



X Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba, 2017



# Evolution of the Cretaceous Serra Geral Group and associated sand injectites, SE South America

Léo Afraneo Hartmann

Professor-Convidado

Programa de Pós-Graduação em Geociências

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

# MEUS ESTUDOS DO GRUPO SERRA GERAL ENTRE 2004-2017

## Núcleo de Excelência em Minerais Estratégicos / UFRGS

### APOIO FINANCEIRO

1. “Minerais estratégicos do sul do Brasil”  
Dois projetos de excelência PRONEX-FAPERGS/CNPq, 2007-2014
2. “Minerais estratégicos do sul do Brasil”  
Dois projetos em Editais Universal/CNPq, 2006-2010
3. “Novo modelo exploratório no ambiente hidrotermal do Grupo Serra Geral”  
Projeto edital VALE-CNPq, 2011-2013

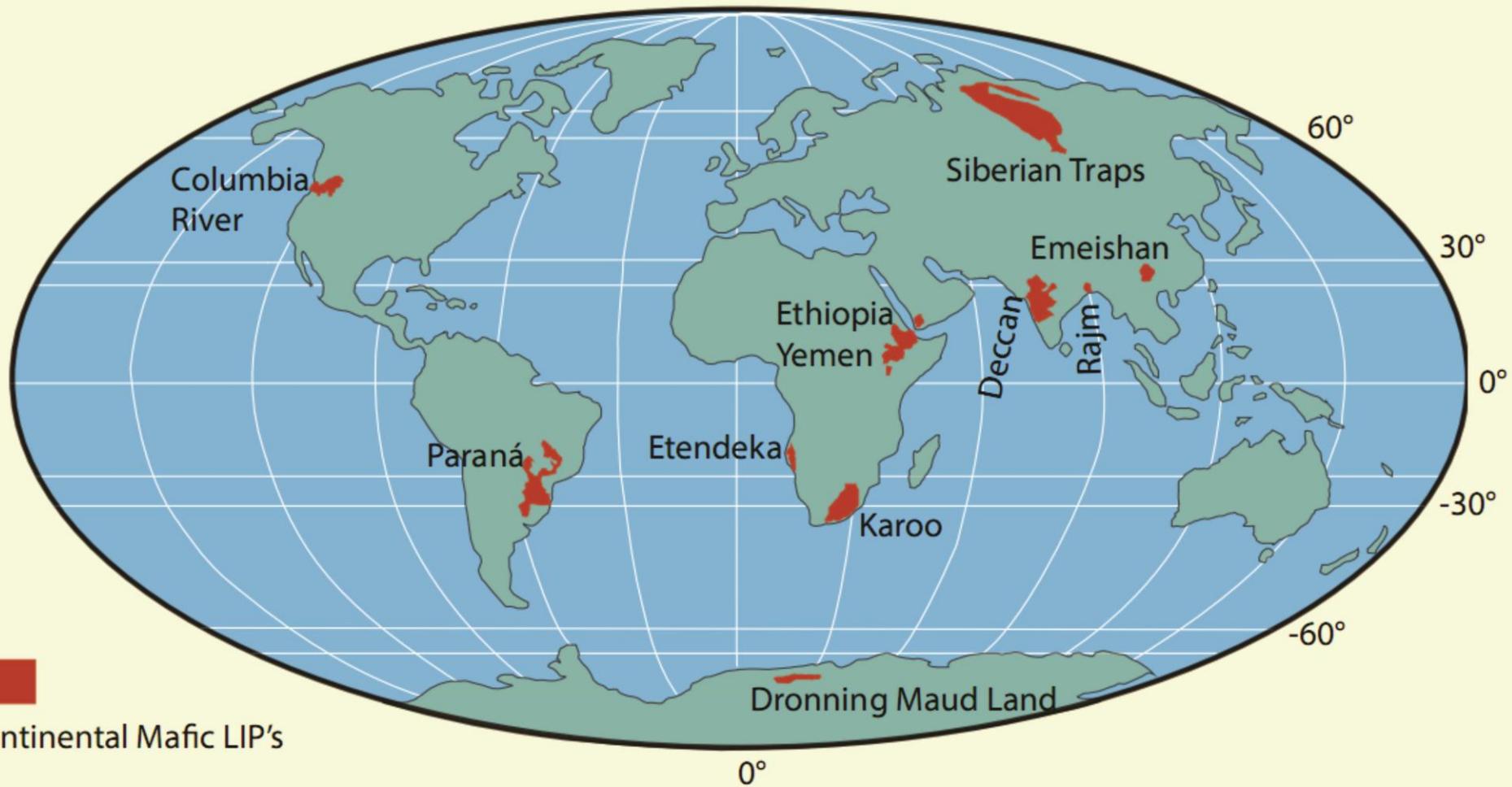
### APOIO INSTITUCIONAL

1. Universidade Federal do Rio Grande do Sul
2. Institut für Mineralogie und Kristallchemie, Universität Stuttgart
3. The University of Western Australia
4. Serviço Geológico do Brasil (CPRM – Porto Alegre)
5. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM – Campo Grande, MS)
6. COOGAMAI – Cooperativa dos Garimpeiros do Médio Alto Uruguai
7. Prefeitura Municipal de Soledade, Ametista do Sul
8. SINDIPEDRAS

