



# Regimes termais basais de geleiras associadas às glaciações globais neoproterozóicas

Palavras-Chave: CRIOGENIANO, PALEOCLIMATOLOGIA, EROSÃO GLACIAL

Autores(as):

ISABELLE NOGUEIRA BALIEIRO DA SILVA, FT – UNICAMP

Prof. Dr. BERNARDO TAVARES FREITAS (orientador), FT - UNICAMP

---

## INTRODUÇÃO:

O regime termal de uma geleira é definido pelo estado físico da sua base e é utilizado para classificar tipos de massas de gelo em três categorias, quente, frio e politérmico. Esta propriedade influencia diversos processos glaciais e depende de múltiplos fatores ambientais (Vandyk et al., 2019; Menzies; Van der meer, 2017). E, portanto, conhecer a distribuição das fácies sedimentares produzidas por geleiras de diferentes regimes termais é imprescindível para a interpretação do registro sedimentar de geleiras e climas passados (Hambrey; Glasser, 2012).

As glaciações mais severas da Terra provavelmente ocorreram durante o Neoproterozóico, há evidências geológicas que apontam que mantos de gelo atingiram o nível do mar em todas as latitudes em duas glaciações criogenianas (Stern; Miller, 2019; Menzies; Van der meer, 2017). O estudo dos ambientes glaciais e condições climáticas passados são de grande importância para a compreensão da mudança climática global moderna, sobretudo sobre o papel do dióxido de carbono e do metano na atmosfera (Stern; Miller, 2019; Menzies; Van der meer, 2017).

O objetivo deste projeto de iniciação científica é estudar a gênese de feições associadas a diferentes regimes termais basais de geleiras. Comparando este referencial teórico com exemplos de feições observadas no registro das glaciações globais criogenianas, com o intuito de avaliar a influência desses extremos climáticos no comportamento de geleiras.

## METODOLOGIA:

A metodologia do projeto é baseada em revisão da literatura científica. O trabalho está sendo desenvolvido por meio da revisão bibliográfica acerca da distribuição de regimes termais de geleiras, sua relação com feições preserváveis no registro geológico e a distribuição espaço-temporal dessas feições. Juntamente com a compilação de feições análogas associadas a sucessões criogenianas, com o objetivo de comparação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

## 1. INTERFACES SUBGLACIAIS

O regime termal de uma geleira é definido pelo estado físico da sua base e possui forte influência em diversos processos glaciais, tais como movimentação da geleira, derretimento, fluxo, transporte e deposição de sedimentos, erosão e geomorfologias resultantes. E é influenciado por diversas condições, como por exemplo temperatura ambiente, precipitação, espessura do gelo e fluxo de calor geotérmico (Vandyk et al., 2019; Menzies; Van der meer, 2017).

Esta propriedade é utilizada para classificar tipos de massas de gelo, de modo que podem ser

