



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Vanessa Rey León

**Idades U-Pb em zircões detriticos das rochas metamórficas aflorantes na
faixa oeste no Maciço de Santander, Andes Colombianos**

Rio de Janeiro

2021

Vanessa Rey León

**Idades U-Pb em zircões detriticos das rochas metamórficas aflorantes na faixa oeste no
Maciço de Santander, Andes Colombianos**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. Mauro César Geraldês (UERJ)

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Garcia Ramírez (UIS)

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

R456 Rey León, Vanessa.
Idades U-Pb em zircões detríticos das rochas metamórficas aflorantes
na faixa oeste no Maciço de Santander, Andes Colombianos / Vanessa
Rey León. – 2021.
72 f.: il.

Orientador: Mauro Cesar Geraldês.
Coorientador: Carlos Alberto Garcia Ramírez.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Faculdade de Geologia.

1. Rochas metamórficas – Santander, Maciço de (Colômbia) – Teses.
2. Geocronologia – Santander, Maciço de (Colômbia) – Teses. 3. Gnaiss
– Santander, Maciço de (Colômbia) – Teses. 4. Xistos – Santander,
Maciço de (Colômbia) – Teses. 5. Andes, Cordilheira dos, Região –
Teses. I. Geraldês, Mauro Cesar. II. Garcia Ramírez, Carlos Alberto. III.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III.
Título.

CDU 552.4:550.93(862)

Bibliotecária responsável: Taciane Ferreira da Silva / CRB-7: 6337

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Vanessa Rey León

**Idades U-Pb em zircões detríticos das rochas metamórficas aflorantes na faixa oeste no
Maciço de Santander, Andes Colombianos**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-
Graduação em Geociências, da Universidade do
Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração:
Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais.

Aprovada em 09 de setembro de 2021.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Cesar Geraldês

Faculdade de Geologia – UERJ

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Garcia Ramírez

Universidad Industrial de Santander

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Monica Heilbron

Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Rodrigo Vinagre

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Alexis Nummer

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2021

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e marido, por seu grande apoio emocional durante o mestrado.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece muito aos professores Mauro Geraldês e Carlos Alberto GARCIA, pela orientação e confiança permanente no desenvolvimento deste projeto. Sem dúvida, cada conselho foi muito valioso para completar com sucesso esta etapa da minha vida.

Aos professores que fizeram parte das disciplinas cursadas durante o mestrado: Miguel Tupinambá, Rodrigo Peternel, Monica Heilbron, Anderson Costa, Julio Almeida e Kathryn Cutts.

As pessoas que trabalham no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA), da FGEL-UERJ e no Laboratório Multiusuário de Meio ambiente e materiais (MULTILAB): Gabriela, Vitalino, Marcio e Felipe.

A Marianni por tudo seu apoio no meu processo de Mestrado desde a Colômbia.

RESUMO

REY LEÓN, Vanessa. **Idades U-Pb em zircões detriticos das rochas metamórficas aflorantes na faixa oeste no Maciço de Santander, Andes Colombianos**. 2021. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

O embasamento do Maciço de Santander representa um *inlier* Mesoproterozóico, conformado por rochas mais jovens associadas à evolução da Cordilheira dos Andes. O embasamento é formado pelas unidades Gnaiss Bucaramanga, Xisto Silgará, Xisto Chicamocha, Ortognaisse, Filito San Pedro e outras unidades metassedimentares de baixo grau metamórfico. Na área de estudo afloram as unidades do embasamento Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará; a biotita gnaiss é o litotipo principal no Gnaiss Bucaramanga, anfíbolitos e quartzitos são observados em menor proporção, enquanto o muscovita xisto é o litotipo principal no Xisto Silgará. As idades U-Pb observadas em grãos de zircão detriticos de dois biotita gnaisses (VRL-18-1; VRL-20-1), um muscovita gnaiss (VRL-21-1) do Gnaiss Bucaramanga, e um muscovita xisto (VRL-21-3) dos Xistos Silgará, produziram os seguintes resultados: (1) idades Mesoproterozóicas em torno de 1000–1200 Ma interpretadas como idades de máxima deposição (2) idades em torno de 861–1051 Ma associadas provavelmente ao primeiro evento de metamorfismo (M1), resultado da orogenia Grenvilliana e (3) idades próximas a 540 Ma nas rochas do Gnaiss Bucaramanga, interpretadas provavelmente ao evento termal. As idades U-Pb em zircões sugerem semelhanças com aquelas obtidas no cráton amazônico, sustentando uma correlação e indicando que o Maciço de Santander é composto por rochas formadas durante a colisão entre o leste de Laurentia e a Amazônia, durante a formação de Rodinia.

Palavras-chave: Gnaiss Bucaramanga. Xisto Silgará. Zircão detritico. Andes Colombianos.

ABSTRACT

REY LEÓN, Vanessa. **U-Pb age in detrital zircons from metamorphic rocks outcrops on the west fringe in the Santander Massif, Colombian Andes.** 2021. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

The basement of the Santander Massif represents a Mesoproterozoic inlier, formed by younger rocks associated with the evolution of the Andes Mountains. The basement is formed by the units Bucaramanga Gnaiss, Silgará Schist, Chicamocha Schist, Orthogneiss, Filito San Pedro and others metamorphic low grade units. In the study area, outcrop the basement units Bucaramanga Gneiss and Silgará Schist; the biotite gneiss is the main lithotype in the Bucaramanga Gneiss, amphibolites and quartzites are observed in a smaller proportion, while the Muscovite schist is the main lithotype in the Silgará Schist. The U-Pb ages observed in detrital zircon grains from two biotite gneisses (VRL-18-1; VRL-20-1), a muscovite gneiss (VRL-21-1) from Bucaramanga Gneiss, and a muscovite schist (VRL- 21–3) of the Silgará Schist, produced the following results: (1) Mesoproterozoic ages around 1000-1200 Ma interpreted as maximum deposition ages (2) ages around 861-1051 Ma probably associated with the first metamorphic event (M1), result of the Grenvillian orogeny and (3) ages close to 540 Ma in the rocks of the Bucaramanga Gneiss, probably interpreted as a thermal event. The U-Pb ages in zircons suggest similarities with those obtained in the Amazonian craton, supporting a correlation and indicating that the Santander Massif is composed of rocks formed during the collision between eastern Laurentia and Amazonia craton, during the formation of Rodinia.

Keywords: Bucaramanga Gneiss. Silgará Schist. Zircon Detritic. Colombian Andes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização da área de estudo no Maciço de Santander, Andes do Norte da Colômbia.....	17
Figura 2 –	Preparação das amostras para estudos petrográficos e geocronológicos.....	21
Figura 3 –	Mapa da América do Sul, com o cráton amazônico, e destacando os terrenos de idade Grenvilliana (Arequipa, Antofala, Santander, Garzon, Santa Marta e Sunsas).....	26
Figura 4 –	Esquema geodinâmico no Paleozóico Inferior para os Andes Setentrionais....	27
Figura 5 –	Contexto regional do Maciço de Santander na Colômbia.....	28
Figura 6 –	Mapa geológico e de amostras da área de estudo.....	34
Figura 7 –	Mapa da localização da área de estudo.....	37
Figura 8 –	Afloramentos do Gnaiss Bucaramanga no setor <i>El Palmar–Vereda San Isidro</i>	38
Figura 9 –	Fotomicrografias das amostras estudadas no Gnaiss Bucaramanga (VRL-18-1; VRL-20-1; VRL-21-1)	40
Figura 10 –	Afloramento do Xisto Silgará no setor <i>El Palmar– Vereda San Isidro</i>	40
Figura 11 –	Microfotografias da amostra estudada nos Xisto Silgará (VRL-21-3).....	41
Figura 12 –	Idades U-Pb em zircões detritos do Gnaiss Bucaramanga (amostra VRL-18-1)	42
Figura 13 –	Idades U-Pb em zircões detritos do Gnaiss Bucaramanga (amostra VRL-20-1)	44
Figura 14 –	Idades U-Pb em zircões detritos do Gnaiss Bucaramanga (amostra VRL-21-1)	44
Figura 15 –	Idades U-Pb em zircões detritos do Xisto Silgará (amostra VRL-21-3).....	45
Figura 16 –	Relações Th/U versus a idade concordante de HOSKIN & SCHALTEGGER (2003) nas amostras VRL-18-1, VRL-20-1 e VRL-21-1.....	45
Figura 17 –	Afloramento das unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará em aparente contato tectônico.....	49
Figura 18 –	Histogramas das amostras do Gnaiss Bucaramanga (VRL-18-1; VRL-20-1; VRL-21-1) e Xisto Silgará (VRL-21-3) (neste trabalho) e PS-7- 1 (MANTILLA et al., 2016a), mostrando picos proeminentes semelhantes em torno de 940-1010 Ma.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resumo das idades nas unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará ao longo do MS.....	35
Tabela 2 –	Idades de deposição máxima deposição interpretadas pelos diferentes métodos.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abreviaturas minerais segundo Whitney e Evans, (2010).

