Heritage, servindo posteriormente de base para muitos outros estudos.

## 6 REFERÊNCIAS

---

- André, M.F., 1994. Rock glaciers in central and north western Spitsbergen. Review of Geomorphology Dynamics, 41 (2), p.47-63.
- Angillieri, M.Y.E., 2008. A preliminary inventory of rock glaciers at 30°S latitude, Cordillera Frontal of San Juan, Argentina. Quaternary International, 195, p. 151-157.
- Aoyama, M., 2005. Rock glaciers in the northern Japanese Alps: palaeoenvironmental implications since the Late Glacial. Journal of Quaternary Science, 20, p.471-484.
- Arenson, L., Hoelzle, M., Springman, S., 2002. Borehole deformation measurements and internal structure of some rock glaciers in Switzerland. Permafrost and Periglacial Processes, 13 (2), p. 117-135.
- Ballantyne, C.K. Harris, C., 1994. The Periglaciation of Great Britain. Cambridge University Press, Cambridge, 330p.
- Baroni, C., Carton, A., Seppi, R., 2004: Distribution and behavior of rock glaciers in Adamello-Presanella Massif (Italian Alps). Permafrost and Periglacial Processes, 15, p. 243-259.
- Barsch, D., 1977. Nature and importance of mass-wasting by rock glaciers in alpine permafrost environments. Earth Surface Processes, 2, p. 231-245.
- Barsch, D., 1988. Rockglaciers. *In*: Clark, M.J. (Ed), Advances in Periglacial Geomorphology. Wiley, p. 69-90.
- Barsch, D., 1996. Rock Glaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments. Springer, Berlin, 331p.
- Barsch, D., Blümel W.D., Flügel W.A., Mäusbacher R., Stäblein G., Zick W., 1985. Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel, Südshetlandinseln, Antarktika. Berichte zu Polarforschung, p. 74-75.
- Barsch, D., 1987. The problem of the ice-covered rock glacier. In Giardino, J.R., Shroder, J.F. and Vitek, J.D. (eds), Rock Glaciers. Allen & Unwin, London, p. 45-53.
- Benn D.I., Ballantyne C.K., 1994. Reconstructing the transport history of glaciogenic sediments – a new approach based on the covariance of clast form indices. Sedimentary Geology 91 (1-4), p. 215-227.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A., 1998. Glaciers & Glaciation. Arnold, London, 734 p.
- Bennett, M.R., Hambrey, M.J., Huddart, D. 1997. Modification of clast shape in high-arctic glacial environments. Journal of Sedimentary Research, 67, 550-559.
- Berthling I., Etzelmüller, B., Eiken, T., Sollid, J.L., 1998. Rock glaciers on Prins Karls Forland, Svalbard. I: internal structure, flow velocity and morphology. Permafrost and Periglacial Processes, 9, p.135-145.
- Bigarella, J.J., 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. Arquivos Biologia Tecnologia, 1, p. 75-11.
- Birnie, R.V., Thom, G., 1982. Preliminary observations on two rock glaciers in South Georgia, Falkland Islands Dependencies. Journal of Glaciology, 28, p. 377-386.
- Birtanja, R., 1999. On the glaciological, meteorological and climatological significance of Antarctic blue ice areas. Reviews of Geophysics, 37 (3), p. 337-359.