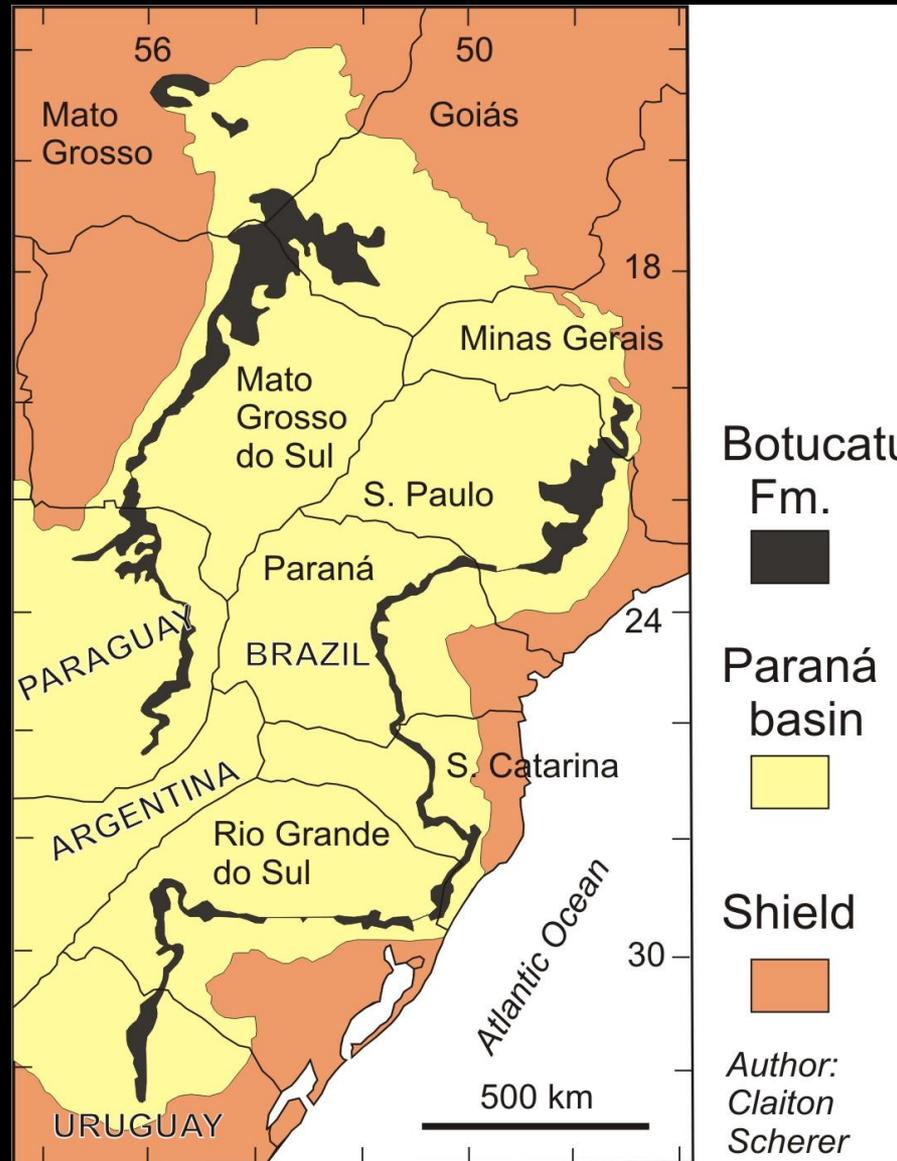
### PESSOAS

Agradeço às muitas pessoas que interagiram comigo nos estudos feitos.