Bt	Biotita
Grt	Granada
Kfs	Feldspato potássico
Ms	Muscovita
Opq	Mineral opaco
Pl	Plagioclásio
Qtz	Quartzo
Tur	Turmalina
Zrn	Zircão

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	12
1	GENERALIDADES DO ESTUDO.....	14
1.1	Justificativa do estudo.....	14
1.2	Objetivo geral	14
1.3	Objetivos específicos	15
1.4	Localização.....	15
2	METODOLOGIA	16
2.1	Introdução.....	16
2.2	Revisão bibliográfica.....	17
2.3	Trabalho de campo.....	18
2.4	Análise petrográfica.....	18
2.5	Geocronologia.....	19
2.5.1	<u>Introdução.....</u>	<u>19</u>
2.5.2	<u>Separação do mineral zircão.....</u>	<u>19</u>
2.5.3	<u>Microscópio eletrônico de varredura (MEV).....</u>	<u>20</u>
2.5.4	<u>Geocronologia em zircão utilizando LA-MC-ICP-MS.....</u>	<u>21</u>
2.5.5	<u>Tratamento dos dados.....</u>	<u>22</u>
3	GEOLOGIA REGIONAL E CONTEXTO TECTÔNICO.....	23
3.1	Introdução.....	23
3.2	Modelo geodinâmico.....	25
3.3	Contexto geotectônico.....	27
3.3.1	<u>Maciço de Santander.....</u>	<u>28</u>
3.3.1.1	Unidades Estratigráficas.....	30
3.3.1.2	Gnaiss Bucaramanga.....	30
3.3.1.3	Xisto Silgará.....	32
4	RESULTADOS.....	37
4.1	Geologia Local e Petrografia.....	38
4.1.1	<u>Gnaiss Bucaramanga.....</u>	<u>38</u>
4.1.1.1	Biotita Gnaiss, amostras VRL-18-1 y VRL-20-1 e Mica Gnaiss amostra VRL-21-1.....	38

4.1.2	<u>Xisto Silgará.....</u>	39
4.1.2.1	Muscovita Xisto, amostra VRL-21-3.....	41
4.2	Geocronologia U-Pb.....	42
4.3	Discussão.....	46
4.3.1	<u>Implicações estratigráficas no Maciço de Santander.....</u>	46
4.4	Implicações paleogeográficas.....	50
4.5	Agradecimentos.....	52
	CONCLUSÕES.....	53
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A – Dados da amostra VRL-18-1.....	62
	APÊNDICE B – Dados da amostra VRL-20-1.....	65
	APÊNDICE C – Dados da amostra VRL-21-1.....	68
	APÊNDICE D – Dados da amostra VRL-21-3.....	70

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa, em nível de mestrado junto ao Programa da Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), foi desenvolvida em rochas metamórficas do embasamento Andino na Colômbia.

Nesta região ocorre o Maciço de Santander, composto por rochas sedimentares depositadas no Mesoproterozóico, com uma complexa história de metamorfismo. O tema é carente de informações e tem sido alvo de cartografia geológica, porém o entendimento da história evolutiva ainda apresenta lacunas. As informações aqui apresentadas, permitiram elaborar uma proposta da evolução das unidades estudadas, com a evolução geológica do cráton amazônico e por consequência com a reconstrução do supercontinente Rodinia.

Estudos geológicos nas unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará, na faixa *Bucaramanga – Cachiri*, perto do limite oeste no Maciço de Santander (MS), têm sido escassos. WARD *et al.* (1973) produziram a cartografia geológica na área, numa escala de 1:100.000 (mapas 109 e 110). O contato entre as unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará, tem sido traçado seguindo a isógrada da sillimanita, porém, em campo, sua presença ainda não foi observada com precisão. Os estudos na área deste projeto de mestrado, mostram informações relevantes sobre litotipos e as idade de máxima deposição, para as unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará, porém, o grau de estudo para o Gnaiss Bucaramanga nesta mesma faixa ainda é reduzido.

O MS é a continuação norte da Cordilheira Oriental da Colômbia, e forma a margem sudoeste do bloco triangular de Maracaibo. Seu limite oeste é definido pelo sistema de falhas *Bucaramanga-Santa Marta* (VAN DER LELIJ *et al.*, 2016), enquanto sua margem leste, é definida pela falha *Labateca – Chucarima* (VELANDIA, 2017).

Para determinar a evolução das unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará, são apresentados os resultados dos estudos petrográficos e geocronológicos dessas rochas. O desenvolvimento do projeto incluiu quatro campanhas de campo, onde foram estudadas a ocorrência e a relação entre as unidades presentes, com a amostragem realizada.

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, o documento foi estruturado por capítulos. No primeiro capítulo justifica-se a importância de fornecer informações sobre as rochas do embasamento cristalino perto do limite oeste no MS. O segundo capítulo discorre sobre a metodologia desenvolvida para estudos petrográficos e geocronológicos. O terceiro capítulo é um resumo dos principais estudos relatados sobre o contexto geotectônico dos Andes

colombianos e a geologia regional no MS. Finalmente no quarto capítulo são apresentados os novos resultados obtidos sobre a mineralogia e as idades de máxima deposição, nas unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará, no formato de artigo submetido à revista *Andean Geology*. Esses resultados são discutidos com os trabalhos já publicados por diferentes autores.

1 GENERALIDADES DO ESTUDO

1.1 Justificativa de estudo

Os estudos geológicos disponíveis para o Gnaiss Bucaramanga na faixa *Bucaramanga – Cachiri* são escassos. Em relação ao Xisto Silgará, trabalhos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos na faixa *Matanza – Cachiri* (RUEDA & VILLAMIZAR, 2014; MANTILLA *et al.*, 2016a & 2016b), mostram litotipos como metarenitos, quartzitos, filitos, principalmente xistos compostos de quartzo, muscovita, clorita, biotita, granada, grafita, plagioclásio, feldspato potássico e minerais opacos. O padrão geoquímico REE dessas rochas metassedimentares indica que elas vêm de sedimentos originados pela delaminação de uma crosta continental, fortemente diferenciada (MANTILLA *et al.*, 2016). O pico metamórfico dessas rochas foi alcançado na fácies Xisto Verde, zona de granada. Idades em torno de $906,5 \pm 10,5$ Ma e $1.610,3 \pm 9,8$ Ma U-Pb em zircões detríticos, mostram uma idade máxima de depósito do Neoproterozóico (Toniano). Muitas questões não resolvidas para as duas unidades estão relacionadas a: (1) contato litológico, (2) condições P–T de metamorfismo e evolução tectono–metamórfica, (3) idade do protólito, (4) idade do metamorfismo e (5) proveniência dos sedimentos. A solução dos problemas levantados acima, proporcionará novo conhecimento para entender a evolução tectono–metamórfica do embasamento cristalino no MS em seu limite oeste, e sua relação com outros setores deste maciço nos Andes do Norte da Colômbia.

1.2 Objetivo geral

Fornecer evidências petrográficas e geocronológicas que permitam determinar a evolução das unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará na zona de *Bucaramanga – Cachiri*, perto do limite oeste no Maciço Santander – Andes do Norte colombiano.

1.3 Objetivos Específicos

Determinar as variações composicionais nas unidades Gnaisse Bucaramanga e Xisto Silgará, de acordo com sua mineralogia, textura e estrutura.

Determinar as idades de máxima deposição nas unidades Gnaisse Bucaramanga e Xisto Silgará usando o método U-Pb em zircão detritico.