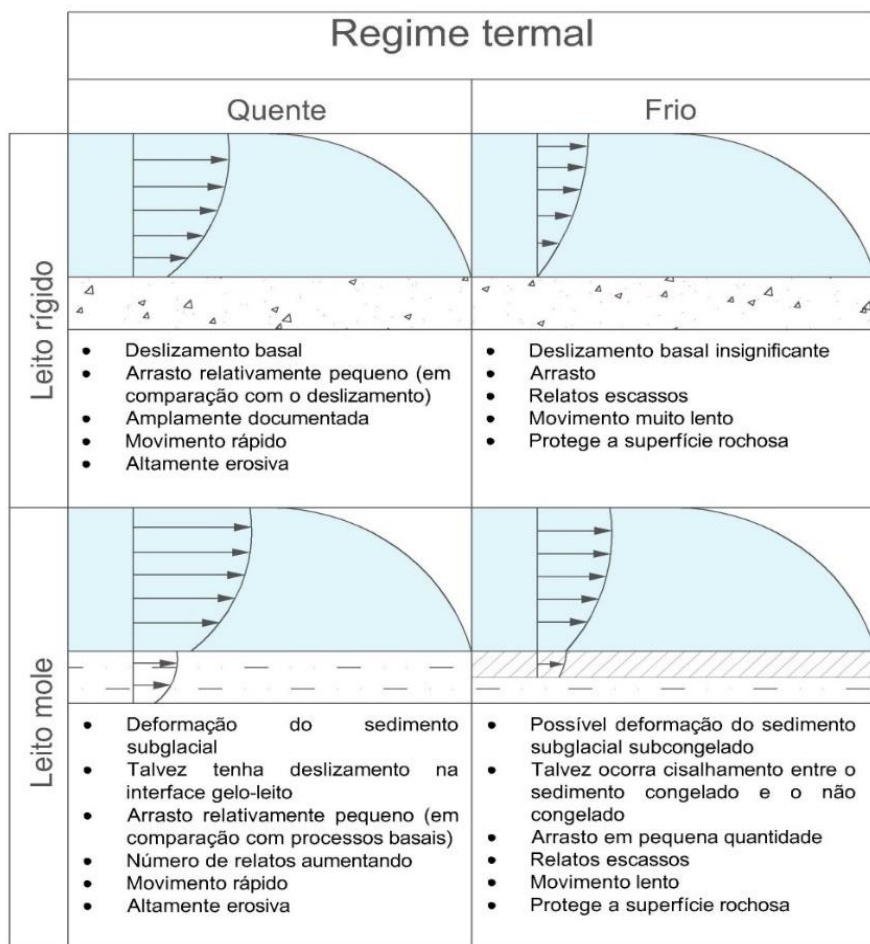


Figura 1 – Perfis de geleiras – fonte: modificada de Waller, 2001.

classificadas como gelo frio, que compreende as geleiras que são inteiras abaixo do ponto de fusão sob pressão, gelo quente, aquelas que estão completamente no ponto de fusão sob pressão, com exceção de uma camada superficial fria e gelo politérmico, um intermediário que apresenta partes completamente congeladas e partes no ponto de fusão sob pressão (Menzies; Van der meer, 2017).

Juntamente com o regime termal as características geológicas do substrato também influenciam o transporte de sedimentos no sistema glacial. Os perfis de fluxo das geleiras perante a diferentes regimes termais e leitos de geleiras podem ser observado na Figura 1 (Menzies; Van der meer, 2017).

## 2. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

O fluxo de sedimentos depende das condições termais internas e basais do gelo, seja polar (gelo frio) ou temperada (gelo quente). Leitos sob condições temperadas transportam maiores quantidades de sedimento do que que leitos congelados (Menzies; Van der meer, 2017).

Além disso, o fluxo de sedimentos forma depósitos glaciais e feições erosivas. As estruturas preservadas nesses depósitos podem ser classificadas como primárias, desenvolvidas durante a deposição dos sedimentos, ou secundárias, formadas a partir da deformação dos sedimentos, ou seja, de origem glácio-tectônica. No entanto dentro do sistema glacial a sedimentação e deformação ocorrem

praticamente ao mesmo tempo dificultando a distinção entre os dois tipos de estruturas (Menzies; Van der meer, 2017).

Estruturas primárias abrangem acamamento (Fig. 2a), laminação cruzada (Fig. 2b) e laminação paralela (Fig. 2c). Já as estruturas secundárias compreendem falhas (Fig. 2d), fraturas (Fig. 2e), dobras (Fig. 2f), foliações e lineações, e ocorrem em diversas escalas. A análise e interpretação dessas estruturas fornecem informações sobre as propriedades que controlam a deformação dos sedimentos, tais como a temperatura, reologia, drenagem dos sedimentos e por consequência a sua influência sobre a dinâmica glacial (Menzies; Van der meer, 2017).