# As grandes províncias basálticas continentais

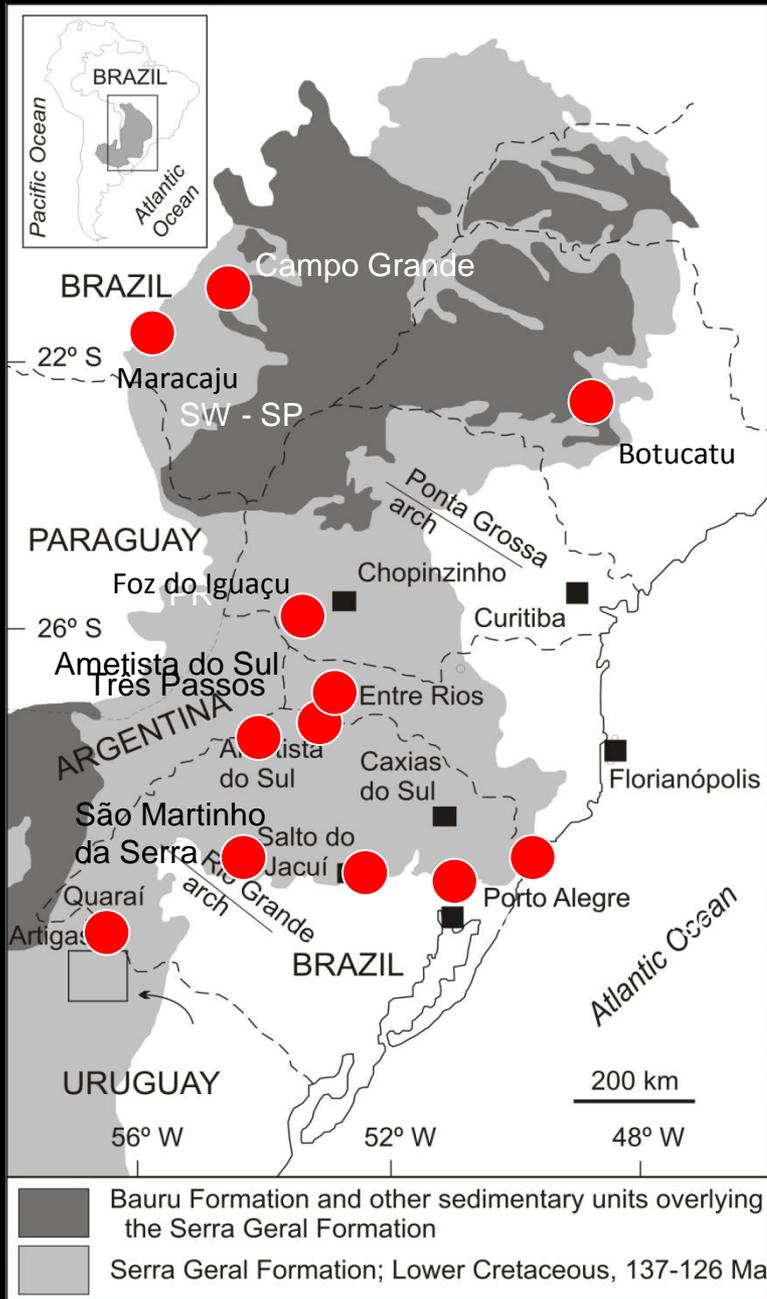


# O grande aquífero Guarani como fonte de água quente e areia



O Grupo Serra Geral como hospedeiro epigenético

# Algumas áreas estudadas



A Serra Geral defronte a Torres, RS



# Sudoeste do Estado do Paraná



# Os grandes ambientes geológicos do Grupo Serra Geral

- Magmatismo a 1200-1150 °C – fusão do manto
- Pirometamorfismo a 1000 °C e 1600 °C – geotectônica do metano
- Hidrotermalismo a 150 (200) °C até 40 °C – aquífero Guarani  
Explosões hidrotermais, vulcões de areia, injetitos de areia, geodos  
Geotectônica do vapor de água
- Intrusões alcalinas
- As falhas transcorrentes e normais (rachaduras de Gondwana)
- Intemperismo em temperatura ambiente – chuva nos basaltos
- (Impacto do meteorito Putinga, RS, há 100 anos)

# Temas novos no Grupo Serra Geral

Descobertas feitas pelos pesquisadores deste grupo, 2004-2014 (2017)

1. A origem hidrotermal dos geodos de ametista e ágata
2. A origem hidrotermal das mineralizações de cobre nativo
3. A geração de paralavas por refusão de basaltos recém-cristalizados
4. O potencial de mineralizações de ouro, cobre, platina e rubi nas paralavas
5. A longa duração do vulcanismo (16 Ma) ou apenas 1 Ma
6. Explicação da ausência de extinção de espécies durante o vulcanismo
7. Presença de sílica gossans sobre jazidas hidrotermais de geodos e de cobre
8. (Uso de basaltos alterados ou amigdalóides em rochagem de solos agrícolas)
9. Registro da evolução da vida e do clima em lama de sílica gossans
10. Descoberta e descrição de lavas aa (Quaraí, RS)
11. Mapeamento de derrames com apoio em gamaespectrometria e química

## Descobertas (cont.)

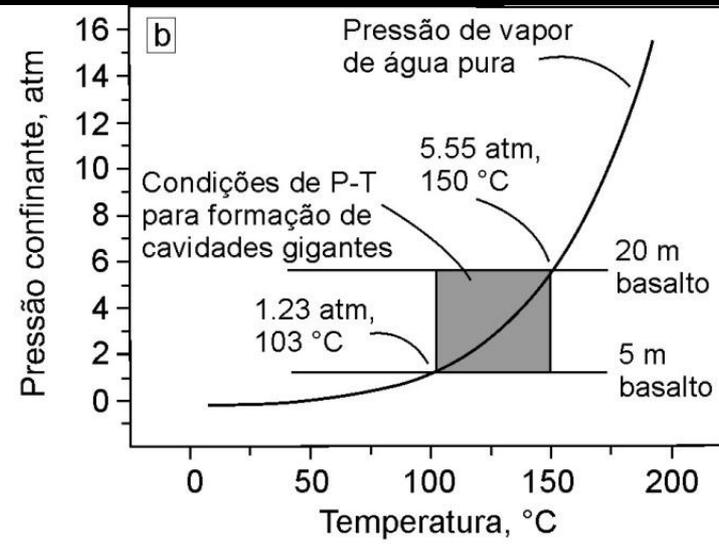
12. (Clima árido durante a efusão das lavas)
13. Injeção e efusão de areia fluidizada em água quente e vapor
14. Falhas losangulares em basaltos
15. Vulcão de areia na paleo-superfície
16. Origem hidrotermal do aquífero Tabatinga – fratura subhorizontal
17. Origem dos geodos vazios (barreiro)
18. Concentração de geodos em tumuli
19. Eventos hidrotermais H1, H2, H3
20. Eventos hidrotermais derrame-a-derrame
21. Explosividade dos eventos hidrotermais
22. Correlação de derrames com gama-espectrometria (e geoquímica)
23. (Idade mesoproterozóica do manto no Cretáceo, Hf TDM zircão)
24. Todos os morros do Grupo Serra Geral estão silicificados e são resistatos

# A origem hidrotermal dos geodos de ametista e ágata

Alteração do basalto ou riodacito por água quente e vapor a 150 °C.