1.4 Localização

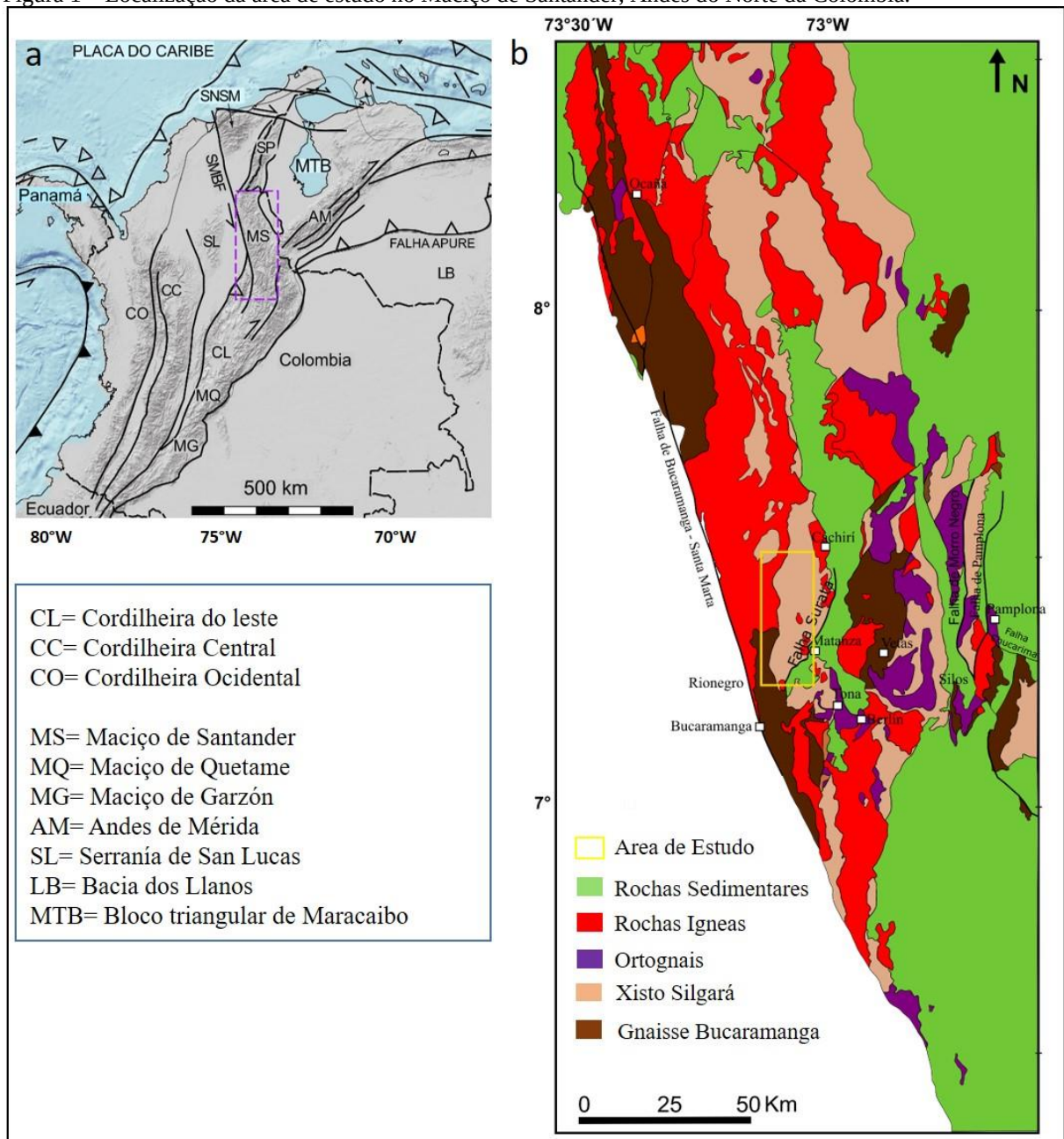
Em termos geológicos, a área de estudo está localizada perto do limite oeste no MS-Cordilheira Oriental-Andes do Norte da Colômbia, no departamento de Santander e inclui os setores de *Rio Negro*, *Matanza* e *Cachiri*. (Figura 1). A base cartográfica disponível encontra-se nos mapas 109 e 110 do Serviço Geológico da Colômbia na escala de 1: 100.000

2 METODOLOGIA

2.1 Introdução

A metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto para cumprir com os objetivos foi desenvolvida em fases. A primeira fase consistiu na revisão bibliográfica de teses e artigos desenvolvidos no MS nas unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará. A segunda fase foi o trabalho de campo, onde foram caracterizadas as unidades (ocorrência, litotipos, dados estruturais e coletas das amostras para estudos posteriores). A preparação das amostras, os estudos petrográficos e geocronológicos, foram agrupados na fase de laboratório.

Figura 1 – Localização da área de estudo no Maciço de Santander, Andes do Norte da Colômbia.



Legenda: (a) Localização do MS no contexto Andino de acordo com VAN DER LELIJ *et al.*, 2016; (b) Mapa geológico do Maciço de Santander com as principais unidades geológicas discutidas no texto, destacando a área de estudo na caixa amarela.

Fonte: GARCIA *et al.*, 2017.

2.2 Revisão bibliográfica

Nesta etapa foram estudados os artigos e teses desenvolvidos na área de estudo, e ao longo do MS, a fim de obter informações sobre sua geologia e evolução tectônica. Além disso,

também foram obtidos dados acerca da metodologia utilizada para análise geocronológica através do método U-Pb com utilização do mineral zircão. Com essas informações foi realizado o capítulo do contexto geológico da área de estudo.

2.3 Trabalho de campo

Com o objetivo de caracterizar textural, estrutural e composicionalmente as unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará, foi projetada uma viagem de campo utilizando ferramentas SIG, que vinculou a cartografia geológica disponível, o modelo digital de elevação dos terrenos, as vias de acesso, as expressões geomorfológicas e os contatos entre estas unidades. De acordo com as informações obtidas, esta viagem foi estruturada em quatro transectos. No primeiro e segundo transecto (via *Rio Negro – El Paujil* e *Rio Negro-Santa Cruz*), foi caracterizada a unidade Gnaiss Bucaramanga. No terceiro transecto (setor *El Palmar– Vereda San Isidro*), foram observadas as unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará. No quarto transecto (via *Matanza – Cachiri*), foram estudados os diferentes litotipos na unidade Xisto Silgará. Os afloramentos foram descritos em cada transecto, levando em consideração a metodologia proposta no manual de campo de Cartografia de rochas ígneas, metamórficas e metassomáticas do Professor Carlos Alberto GARCIA RAMÍREZ. Para a classificação das rochas metamórficas, foi utilizado o fluxograma proposto pelo subcomitê de rochas metamórficas.

2.4 Análise petrográfica

As lâminas delgadas para análise petrográfica foram feitas no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA), da FGEL – UERJ. A análise das lâminas delgadas foi realizada por meio de microscopia de luz transmitida, utilizando o microscópio Leica, modelo DM750POL da Universidade Industrial de Santander. As abreviações minerais utilizadas são de WHITNEY & EVANS (2010). A metodologia utilizada na descrição das placas, consistiu em definir os diferentes litotipos em cada unidade a partir das análises de cada mineral formador

de rocha (minerais principais, maiores, menores, acessórios e secundários), incluindo seu tamanho, forma, contatos, texturas e estruturas.

2.5 Geocronologia

2.5.1 Introdução

Atualmente, a aplicação conjunta dos métodos geocronológicos U-Pb e Lu-Hf em zircão representa um dos mecanismos mais eficazes para estudos isotópicos e geocronológicos. A análise através do sistema de ablação a laser (LA-MC-ICP-MS) é de relativa simplicidade, sensibilidade e rapidez, e por isso é amplamente utilizada (AHRENS, 1995; MILHOMENNETO, 2018).

O zircão é um mineral acessório, do grupo dos ortosilicatos (ZrSiO_4) que está presente em uma grande variedade de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas (GERALDES, 2010). Sua resistência permite que este participe de diferentes eventos geológicos e preserve informações de diferentes estágios em sua estrutura, possibilitando através de análises *in situ*, o estudo de diferentes eventos em um mesmo grão (WU & ZHENG, 2004; YUAN *et al.*, 2004; RUBATTO & HERMANN, 2007; HARLEY *et al.*, 2007).

Sua eficácia no método geocronológico U-Pb ocorre pelo fato de apresentar alta temperatura de fechamento do sistema (CHERNIAK & WATSON, 2000), alta concentração de urânio e tório, baixa quantidade de chumbo comum (YUAN *et al.*, 2004; WU & ZHENG, 2004), e por isso que é um dos minerais mais utilizados para determinação de idades absolutas por este método (YUAN *et al.*, 2004; WU & ZHENG, 2004).

2.5.2 Separação do mineral zircão

As amostras coletadas nas campanhas de geologia foram preparadas no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA – UERJ), a fim de fazer a separação do mineral

zircão para posterior análise via LA-MC-ICP-MS. Todo processo ocorreu de forma a evitar ao máximo a contaminação das amostras.