- Bockheim, J.G., Hall, K.J., 2002. Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica. *South African Journal of Science*, 98, p. 83-90.
- Brenning, A., 2005. Geomorphological, hydrological, and climatic significance of rock glaciers in the Andes of Central Chile (33–35 S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 16, p. 231-240.
- Burger, K.C., Degenhardt Jr., J.J., Giardino, J.R., 1999. Engineering geomorphology of rock glaciers. *Geomorphology*, 31, p. 93-132.
- Carrasco, J.F., Casassa, G. e Rivera, A., 2000. A warm event at Patriot Hills, Antarctica: an ENSO related phenomenon? In Carrasco, Casassa, G. e Rivera, A.(Eds). Sixth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 3-7 April, 2000, Santiago, Chile. Proceedings. Boston, American Meteorological Society, 240-241.
- Casassa, G., Brecher, H.H., Cárdenas, C., Rivera, A., 1998. Mass balance of the Antarctic ice sheet at Patriot Hills. *Annals of Glaciology*, 27, p. 130-134.
- Ciu Zhijui, 1983. On rock glaciers of Kunlun Shan type. In Proceedings of the Second National Chinese Conference on Permafrost, Science Press, Beijing, p. 65-74.
- Clark, D.H., Clark, M.M., Gillespie, A.R., 1994. Debris covered glaciers in the Sierra Nevada, California, and their implications for snowline reconstructions. *Quaternary Research*, 41, p. 139-153.
- Corte, A.E., 1976. Rock glaciers. *Biul. Peryglacjalny*, 26, p. 175-197.
- Corte, A.E., 1987. Rock glacier taxonomy. *In: Giardino, J.R., Schroder, J.F. Jr., Vitek, J.D. (Eds), Rock Glaciers*. Allen and Unwin, London, p. 27-39.
- Craddock, C., Anderson, J.J., Webbers, G.F., 1964. Geologic outline of the Ellsworth Mountains, in Adie, R.J. (eds), *Antarctic Geology: Amsterdam, North-Holland*, 155-170.
- Croce, F.A., Milana, J.P., 2002. Internal structure and behaviour of a rock glacier in the Arid Andes of Argentina. *Permafrost and Periglacial Processes*, 13 (4), p. 289-299.
- Dalziel, I.W.D., Lawer, L.A., 2001. The lithospheric setting of the West Antarctic ice Sheet, *in: Alley, R.B., Bindshadler, R.A., The West Antarctic Ice Sheet: Behaviour and Environment*. Antarctic Research Series: Wuasshington, DC. American geophysical Union, Vol. 77, p. 29-44.
- Denton, G. H., Bockheim, J. G., Rutford, R. H., Andersen, B.G., 1992. Glacial history of Ellsworth Mountains, West Antarctica, in Webers, G.F., Craddock, C., Splettstoesser, J.F., (Eds), *Geology and Paleontology of the Ellsworth mountains, West Antarctica: Boulder, Colorado, Geological Society of America Memoir 170*.
- Evans, D.J.A., 1993. High-latitude rock glaciers: a case study of form and processes in the Canadian Arctic. *Permafrost and Periglacial Processes*, 4, p.17-35.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Petrol Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal Sedimentology*, 3 (27), p. 3-26.
- Ford A.B. and Andersen B.J. 1967. Sorted talus aprons and the movement of debris in Antarctica by repeated thermal contraction and rupture of underlying ice. *J. Geol.* 72, 722–732.
- Frauenfelder, R., 2004. Regional-scale Modeling of the Occurrence and Dynamics of Rockglaciers and the Distribution of Paleopermafrost. Dissertation zur Erlangung der

naturwissenschaftlichen Doktorwürde (Dr. sc. nat.) Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich.