Expansão de bolha no basalto ou riodacito alterado.

Preenchimento do geodo com calcedônia, quartzo, ametista (calcita, selenita).



# Concentração de geodos em tumuli

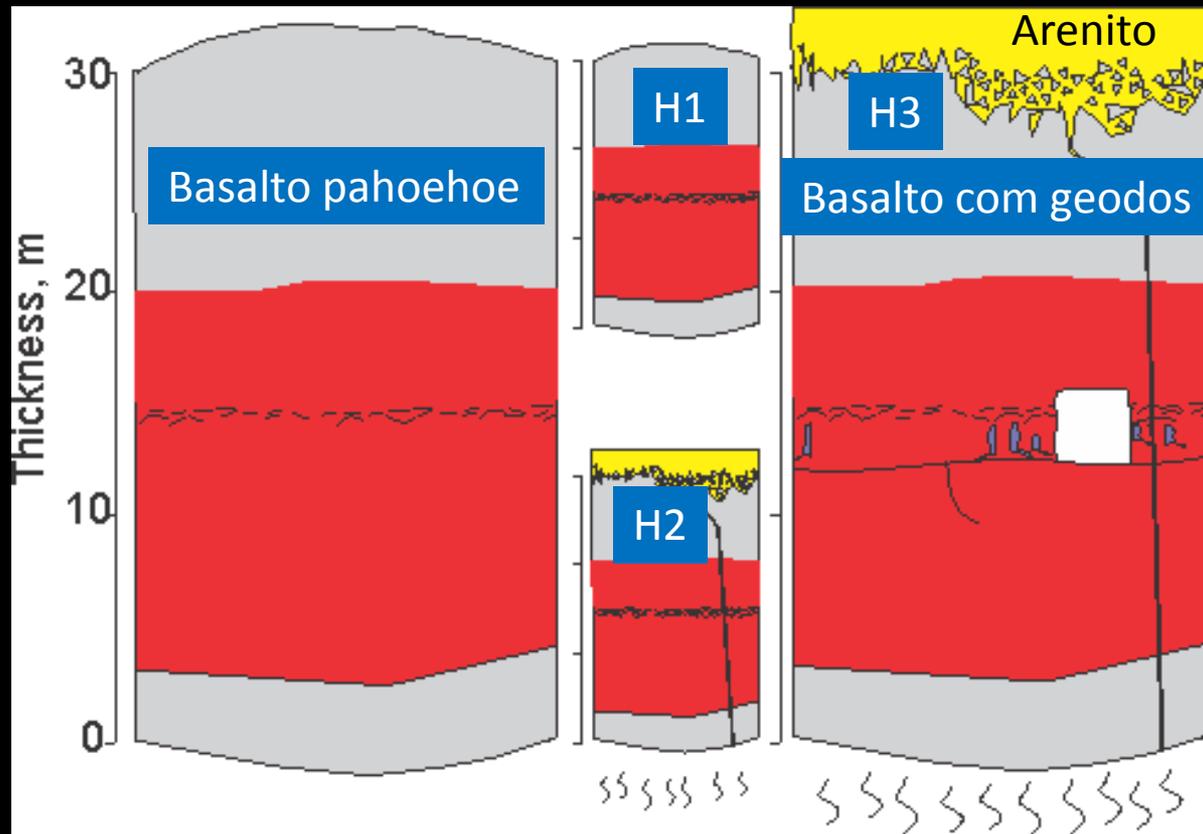
Tumuli são estruturas universais em derrames pahoehoe e aa.

Contrapartida são as depressões inter-tumuli.

Geodos de ametista estão concentrados (manchas) nos tumuli.

Geodos estão ausentes nas depressões.

Volume dos tumuli foi necessário e suficiente para expandir bolhas de vapor.



F.F.M. de Almeida, C.D.R. Carneiro, A. Bartorelli

“Origem dos grandes geodos de ametista do Rio Grande do Sul ... explicada por ... complexos processos hidrotermais epigenéticos ...”