A metodologia descrita a seguir é a mais comumente utilizada no LGPA e contém todos os passos necessários para obtenção do mineral zircão. Neste trabalho as amostras foram analisadas individualmente, depois de cada etapa para avaliar a qualidade do concentrado mineral e a partir daí, avaliar qual seria a melhor sistemática para cada amostra: algumas etapas não foram necessárias e em outros casos foi necessário repetir a etapa.

A preparação se inicia com a limpeza das amostras através da lavagem com água e sabão. Após secagem em estufa, as mesmas são britadas por meio do britador de mandíbulas, chegando a uma fração de até 2mm. O material é então fragmentado novamente em um moinho de discos, até a obtenção de cristais de 200 mesh. Por ser um mineral pesado (4,6 g/cm³), a sua concentração tem início na mesa de separação hidrodinâmica (mesa vibratória de Wiffley). O concentrado é recolhido e por meio de uma lupa de mão e os minerais magnéticos são retirados. Em seguida, ocorre a separação por líquidos densos, inicialmente em solução de Bromofórmio (2,89 g/cm³) e nos casos em que as amostras apresentam muitos minerais de apatita (3,15 g/cm³) estes são passados em solução de iodeto de metileno (3,32 g/cm³). A última etapa consiste na separação de acordo com a suscetibilidade magnética dos minerais através do separador eletromagnético de Frantz. A regulagem inicial do aparelho Frantz consiste na inclinação lateral de 10°, frontal variando de 2° a 5° e a amperagem do aparelho é posicionada alternadamente em 0,2 Hz, 0,5 Hz, 0,75 Hz, 1,0 Hz e 1,5 Hz. Na regulagem final a amperagem é mantida fixa em 1,5Hz durante todo o processo, a inclinação frontal varia de 2° a 5° e a lateral varia de -0,5° a 5°. Os minerais de zircão separados são levados ao MultiLab onde são coletados manualmente por meio de lupa binocular e montados em *mounts* em epóxi (Figura 2).

2.5.3 Microscópio eletrônico de varredura (MEV)

Os *mounts* contendo os minerais de zircão, foram polidos até sua total exposição. Em seguida foram imageados através do MEV modelo QUANTA 250, da marca FEI. O MEV é um aparelho de alta resolução que permite a observação e análise de morfologia e microestruturas de objetos sólidos (DEDAVID *et al.*, 2007). As imagens de catodo-luminescência são obtidas através da emissão de fótons de grande comprimento de onda (DEDAVID *et al.*, 2007) e refletem as diferenças nas abundâncias de elementos traços no zircão, responsáveis pela

formação da sua estrutura (WU & ZHENG, 2004). Os elétrons secundários geram imagens que se referem à superfície da amostra, sendo importantes para observar seu relevo. Isto ocorre devido à baixa energia dos elétrons emitidos, fazendo com que somente os gerados à superfície sejam reemitidos e detectados (DEDAVID *et al.*, 2007).

Figura 2 – Preparação das amostras para estudos petrográficos e geocronológicos



Fonte: A autora, 2020.

As imagens de catodo-luminescência e elétrons secundários geradas permitiram a identificação de fraturas, inclusões e zoneamentos, itens importantes a serem analisados no momento de análise no espectrômetro de massa. A escolha criteriosa de grãos límpidos permite a obtenção de idades mais precisas (GERALDES, 2010).

2.5.4 Geocronologia em zircão utilizando LA-MC-ICP-MS

O espectrômetro de massa teve seu desenvolvimento iniciado devido a descoberta da radioatividade no final do século XIX (GERALDES, 2010). A metodologia do LA-MC-ICPMS inicia com a volatilização da superfície do mineral através de laser (LA), que é então carregado através de gás hélio até um plasma induzido (ICP) de gás argônio e hélio, onde o material é ionizado e suas respectivas massas são medidas por um espectrômetro de massa (MS) com

multicoletores (MC) (MACHADO & SIMONETTI, 2001; SCHOENE, 2014; LONGERICH, 2008).

A datação por LA-ICP-MS teve início na década de 1990 e rapidamente se tornou uma importante ferramenta na obtenção de dados geocronológicos (KOSLER & SYLVESTER, 2003; GERALDES, 2010; SCHOENE, 2014). Suas vantagens derivam da rapidez de suas análises, da quantidade de coletores, suficientes para medir simultaneamente isótopos de U e Pb, da não necessidade de tratamento químico para as amostras e de um laboratório químico com altas exigências de limpeza (SATO & KAWASHITA, 2002; JACKSON *et al.*, 2004; KOSLER & SYLVESTER, 2003).

O espectrômetro utilizado para as análises foi o *Laser Ablation– MC-ICP-MS Neptune* (termo *Finnigan*), do MULTILAB – UERJ é um multicoletor de alta resolução, consegue através de seus 9 coletores Faraday e 6 contadores de íons detectar simultaneamente uma ampla variedade de elementos. Suas configurações são específicas para cada método e são descritas a seguir.

2.5.5 Tratamento dos dados

Os dados registrados são copiados para uma planilha excel configurada por CHEMALE *et al.* (2012) para fazer as correções necessárias em relação ao branco, como também para calcular as idades U-Pb de cada grão. Correções manuais podem ser realizadas nesta planilha a fim de diminuir possíveis erros. Com a utilização do complemento do excel ISOPLOT 4.15, desenvolvido por LUDWIG (2001), os diagramas concórdia, discórdia e probabilidade/histograma são gerados, obtendo a idade U-Pb para cada amostra. As planilhas previamente configuradas são utilizadas para obtenção dos dados de ϵHf e das idades modelos (primeira planilha), como também gráficos que correlacionam os dados de U-Pb e Lu-Hf (segunda planilha). Na primeira são inseridas as idades U-Pb obtidas anteriormente e as assinaturas isotópicas de Lu-Hf referentes a cada grão. Grãos que registraram valores de erro (± 2 SE) maiores que 1,5 são excluídos. A segunda planilha utiliza os dados da primeira para elaboração dos gráficos de ϵHf e da razão $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ versus a idade de cristalização do grão.

3 GEOLOGIA REGIONAL E CONTEXTO TECTÔNICO

3.1 Introdução

O NW da América do Sul pode ser dividido em dois domínios fisiográficos e geológicos principais: a região NNW, representada pela cordilheira ativa dos Andes, e a região SE de caráter plano, com algumas áreas de relevo isolado, constituídas por extensas savanas e áreas de selva, que fazem parte da plataforma sul-americana, e que correspondem à zona cratônica (CARDONA, 2003).

A configuração atual do NW da América do Sul é consequência das interações entre as placas Caribe, América do Sul e Pacífico, que formaram a zona limite da placa Caribe sul. Uma entidade estrutural de destaque da zona limite da placa Caribe Sul, é o bloco continental de Maracaibo, que compreende uma área baixa, que inclui a bacia de Maracaibo, em suas bordas proeminentes cinturões montanhosos (*Sierra Nevada de Santa Marta*, Maciços de Santander e Mérida, as montanhas Trujillo nos Andes venezuelanos e o interior da *Serranía de Perijá*), e as bacias *Cesar – Ranchería e Maracaibo* (VAN DER LELIJ *et al.*, 2016; BERMÚDEZ *et al.*, 2019). O sistema andino foi construído por episódios orogênicos sucessivos, que começaram no final do Cretáceo e culminaram durante o final da Orogenia Andina Terciária. O levantamento começou com a colisão de terrenos com afinidade oceânica, oriundas do Pacífico, e continua até hoje, como resultado da convergência contínua entre as placas sul-americana e Nazca, e a colisão do arco do Panamá com a América do Sul. O domínio andino é separado do domínio do escudo oriental da Guiana pelo sistema de falhas de *Borde Llanero*, com uma tendência NE–SW (RESTREPO-PACE *et al.*, 1997).

Os Andes colombianos são representados por três sistemas orogênicos, denominados cordilheiras, que se diferenciam do Leste para o oeste nas cordilheiras oriental, central e ocidental. Na parte norte da Cordilheira Oriental, destaca-se o Maciço de Santander.

O Maciço de Santander (MS), é limitado ao leste pelo sistema de falhas de empurrão com vergência para o leste (Falhas de *Pamplona, Labateca, Chitagá, Mercedes e Perchiquez*) (ZULUAGA *et al.*, 2016) e o limite oeste, pelo sistema de Falhas *Bucaramanga– Santa Marta*. No setor oeste, afloram rochas metamórficas de diferentes composições e grau de metamorfismo, agrupadas por WARD *et al.* (1973) nas Unidades Gnaiss Bucaramanga e

Formação Silgará. Neste trabalho, a Formação Silgará será denominada Xisto Silgará segundo MANTILLA *et al.* (2016).