- Frauenfelder, R., Käab, A., 2000. Towards a palaeoclimatic model of rock-glacier formation in the Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 31, p. 281-286.
- Giardino, J.R., 1979. Rock glacier mechanics and chronologies: Mount Mestas, Colorado; unpublished PhD Dissertation, University of Nebraska, Lincoln, NE, 244 p.
- Giardino, J.R., Vick, S.G., 1987. Geologic engineering aspects of rock glaciers. In: Giardino, J.R., Shroder, J.F. Jr., Vitek, J.D. (Eds), *Rock Glaciers*. Allen and Unwin, London, p. 265-287.
- Giardino, J.R., Vitek, J.D., 1988. The significance of rock glaciers in the glacial-periglacial landscape continuum. *Journal of Quaternary Science*, 3, p. 97-103.
- Gorbunov, A.P., 1983. Rock glaciers in the mountains of Middle Asia. *Permafrost: Fourth International Conf. Proc. National Academy Press, Washington, DC*, p. 359-362.
- Gordon, J.E., Birnie, R.V., 1986. Production and transfer of subaerially generated rock debris and resulting landforms on South Georgia: an introductory perspective. *British Antarctic Survey Bulletin* 72, p. 25-46.
- Graham, D.J.; Midgley, N.G., 2000. Graphical representation of particle shape using Triangular diagrams: in Excel spreadsheet method. *Earth Surface processes and Landforms*, 25, p. 1473-1477.
- Graham, D.J., Midgley, N.G., 2000. Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: an excel spreadsheet method. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, p.1473-1477.
- Griffey, N., Whalley, W.B., 1979. A rock glacier and moraine complex, Lyngen Peninsula, north Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 33, p. 117-124.
- Guglielmi, M., Biasini, A., Smiraglia, C., 1997. The contribution of geoelectrical investigations in the analysis of periglacial and glacial landforms in ice free areas of the Northern Foothills (northern Victoria Land, Antarctica). *Geograf. Annal. (Ser. A)* 79, p. 17-24
- Haeberli, W., 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers: *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Nr. 77, Zurich, 142 p.
- Hambrey, M., 1994. *Glacial Environments*. London: UCL Press, 296 p.
- Hamilton, S.J., Whalley, W.B., 1995. Rock glacier nomenclature: a reassessment. *Geomorphology*, 14, p. 73-80.
- Hoelzle, M., Wagner, S., Käab, A. Vonder, M.D., 1998. Surface movement and internal deformation of ice-rock mixtures within rock glaciers at Pontresina-Schafberg, Upper Engadin, Switzerland. 7th International Conference on Permafrost (Yellowknife, 23–27. June 1998), *Collection Nordicana* 57, p. 465-471. Centre d' études nordiques, Université Laval, Québec.
- Hubbard, B., Glasser, N., 2005. *Field Techniques in glaciology and glacial geomorphology*. Londres, John Wiley & Sons Ltd, 400 p.
- Humlum, O., 1997. Active layer thermal regime at three rock glaciers in Greenland. *Permafrost and Periglacial Processes*, 8, p. 383-408.
- Humlum O., 1998a. The climatic significance of rock glaciers. *Permafrost and Periglacial Processes*, 9, p.375-395.

- Humlum, O., 1998b. Rock glaciers on the Faeroe Islands, the north Atlantic. *Journal of Quaternary Science*, 13-4., p. 293-307.
- Humlum, O., 2000. The Geomorphic Significance of Rock Glaciers: estimates of rock glacier debris volumes and headwall recession rates in W Greenland. *Geomorphology*, 35, p.41-67.
- Johnson, P.G. 1980a. Glacier-rock glacier transition in the southwest Yukon Territory, Canada. *Arctic and Alpine Research*, 12, p.195-204.
- Johnson, P.G. 1980b. Rock glaciers: glacial and non-glacial origins, *International Association of Scientific Hydrology, Publication 126*, p.285-293.
- Johnson, P.G., 1983. Rock glaciers: A case for change in nomenclature. *Geografiska Annaler*, 65A, p. 27-34.
- Johnson, P.G., 1987. Rock glacier: glacier debris systems of high magnitude, low frequency flows. In: J.R. Giardino, J.F. Shroder Jr., and J.D. Vitek, (Eds), *Rock Glaciers*. Allen and Unwin, London, p. 175-192.
- Kirkbride, M.P., Brazier, V., 1995. On the sensitivity of Holocene talus-derived rock glaciers to climate change in the Ben Ohau Range, Southern Alps, New Zealand. *Journal of Quaternary Science*, 10 (4), p. 353-365.
- Kowaleswki, D.E., Marchant, D.R., Levy, J.S., Head, J.W., 2006. Quantifying low rates of summertime sublimation for buried glacier ice in Beacon Valley, Antarctica. *Antarctic Science* 18(3), p. 421-428.
- Krumbein, W.C., 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 11, p. 64-72.
- Lewis, D.W., Mcconchie, D., 1994. *Analytical sedimentology*. New York: Chapman & Hall, 197p.
- Martin, H.E., Whalley, W.B., 1987. Rock glaciers. Part 1: rock glacier morphology, classification, and distribution. *Progress in Physical Geography*, 11, p. 260-282.
- Mayewski P.A., 1979. Glaciology and glacio-geomorphology in Victoria Land and Queen Maud Mountains. *Antarctic Journal of the United States* 14, 53p.
- Mayewski P.A., Hassinger J., 1980. Characteristics and significance of rock glaciers *in* southern Victoria Land. *Antarctic Journal of the United States*, 15, p. 68-69.
- Millar, C.I., Westfall, R.D., 2007. Rock glaciers and related periglacial landforms in the Sierra Nevada, CA, USA; inventory, distribution and climatic relationships. *Quaternary International* 188, p. 90-104.
- Outcalt, S.E., Benedict, J.B., 1965. Photointerpretation of two types of rock glaciers in the Colorado Front Range, U.S.A. *Journal of Glaciology*, 5 (42), p. 849-856.
- Potter, N., 1972. Ice-cored rock glacier, Galena Creek, Northern Absaroka Mountains. Wyoming. *Geological Society of America Bulletin* 83, p. 3025-3058.
- Rignot, E., Hallet, B, Fountain, A., 2002. Rock glacier surface motion in Beacon Valley, Antarctica, from synthetic-aperture radar interferometry. *Geophysical Research Letters*, 29, art. no. 1607.
- Rittenhouse, G., 1943. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 13 (2), p. 79-81.
- Rutford, R.H., Denton, G.H., Anderson, B.G., 1980. Glacial history of the Ellsworth Mountains; *Antarctic Journal of the United States*, v. 15, p. 56-57.