No livro:

Y. Hasui, C.D.R. Carneiro, F.F.M. Almeida, A. Bartorelli. 2012.  
Geologia do Brasil

# A geração de paralavas por refusão de basaltos recém-cristalizados

Intrusão do sill-mãe nos folhelhos da Bacia do Paraná

Quebra termal do kerogênio

Ascensão do metano

Auto-ignição do metano ao atingir a base do núcleo do derrame-filho

‘Queima’ dos minerais do basalto pelo metano

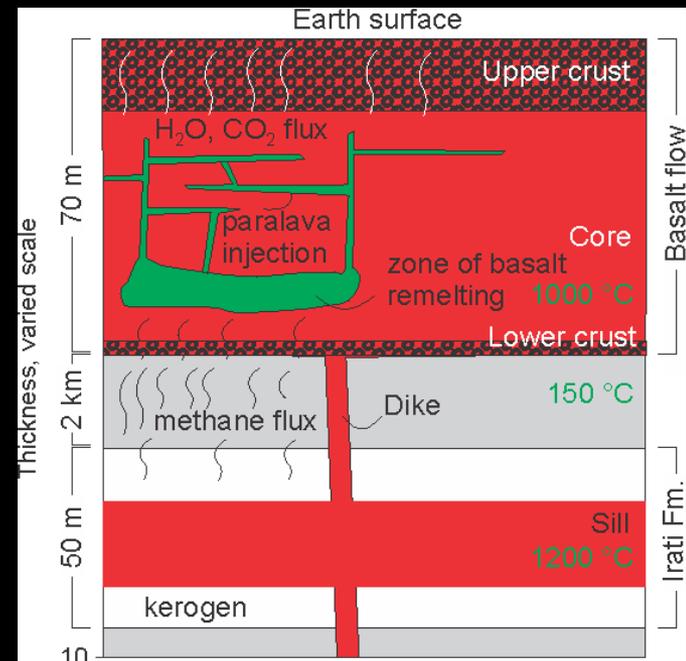
Refusão do basalto a 1600 °C

Injeção gravitacional do magma no próprio derrame-filho

Paralavas são assim geradas.

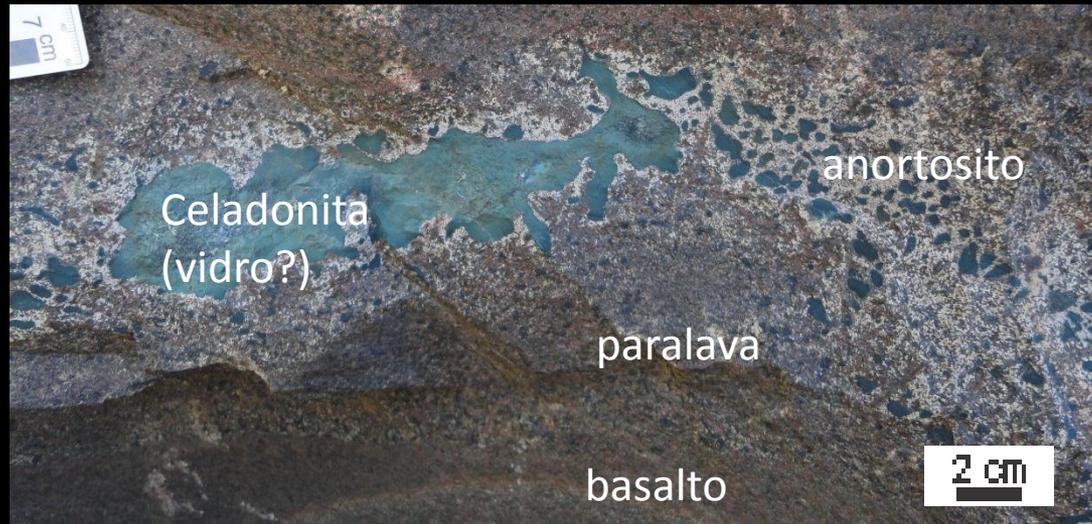


## Geotectônica do gás metano



# O potencial de mineralizações de ouro, cobre, platina e rubi nas paralavas

Reação com metano forma  $\text{Fe}^0$ , C, libera platina (EGP), Au, Cu nativo, forma rubi.



# Presença de sílica gossan acima de minas de geodos de ametista

Gossan = do inglês antigo *gossen*,  
originado de *gos* = sangue  
Tem minerais de sílica e de ferro

Gossan  
menos úmido  
= mina pobre

Ametista do Sul



# 24. Todos os morros do Grupo Serra Geral estão silicificados e são resistatos

Todos os morros tem sílica gossan na superfície.

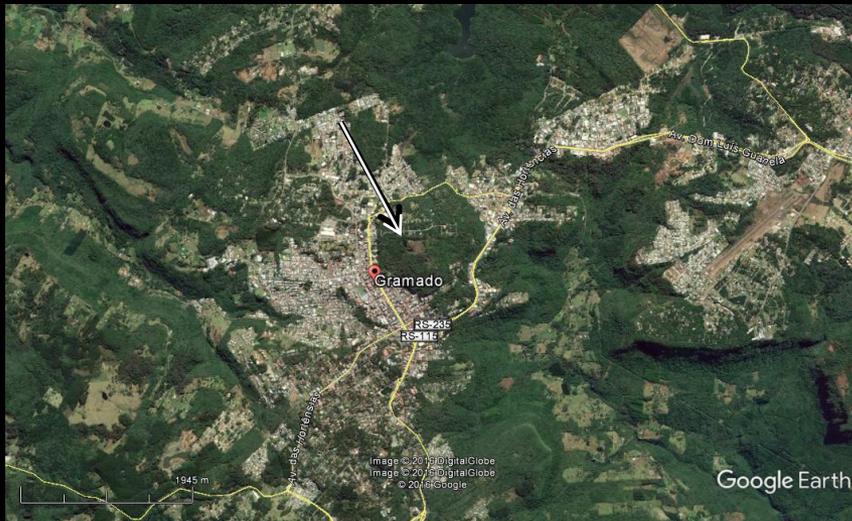
Todos os morros estão silicificados.