A unidade Gnaiss Bucaramanga é a unidade mais antiga no MS. Na área do presente projeto, não são mencionados estudos geocronológicos que permitam correlacionar esta unidade com os demais corpos de gnaisses que afloram ao longo do MS. A morfologia do Gnaiss Bucaramanga na área é uma faixa alongada na direção N-S, que se estende desde o município de Bucaramanga ao setor de Santa Cruz e é denominada por WARD *et al.* (1973) como a faixa de Bucaramanga. No contato inferido e sobrejacente ao Gnaiss, estão o Xisto Silgará. Esta unidade é a mais abundante na área de estudo. Compreende uma faixa alongada desde o Sul de Matanza até o município de Cachirí e é denominada por WARD *et al.* (1973) como a faixa Matanza – Cachirí. Esta Unidade está bem definida petrografica e geoquimicamente neste setor (WARD *et al.*, 1973; RUEDA & VILLAMIZAR, 2014; MANTILLA *et al.*, 2016a & 2016b), no entanto, os estudos geocronológicos relatados ainda não são suficientes para esclarecer se há alguma relação entre esta unidade e o Gnaiss Bucaramanga. WARD *et al.* (1973) descrevem uma diferença litológica entre a Formação Silgará e o Gnaiss de Bucaramanga. A Formação Silgará tende a ser mais quartzítica e de laminação delgada, com abundantes filitos ricos em quartzo, filitos de quartzo muscovita pobres em biotita e xistos, principalmente na parte superior. O Gnaiss Bucaramanga, por outro lado, é de estratificação mais grossa e contém rochas abundantes em biotita e hornblendita. No entanto, entre as duas unidades há grande semelhança nos tipos de rochas, principalmente no que pode ser a parte baixa do Silgará. Além disso, esses autores mencionam que ao sul de Matanza, alguns dos meta-arenitos e xistos de médio grau da Formação Silgará, tem estratificação mais grossa e litologicamente são semelhantes aos para gnaisses de alto grau do Gnaiss Bucaramanga, concluindo que é possível que este Gnaiss represente a parte inferior e mais metamorfoseada da Formação Silgará. No entanto, para ARENAS (2004), é impossível que o Gnaiss Bucaramanga compartilhe o mesmo evento de metamorfismo dos Xistos Silgará, porque esta unidade já estava unida à borda NW do Gondwana no final do Proterozóico.

Em contraste, dois corpos de granodiorito pertencentes ao batólito do Rio Negro aparecem na área de estudo. Um desses corpos é uma massa na direção N-S, que está em contato intrusivo com as unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará. O outro corpo, são numerosas intrusões que se localizam nas unidades metamórficas próximas à Vereda Santa Cruz.

O objetivo deste capítulo é colocar a área do presente projeto em um contexto geológico, mencionando alguns dos estudos cartográficos, estruturais, petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e metamórficos anteriores relatados no MS.

3.2 Modelo geodinâmico

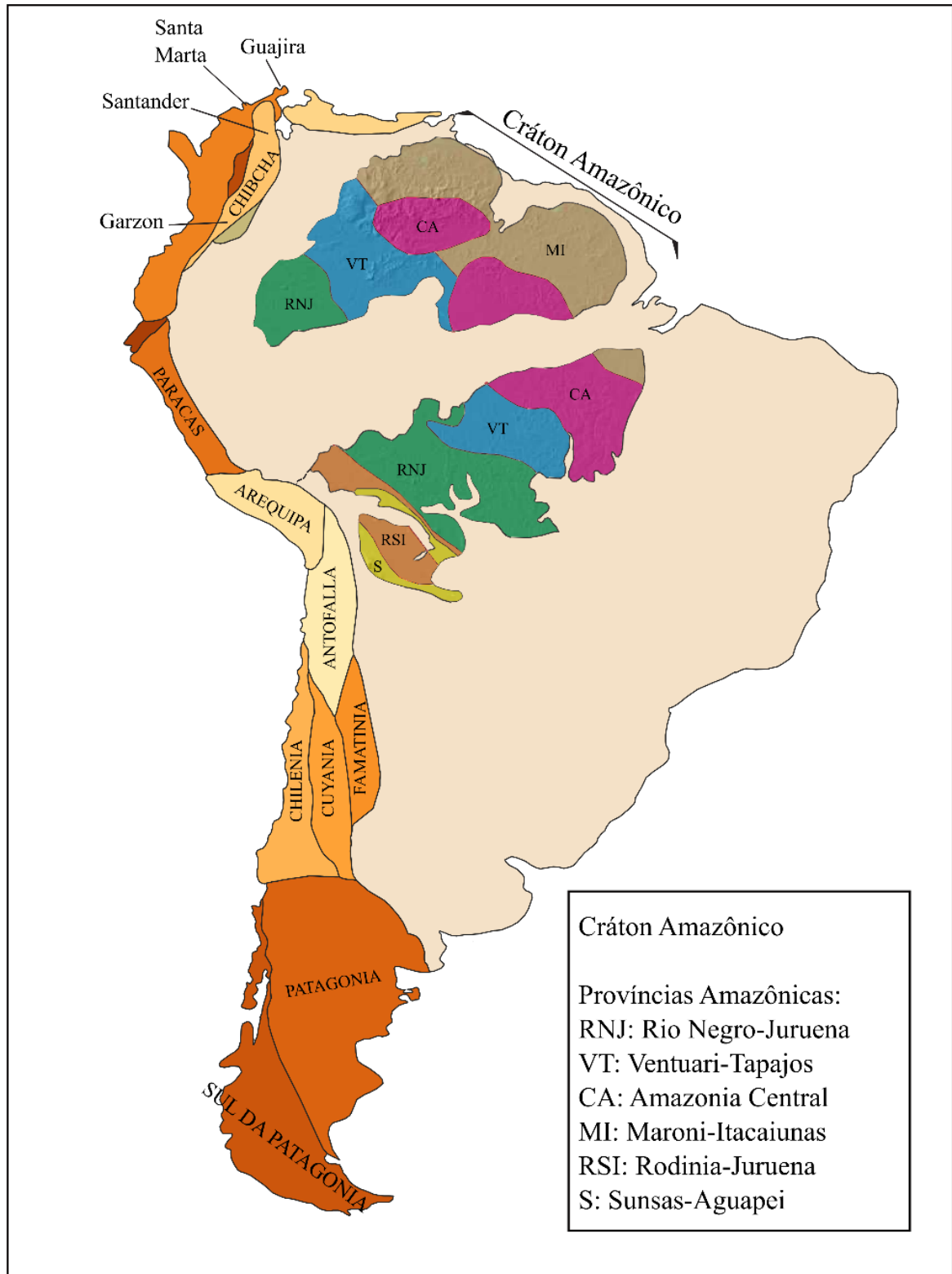
Diferentes autores (RESTREPO, 1995; RAMOS, 2010; RESTREPO-PACE *et al.*, 2010; VAN DER LELIJ *et al.*, 2016), reconstruíram a história tectônica do embasamento no noroeste da América do Sul, principalmente nos Andes de Mérida e no Maciço de Santander desde o Paleozoico até o Mesozoico. Os dados geológicos e geocronológicos desta região indicam que o embasamento metamórfico se consolidou durante os eventos orogênicos Orinoquiense (Grenvilliano 1,0 Ga) e Caparonensis (Famatiniano 0,47 Ga). Este último fazia parte de um orógeno proto-andino que se estendia da Venezuela ao norte da Argentina (RESTREPO-PACE *et al.*, 2010).

Segundo RAMOS (2010), a análise do embasamento dos Andes mostra fortes afinidades Grenvillianas, na maioria das rochas expostas nos diferentes terrenos desde a Colômbia até Patagônia. Os terrenos têm histórias diferentes, mas a maioria deles participou do amálgama do supercontinente Rodinia durante o Mesoproterozoico entre 1.200 e 1.000 Ma. Após a fragmentação de Rodinia, alguns terrenos permaneceram do lado de Laurentia, enquanto outros permaneceram do lado de Gondwana. Os terrenos que atualmente formam o embasamento dos Andes podem ser subdivididos em dois grandes grupos: o terreno para-autóctono e o terreno exótico. Para RAMOS (2010), o terreno para-autóctono é formado por alguns blocos continentais acumulados nas faixas do cráton amazônico, durante a amalgamação de Rodinia, como parte da orogenia Grenville-Sunsas. Um episódio posterior de ruptura, levou à formação de uma nova crosta oceânica, separando as terras anteriores da Amazônia. Dentro do terreno para-autóctones encontram-se os terrenos de *Mérida*, *Chibcha*, *Paracas*, *Oaxaquia*, *Arequipa*, *Antofalla*, *Famatina*, *Pampia* e *Patagônia*. Por outro lado, o terreno exótico é composto por dois blocos que faziam parte da Laurentia e foram adicionados ao Gondwana durante o Paleozóico. Esses blocos são conhecidos como terreno composto *Cuyaniae* terreno *Chilenia* (RAMOS, 2010) (Figura 3).