- Schrott, L., 1996. Some geomorphological–hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Zeitschrift fuer Geomorphologie*, 104, p. 161-173.
- Serrano, E., López-Martínez, 2000. Rock glaciers in the South Shetland Islands, Western Antarctica. *Geomorphology*, p.145-162.
- Serrano, E., San José, J.J., Agudo, C., 2006. Rock glacier dynamics in a marginal periglacial high mountain environment: Flow, movement (1991-2000) and structure of the Argualas rock glacier, the Pyrenees. *Geomorphology*, 74, p. 285-296.
- Shepard, F.P. 1954. Petrol Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Research*, 24 (3), p. 151-158.
- Smith, H.T.U., 1973. Photogeologic study of periglacial talus glaciers in northwestern Canada. *Geografiska Annaler*, 55A, p.69-84.
- Sollid, J., Sörbel, L., 1992. Rock glaciers in Svalbard and Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, 3, p.215-220.
- Soto, M.V.S., Ferrando, F.J.F., Vieira, R., 2004. Características Geomorfológicas de un sistema de glaciares rocosos y de su cuenca de sustentación en Chile semi-árido. *Revista Investigaciones Geográficas*, Santiago, v. 36, p. 1-16.
- Spörli, K.B., Craddock, C., 1992. Stratigraphy and structure of the Marble, Independence, and Patriot Hills, Heritage Range, Ellsworth Mountains, West Antarctica, in Webers, G. F., Craddock, C., and Spletstoeser, J. F., eds., *Geology and Paleontology of the Ellsworth mountains, West Antarctica: Boulder, Colorado*, Geological Society of America Memoir 170.
- Strelin, J.A., Sone, T., 1998. Rock glaciers on James Ross Island, Antarctica. In *Proc. Seventh International Conference on Permafrost*, eds A.G. Lewkowicz and M. Allard, p. 1027-1033. *Collection Nordicana (Université Laval)*, 57.
- Suguio, K., 2003. *Geologia sedimentar*. São Paulo: Edgard Blücher, 400 p.
- Toldo Jr. E.E., 2007. *Sedimentologia I – Notas de Aula*. Instituto de Geociências. Departamento de Mineralogia e Petrologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Gráfica da UFRGS.
- Washburn, A.L. 1979. *Geocryology*. Edward Arnold, London.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, p. 377-392.
- Whalley, W. B., Azizi, F., 2003. Rock glaciers and protalus landforms: analogous forms and ice sources on Earth and Mars. *Journal of Geophysical Research*, 108, 13-1, p.13-17.
- Whalley, W.B., Martin, H.E., 1992. Rock glaciers. II: Models and Mechanisms. *Progress in Physical Geography* 16, p.127-186.
- Wharhaftig, C., Cox, A., 1959: Rock glaciers in the Alaska Range. *Geological Society of America Bulletin*, 70 p. 383-436.
- White, S.E., 1971. Rock glacier studies in the Colorado Front Range, 1961-1968. *Arctic and Alpine Research*, 3, p. 43-64.
- White, S.E., 1981. Equilibrium line altitudes of late Pleistocene and recent glaciers in central Mexico. *Geografiska Annaler*, 63, p.241-249.

## 7 ANEXOS

Gráficos da série de dados climáticos do período de dezembro de 2008, disponibilizados pela *Antarctic Logistic Expedition (ALE)*.