Muitos morros estão mineralizados.

A silicificação torna o basalto mais resistente à erosão.

Os vales são incisões da chuva em porções não-mineralizadas dos derrames.

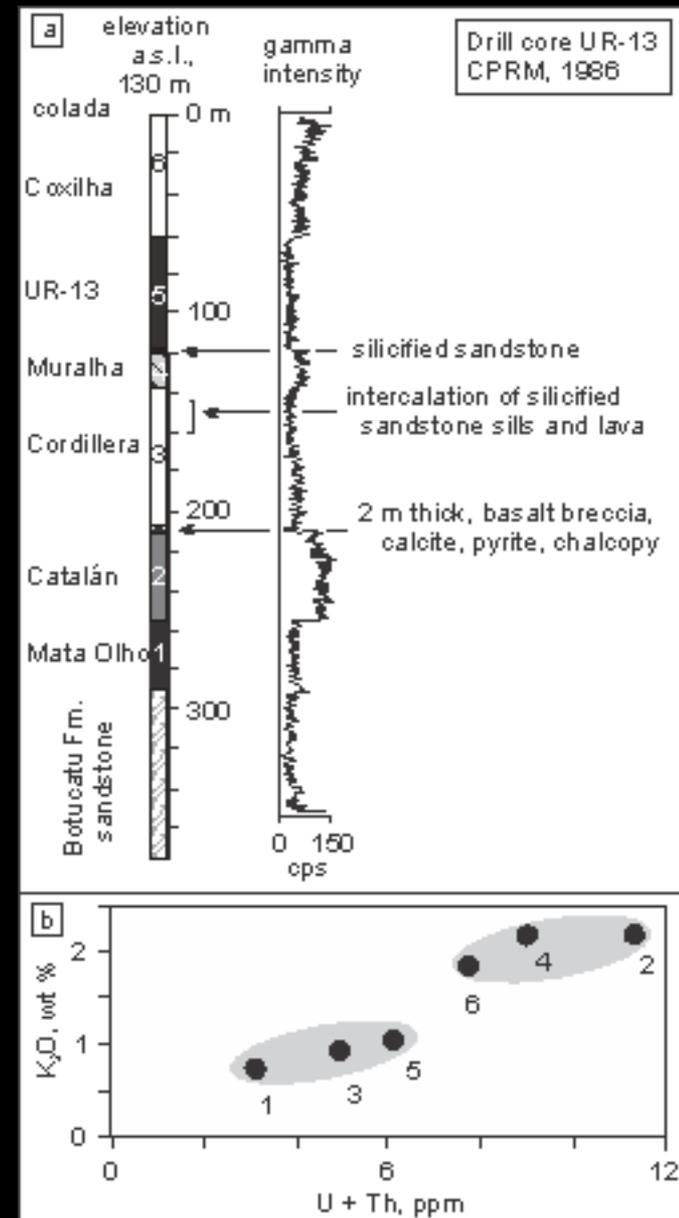
Os platôs são a parte mineralizada (e silicificada).