As rochas do Paleozoico Inferior nos Andes setentrionais registram um magmatismo de arco continental entre 499 e 415 Ma, seguido por um metamorfismo do tipo Barroviano, que afetou rochas pré-cambrianas e cambrianas. As condições metamórficas máximas alcançadas atingiram as fácies anfibolito superior. Esses eventos sugerem um soterramento tectônico das rochas sedimentares pré-cambrianas e cambrianas, gerando um período de espessamento da crosta e orogênese, posteriormente essas rochas foram exumadas durante a extensão entre ~

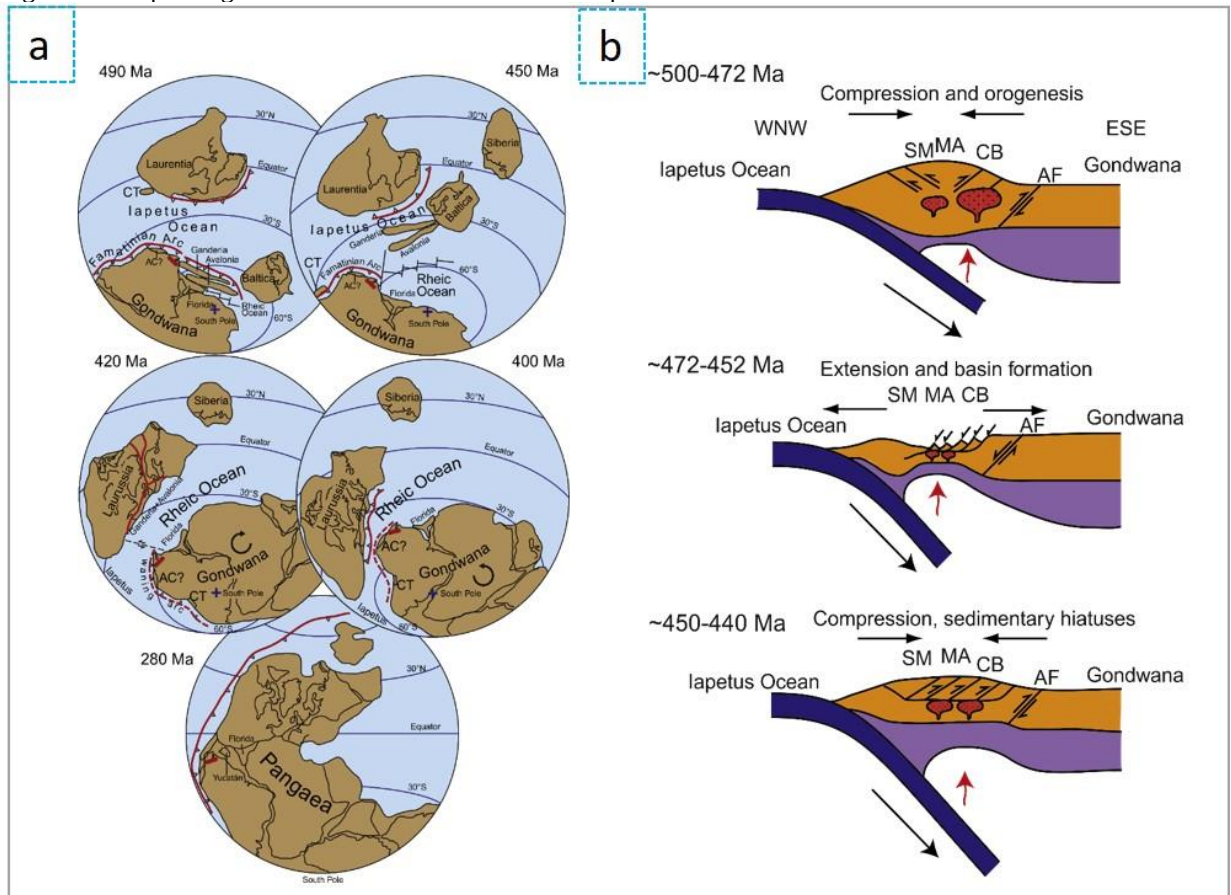
472 e ~ 453 Ma, terminando com bacias que se formaram nas rochas metamórficas de fácies anfibolito. (VAN DER LELIJ *et al.*, 2016). (Figura 4).

Figura 3 – Mapa da América do Sul, com o cráton amazônico, e destacando os terrenos de idade Grenvilliana (Arequipa, Antofala, Santander, Garzon, Santa Marta e Sunsas).



Fonte: Compilado de RAMOS (2010) & IBAÑEZ, 2010.

Figura 4 – Esquema geodinâmico no Paleozóico Inferior para os Andes Setentrionais.



Legenda: (a) Reconstrução paleogeográfica, (b) Modelo tectonometamórfico. AF (Falha Apure); CB (Bloco Caparo); MA (Andes de Mérida); SM (Maciço de Santander).

Fonte: VAN DER LELIJ *et al.*, 2016.

3.3 Contexto geotectônico

Os Andes colombianos são formados por três cadeias de montanhas principais: as cadeias de montanhas ocidental, central e oriental, que cruzam o país na direção NE-SW (CORDANI *et al.*, 2005) e incluem sistemas orográficos menores, como a *Sierra Nevada de Santa Marta* e a *Serranía de Baudó* (ORDOÑEZ *et al.*, 2006) (Figura 5).

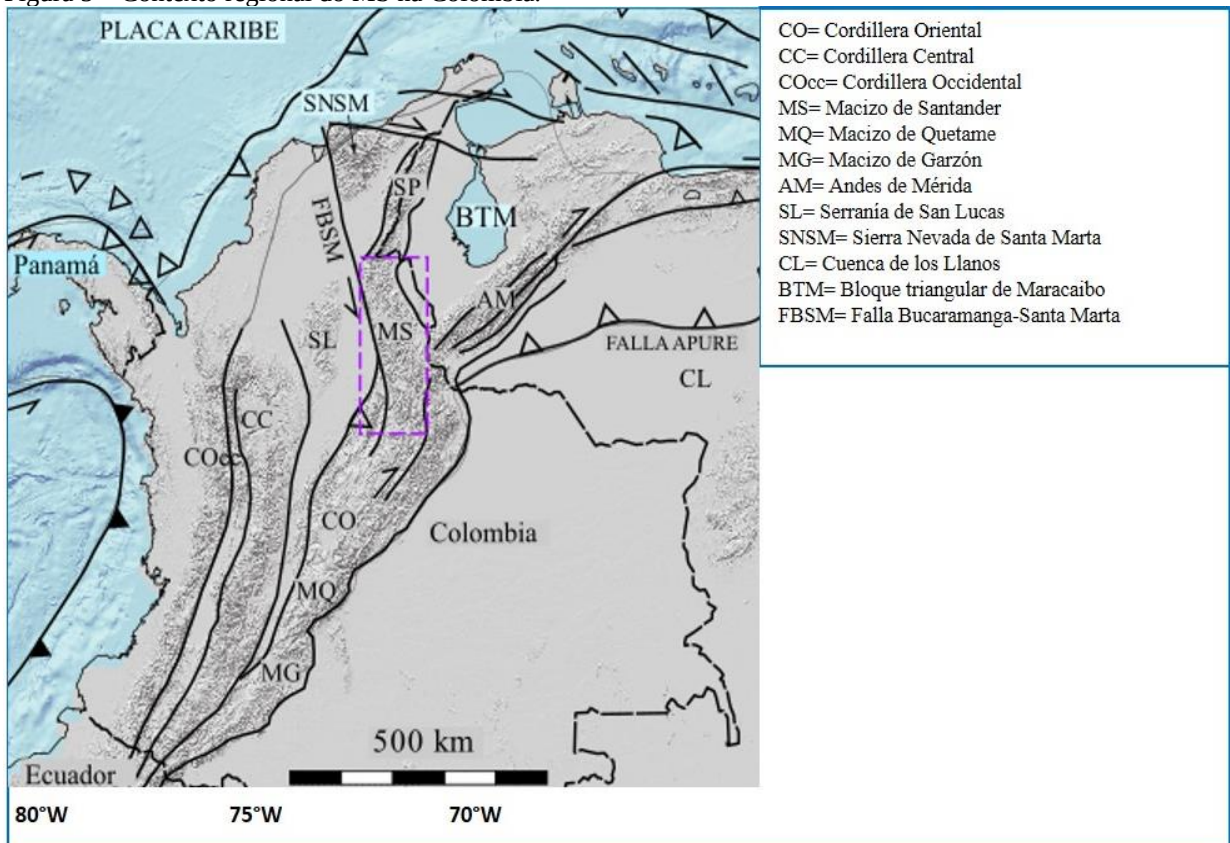
No Maciço de Santander, os metapelitos da Formação Silgará (no sentido de WARD *et al.*, 1973), são intrudidos por granitos calcio-alcálinos da unidade Ortogneisse, que apresentam forte foliação. A foliação tanto dos granitos quanto dos metapelitos são concordantes, o que implica uma origem sintectônica para os primeiros (RESTREPO-PACE *et al.*, 2010). A idade U-Pb em zircões de 477 ± 16 Ma para granitos foliados é interpretada como a idade de metamorfismo da Formação Silgará (RESTREPO-PACE, 1995). Os granitos sintectônicos,