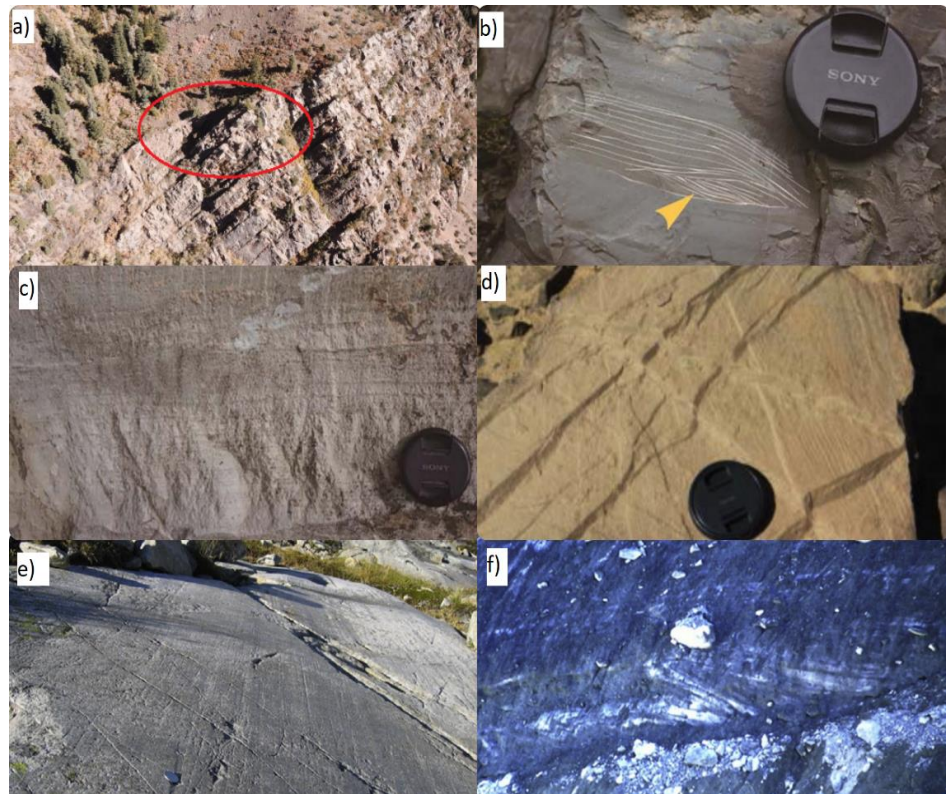


Figura 2 - Estruturas primárias e secundárias: (a) acamamento, (b) laminação cruzada, (c) laminação paralela, (d) falhas, (e) fraturas, (f) dobras - fonte: (a) VANDYK et al., 2021; (b) LANG et al., 2018; (c) LANG et al., 2018; (d) MENZIES; VAN DER MEER, 2017.

### 3. FEIÇÕES QUE EVIDENCIAM OS DIFERENTES REGIMES TERMAIS DE GELEIRAS

É possível identificar depósitos glaciais em rochas Pré-Cambrianas por meio das fácies sedimentares. No entanto, dificilmente elas são capazes de determinar a posição do gelo aterrado, o regime termal e a direção do fluxo das geleiras do período criogeniano, pois os depósitos criogenianos costumam ser produtos retrabalhados pela glaciação ao invés de diretamente depositados (Vandyk et al., 2021).

Já as superfícies estriadas são capazes de proporcionar uma das mais inequívocas evidências diagnósticas de um regime térmico temperado passado, gelo aterrado e direção de fluxo. No entanto, a escala milimétrica das estrias resulta em um potencial de preservação baixo. Deve-se destacar que apesar de haver registros de geleiras de base gelada subglacialmente abrasivas, as estrias formadas por elas são menos consistentes, uniformes e paralelas que aquelas formadas por geleiras temperadas (Vandyk et al., 2019; Vandyk et al., 2021).

Os diferentes regimes termais de geleiras também são evidenciados por sua produção de detritos. Os detritos dominantes em geleiras temperadas são angulosos, com clastos variando de muito angulosos a subarredondados. Já os detritos formados por geleiras politermais são predominantemente subangulosos ou subarredondados, com clastos variando de anguloso a arredondado. Além disso, geleiras temperadas tendem a transportar muito pouco detritos em sua base (Vandyk et al., 2019).

As formas de relevo geradas por geleiras também são capazes de prover informações sobre o seu regime termal basal. As flautas e os drumlins são formas de relevo que indicam um regime termal basal temperado, e os eskeres indicam um regime termal úmido. No entanto, por serem facilmente degradados pela água e pelo vento, possuem um baixo potencial de preservação (Colgan, 2013; Aradóttir et al., 2019; Gallagher; Balme, 2015).

Algumas das feições indicativas de um regime termal basal temperado discutidas acima podem ser encontradas nas formações neoproterozóicas Urucum, no Mato grosso do Sul (Freitas et al., 2021; Morais et al., 2021) e Kakul, localizada no Himalaia Ocidental do Norte do Paquistão. E em análogos modernos como na geleira Universidad, localizada no sul dos Andes do Chile (Fernández et al., 2022; Fernández-Navarro et al., 2023).

Origem	Feições
Geleira Universidad (Fernández et al., 2022)	Pedregulhos facetados e estriados Flautas glaciais Pedregulhos polidos
Formação Urucum (Freitas et al., 2021; Morais et al., 2021)	Estruturas rotacionais Clastos predominantemente angulosos Clastos facetados e estriados
Formação Kakul (Khan et al., 2022)	Clastos facetados e estriados Clastos angulosos a subarredondados Clastos polidos

Tabela 1 - Feições erosivas características de um regime temperado - fonte: Autoral.

## CONCLUSÕES:

Ao decorrer do trabalho foram apresentadas a definição de regime termal, as condições ambientais que o controlam e sua influência na dinâmica glacial. Também foi apontado a influência do substrato no processo de erosão e as feições resultantes deste processo, bem como a distinção entre as feições formadas por diferentes regimes termais e a importância do estudo dessas feições para o entendimento das mudanças climáticas atuais.