# Mapeamento de derrames com apoio em gamaespectrometria e química

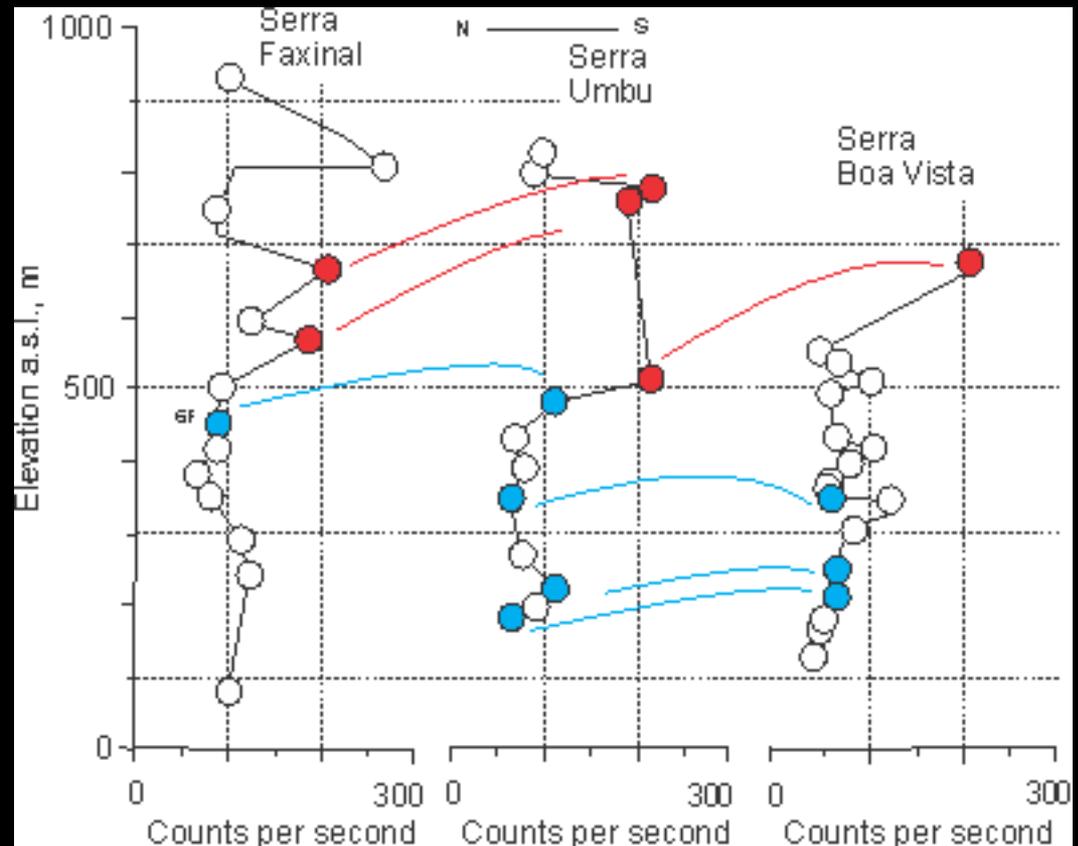
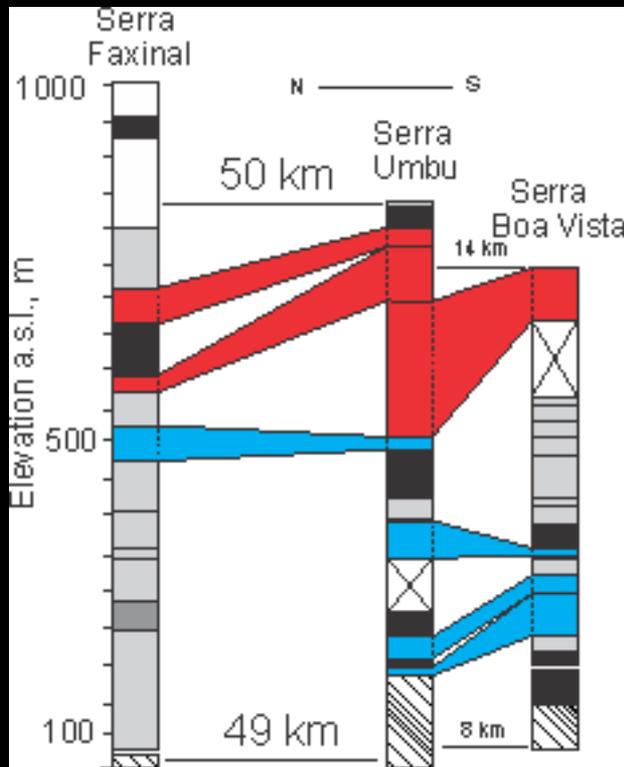
Calibração de campo de derrames em Quaraí, usando os dois métodos.

Derrames, campos de derrames e seqüências estratigráficas podem ser mapeados continuamente e extensamente.



# Correlação de derrames com gama-espectrometria (e geoquímica)

Cada derrame de basalto ou riodacito tem composição química única.  
O teor somado de K, U, Th resulta no valor de gamaespectrometria.  
Cada conjunto de 3 derrames é único no Grupo Serra Geral, em caso de dúvida.



Serra Geral Cuesta, Torres, Rio Grande do Sul

# Eventos hidrotermais H1, H2, H3

Um grande processo hidrotermal gerado pela fervura do Aquífero Guarani.

Registro nos basaltos é na forma de três eventos hidrotermais H1, H2, H3.

H1 foi lento e causou o selamento das amígdalas e fraturas (exceto juntas de esfriamento).

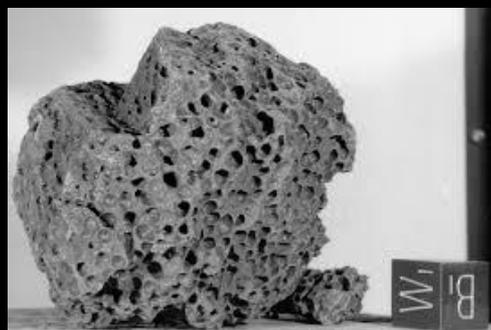
H2 foi explosivo e formou o Complexo Novo Hamburgo de injetitos de areia.

H3 foi lento na base do derrame, explosivo no centro do núcleo (fratura Tabatinga), lento na formação e preenchimento dos geodos.

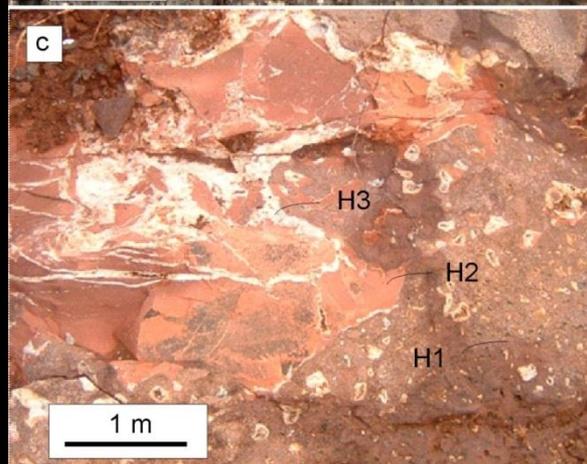
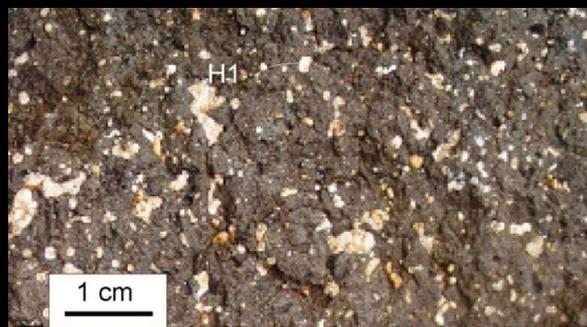
## Geotectônica do vapor de água