com idades entre 500 e 475 Ma, datam o clímax do episódio orogênico Caparonensis no norte da América do Sul. As rochas envolvidas neste evento tectonotérmico, podem ser rastreadas no centro e sul dos Andes como o orógeno Famatiniano na Argentina e os Andes no sul da Bolívia. (RESTREPO-PACE *et al.*, 2010).

3.3.1 Maciço de Santander

O Maciço de Santander faz parte do núcleo da Cordilheira Oriental da Colômbia, formado por estruturas maiores que controlam sua mudança de curso de NE para NNW. A evolução geológica deste complexo está ligada a outros relevos e geoformas do norte dos Andes, como o Maciço de Floresta ao sul, a *Serranía de Perijá* ao norte e os Andes de Mérida ao NE na Venezuela (VELANDIA, 2017). O MS, é um bloco elevado localizado entre as falhas principais, a oeste, é limitado pela falha de *Bucaramanga*, que é uma falha sinistral com componente inversa. O limite oriental do Maciço é formado pela Falha *Labateca – Chucarima* segundo (VELANDIA, 2017).

Figura 5 – Contexto regional do MS na Colômbia.



Fonte: Modificado de VAN DER LELIJ *et al.*, 2016.

O embasamento metamórfico do MS, é constituído pelas unidades litológicas Gnaiss Bucaramanga, Xisto Silgará (ss), Xisto Chicamocha, Ortognaisse, Filitos San Pedro, Metasedimentares de *Guaca* e *Quebrada la Virgen*, *Floresta Metamorfoseada* e Formação *Mogotes* (WARD *et al.*, 1973; RESTREPO-PACE, 1995; ROYERO & CLAVIJO, 2001; MANTILLA *et al.*, 2016; GARCIA *et al.*, 2017). Em relação às unidades de rochas ígneas, considera-se que apresentam idades tanto do Paleozoico, Mesozoico e Mioceno (WARD *et al.*, 1973; ROYERO & CLAVIJO, 2001; MANTILLA *et al.*, 2012). Um conjunto de rochas sedimentares de idade Paleozoica tardia (Devoniano Médio e Superior, Carbonífero e Permiano), cobre as rochas metamórficas anteriormente mencionadas (MANTILLA *et al.*, 2016).

O quadro estrutural do MS e as zonas adjacentes são caracterizados por várias falhas principais de cavalgamento com tendência NW e longitudinal, como as falhas *Bucaramanga*, *Guamalito*, *Lebrija*, *Haca*, *Villa Caro*, *Chitagá* e *Chucarima*, todas com deslizamento lateral esquerdo (VELANDIA *et al.*, 2020). Segundo VELANDIA *et al.* (2020), o MS foi submetido à tectônica transpressiva com estilo dominó, controlada por falhas de deslizamento sinistral longitudinal, como a falha de *Bucaramanga*. O estilo tectônico também exibe falhas transversais de tendência NE-SW, com cinemática dextral *strike-slip*. Recentemente VELANDIA (2017) definiu a continuidade, vergência e cinemática das principais estruturas do MS, identificando como estrutura principal da área, o Sistema de Falhas S2M2 integrado de sul a norte pelas Falhas *Soapaga*, *Río Servitá*, *Mutiscua* e *Las Mercedes*, que constitui o limite leste do “*Alto de Santander*”. Além disso, VELANDIA (2017) propõe novos limites para o MS da seguinte forma: o limite oeste seria definido pela Falha *Lebrija* e o limite leste, pela estrutura principal S2M2 (*Soapaga– Río Servitá – Mutiscua– Las Mercedes*).

Diferentes autores (VAN DER LELIJ, 2013; AMAYA, 2016; VAN DER LELIJ & MORA, 2016; VELANDIA, 2017) relatam taxas de exumação e soerguimento para o MS. VAN DER LELIJ (2013) e VAN DER LELIJ & MORA (2016), propõem por meio de traças de fissão em zircões e apatitas, que a exumação do MS começou há cerca de 40 Ma, durante o período de convergência acelerada entre a placa *Nazca-Farallón* e a margem oeste da América do Sul. AMAYA (2016), estudou os padrões de exumação do MS usando idades de rastreamento de fissão em apatitas e zircões. Para AMAYA (2016), a Falha de *Bucaramanga* é a principal estrutura geológica que controla a exumação da parte central, oeste e sudoeste do MS. Para este autor, a exumação atuou diferencialmente em pelo menos três blocos tectônicos que neste estudo foram denominados: Bloco Oeste da Falha de *Bucaramanga* (com exumações da ordem de 0,1 a 0,3 Km / Ma no setor *Cepitá* e 0,3 a 0,5 Km / Ma no setor *Picacho*), bloco Leste da

Falha de *Bucaramanga* (com exumação da ordem de 0,7 a 1,5 Km / Ma no setor *Cepitá*), e bloco *Califórnia-Vetas* (com exumação da ordem de 0,3 a 0,4 Km / Ma na região central. Finalmente, VELANDIA (2017), realizou um estudo de termocronologia de baixa temperatura, apresentando novos dados sobre as idades Mesozoica e Cenozoica, que incluem amostras de traços de fissão em apatitas e zircões e (U-Th) / He em apatitas e zircões. Este autor discriminou cinco pulsos que indicam o início da exumação / desnudação da seguinte forma: (1) 53-51 Ma, (2) 39-36 Ma, (3) 22–17 Ma, (4) 5,5-4,5 Ma, (5) 0,4 Ma (?). Os primeiros dois são relacionados à exumação da área no início e final do Eoceno, associado à atividade das falhas de Boyacá e Soapaga durante a inversão tectônica da área. O início mais evidente do pulso de resfriamento na área foi discriminado no intervalo de 22-17 Ma (início do Mioceno), com altas taxas de resfriamento (entre 20 e 28 ° C / Ma). Este pulso está associado à idade da Falha de Bucaramanga e ao início de sua atividade transpressiva em sua zona sul. Outro importante pulso de resfriamento é registrado no início do Plioceno (5,5-4,5 Ma), também com uma taxa elevada (20 ° C / Ma), enquanto o pulso mais recente devido à reativação da falha de *Bucaramanga* parece ocorrer há 400.000 anos, calculando uma taxa média de exumação de 0,3 e 0,4 km / Ma, mas com acelerações de até 0,9 km / Ma.

3.3.1.1 Unidades Estratigráficas

Os estudos disponíveis no MS e na área do presente estudo são descritos a seguir, para as unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará (Figura 6 e tabela 2).