Através da revisão bibliográfica realizada no desenvolvimento deste projeto, podemos estabelecer que o regime termal basal possui grande influência nos processos glaciais de deposição e erosão. Essa influência pode ser observada através das fácies sedimentares e feições erosivas encontradas no registro geológico, que nos provem informações sobre os regimes térmicos passados.

Por fim, foram apresentados exemplos de feições erosivas geradas por geleiras de base quente da era Neoproterozóica, Formação Urucum e Kakul, e da geleira Universidad, um análogo moderno.

## BIBLIOGRAFIA

Aradóttir, N. et al. Glacial geomorphology of Trygghamna, western Svalbard - Integrating terrestrial and submarine archives for a better understanding of past glacial dynamics. **Geomorphology**, v. 344, nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.07.007>. Acesso em: 20 jul. 2023.

Benn, D.; Evans, D. J. A. *Glaciers and Glaciation*. 2.ed. Routledge, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780203785010>. Acesso em: 13 fev. 2023.

CHEN, X. et al. Revisiting the Nantuo Formation in Shennongjia, South China: A new depositional model and multiple glacial cycles in the Cryogenian. **Precambrian Research**, v.356, mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106132>. Acesso em: 8 mar. 2023.

Colgan, P.M. GLACIAL LANDFORMS | Evidence of Glacier Recession. In: Elias, S.A.; Mock, C.J. **Encyclopedia of Quaternary Science**. 2.ed. Elsevier, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B0-444-52747-8/00082-X>. Acesso em: 9 jul. 2022.

Fernández, H. et al. De-icing landsystem model for the Universidad Glacier (34° S) in the Central Andes of Chile during the past ~660 years. **Geomorphology**, v. 400, mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12107-4>. Acesso em: 18 maio 2023.

Freitas, B. T. et al. Cryogenian glaciostatic and eustatic fluctuations and massive Marinoan-related deposition of Fe and Mn in the Urucum District, Brazil. **Geology**, v. 49, n.12, p.1478-1483, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1130/G49134.1>. Acesso em: 24 maio 2022.

Gallagher, C.; Balme, M. Eskers in a complete, wet-based glacial system in the Phlegra Montes region, Mars. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 431, dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.09.023>. Acesso em: 20 jul. 2023.

Hambrey, M. J.; Glasser, N. F. Discriminating glacier thermal and dynamic regimes in the sedimentary record. **Sedimentary Geology**. v. 251-252, abr. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.01.008>. Acesso em: 17 jun. 2023.

Khan, M. M. S. S. et al. A newly discovered Neoproterozoic diamictite-cap carbonate couplet from the Western Himalaya: The expansion of the Marinoan snowball Earth glaciation to the northwestern margin of the Indian Plate in North Pakistan. **Precambrian Research**, v. 378, ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2022.106759>. Acesso em: 20 jul. 2023.

Lang, X. et al. Cyclic cold climate during the Nantuo glaciation: evidence from the Cryogenian Nantuo Formation in the Yangtze Block, South China. **Precambrian Research**, v. 310, p. 243-255, maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2018.03.004>. Acesso em: 8 nov. 2022.

Menzies, J.; Van der Meer, J.J.M. **Past glacial environments**. 2.ed. Elsevier, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04002-6>. Acesso em: 24 maio 2022.

Morais, L. et al. Diverse vase-shaped microfossils within a Cryogenian glacial setting in the Urucum Formation (Brazil). **Precambrian Research**, v. 367, dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106470>. Acesso em: 24 maio 2022.

Stern, R. J.; Miller, N. R. Neoproterozoic Glaciation—Snowball Earth Hypothesis. In: Alderton, D.; Elias, S. A. **Encyclopedia of Geology**. 2.ed. Academic Press, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12107-4>. Acesso em: 25 jul. 2023.

Vandyk, T. M. et al. Reassessing classic evidence for warm-based Cryogenian ice on the western Laurentian margin: The “striated pavement” of the Mineral Fork Formation, USA. **Precambrian Research**, v. 363, set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106345>. Acesso em: 8 nov. 2022.

Vandyk, T. M. et al. Temperate glaciation on a Snowball Earth: Glaciological and palaeogeographic insights from the Cryogenian Yuermeinak Formation of NW China. **Precambrian Research**, v. 331, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105362>. Acesso em: 7 set. 2022.

Waller, R. I. The influence of basal processes on the dynamic behaviour of cold-based glaciers. **Quaternary International**, v. 86, dez. 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(01\)00054-4](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(01)00054-4). Acesso em: 5 fev. 2023.