Vesicular basalt, Hawaii



Vesicular basalt, Moon



# Injeção e efusão de areia fluidizada em água quente e vapor

Complexo Novo Hamburgo

Evento H2 de hidrotermalismo.

Diques, sills, lopólitos, asas, brechas, derrames, vulcões de areia

Em geral, silicificados; localmente, selados por carbonatos.

Desde a base até o topo do Grupo Serra Geral.

Maior complexo de injetitos de areia em área (900.000 km<sup>2</sup>) dos continentes.



Serra de Maracaju, MS



Novo Hamburgo, RS



Novo Hamburgo, RS

# Eventos hidrotermais derrame-a-derrame

Aquífero Guarani ferveu a cada evento efusivo de basalto ou riodacito.  
H1, H2, H3 ocorreram em cada derrame, antes da efusão do derrame seguinte.



Campo Grande, MS  
Pedreira Votorantim

# Explosividade dos eventos hidrotermais

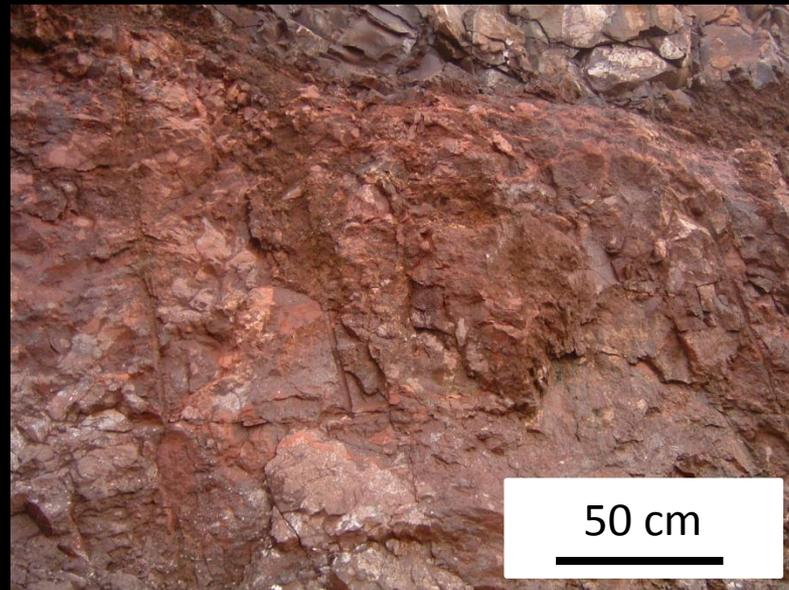
Vulcão de areia, brechas na paleo-superfície do derrame de basalto.

Sul de Minas Gerais, crateras de explosão hidrotermal.

Região de Quaraí, RS, centenas de estruturas circulares de explosão hidrotermal.

Explosividade hidrotermal mais significativa nos primeiros derrames.

Causa da explosividade foi a menor espessura total de lavas a serem explodidas.



Explosive breccia at paleo-surface,  
Três Passos, RS

# Sand volcano at the paleo-surface

Fluidized sand formed small (1-3 m) sand volcano



Sand volcano, feeder dike,  
Três Passos, Rio Grande do Sul

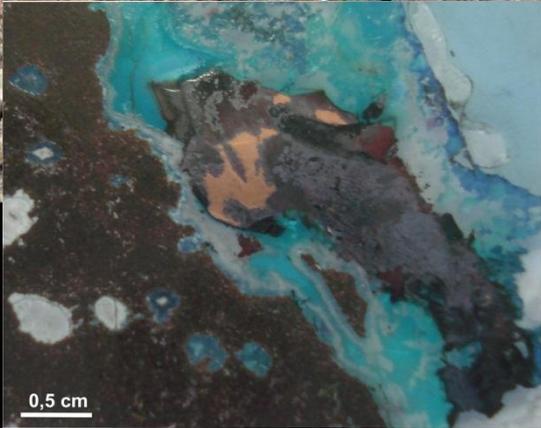
G. Zvirtes, R.P. Philipp, L.A. Hartmann, A. Hurst,  
G. Palladino, L. Alessandretti

“Spatial and genetic relationships between the fluidization and  
Injection of eolian sand and volcanic processes, Torres, Brazil”

Hurst, A. 2017. Subsurface sand remobilization and injection: Implications  
for oil and gas exploration and development. Geological Society of London.



Torres, Rio Grande do Sul, Brasil



MUITO OBRIGADO!