3.3.1.2 Gnaiss Bucaramanga

WARD *et al.* (1973) definiram o Gnaiss Bucaramanga como “uma sequência estratificada de rochas de alto grau metamórfico consistindo principalmente de paragneisses pelíticos, semipelíticos e arenosos e quantidades subordinadas de gnaisses calcário, mármore, gnaisses hornbléndicos e anfibolito, incluindo zonas migmatitos.”, que afloram no MS nas faixas Bucaramanga (oeste), central e oriental. Estudos mineralógicos, geoquímicos, química mineral e geotermobarométricos foram realizados por GOLDSMITH *et al.* (1971), WARD *et*

al. (1973), RESTREPO–PACE *et al.* (1997), CORDANI *et al.* (2005), GARCIA *et al.* (2005), ORDOÑEZ *et al.* (2006), UREÑA & ZULUAGA, (2011), CUELLAR *et al.* (2012), AMAYA (2012), CARDONA (2013), VAN DER LELIJ *et al.* (2016) ZULUAGA *et al.* (2017). Litologicamente, é composto por gnaisses quartzo-feldspático biotíticos e sillimanítico e intercalações de gnaisses hornbléndicos, quartzitos e anfibolitos. Os principais minerais formadores desses gnaisses são plagioclásio, biotita, hornblenda, feldspato potássico (ortoclásio), quartzo, muscovita, sillimanita e granada. Os minerais acessórios são ilmenitas, zircão, magnetita, rutilo e titanita. O metamorfismo desta unidade atingiu as fácies granulito. As condições de pressão e temperatura (P-T) de metamorfismo foram calculadas no centro, nordeste, noroeste e sul por GARCIA *et al.* (2005), UREÑA & ZULUAGA (2011) e AMAYA (2012), usando o software TWQ de Berman e usando os sistemas KFMASH (K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O) e MnNCKFMASH (SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, FeO, K₂O, Na₂O, MnO) comumente usados em composições pelíticas. Foram obtidas para esta unidade temperaturas entre 660 °C e 750 °C de temperatura e 5,5 e 7,5 Kbar de pressão.

Em direção ao setor mais oriental do MS, a presença de ortopiroxênios, cordierita e andaluzita é relatada (ESTUPIÑAN & ULLOQUE, 2018). Em relação às idades do protólito e do principal evento metamórfico do Gnaiss Bucaramanga, os dados geocronológicos disponíveis apresentam uma ampla variação (Tabela 2). De acordo com WARD *et al.* (1973); ORDOÑEZ *et al.* (2006); RESTREPO-PACE *et al.* (1997); CORDANI *et al.* (2005) as rochas do Gnaiss foram metamorfoseadas durante o Proterozóico, com idades em torno de 1057 ± 28 , 945 ± 40 , 854 ± 66 , 850, 800 Ma. CARDONA (2013), forneceu idades usando os métodos U-Pb SHRIMP, Sm-Nd e Ar-Ar para esta unidade a leste da cidade de Bucaramanga. Os dados U-Pb SHRIMP em zircões de um gnaiss biotítico, com idades relatadas em torno de 1550 e 1465 Ma, indicando que o protólito deste gnaiss apresenta fontes diferentes, como resultado de um protólito sedimentar. De acordo com este autor, esta unidade passou por pelo menos dois eventos de metamorfismo por volta de 1164-1112 Ma e 1060-864 Ma. Um gnaiss biotítico e dois gnaisses hornbléndicos foram analisados por Sm-Nd em rocha total. A idade do modelo Sm-Nd TDM foi 1619 Ma e uma idade do protólito de T (Ma) foi 1160. Três amostras de gnaisses, das quais 3 biotitas foram separadas e dois anfibólios foram usados para geocronologia Ar-Ar. A idade integrada deu um intervalo entre $194,9 \pm 0,5$ e $217 \pm 0,5$ Ma, evidenciando um aquecimento na era jurássica. A proximidade dessas rochas, como o Plutão do Paramo Rico, com idade U-Pb de 207 Ma (DORR *et al.*, 1995 conforme foi citado em CARDONA, 2013), relaciona diretamente o efeito térmico desse magmatismo com a liberação total de Ar radiogênico das rochas do embasamento, e aquecimento regional de mais de 500 °

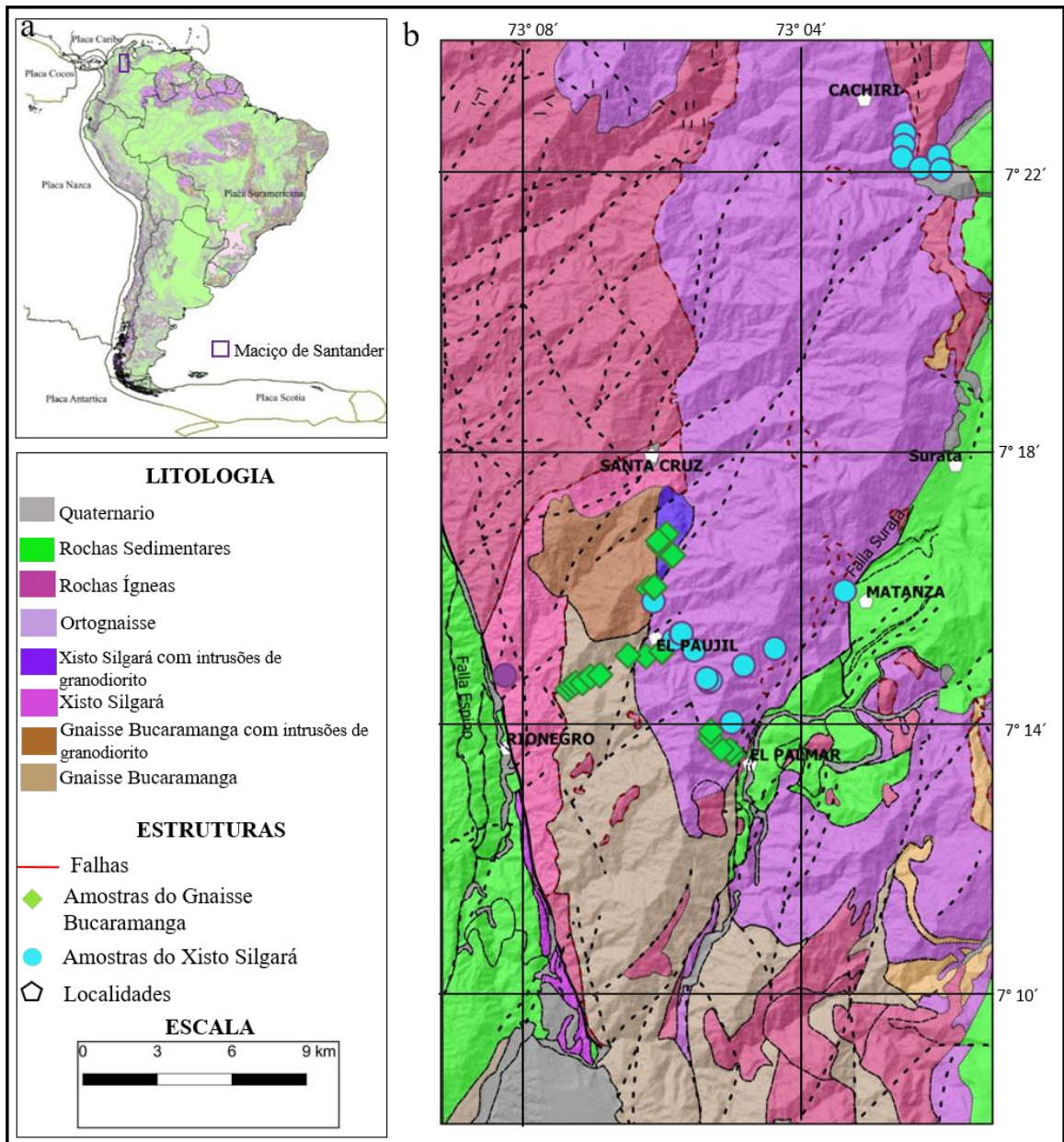
C. Por outro lado, AMAYA (2016), propõe que o evento metamórfico de alto grau que afetou o protólito Gnaiss Bucaramanga começou no Cambriano Inferior e terminou no final do Siluriano, atingindo o pico metamórfico no Ordoviciano Médio. A idade do protólito está restrita entre de 1300 a 1200 Ma. de acordo com as idades U-Pb SHRIMP em zircões relatados por CORDANI *et al.* (2005).

3.3.1.3 Xisto Silgará

WARD *et al.* (1973) definiram a Formação Silgará como “uma sequência de rochas clásticas metamorfoseadas, tipicamente finas e ciclicamente estratificadas, consistindo de xisto, filito, metassiltito, metarenito impuro, metagrauvaca e metagrauvaca impura com menor quantidade de ardósia e filito calcário”. Essas rochas afloram no MS em três faixas principais: a faixa *Matanza-Cachirí* (trecho típico desta unidade), a faixa Piedecuesta-Aratoca e a faixa Berlin-Silos-Mutiscua. Mineralógica, geoquímica, química mineral, geotermobarometria e idades do evento metamórfico e do protólito foram realizadas principalmente por GOLDSMITH *et al.* (1971); WARD *et al.* (1973); RIOS *et al.* (2003); GARCIA *et al.* (2005); CASTELLANOS *et al.* (2008); MANTILLA *et al.* (2016a, 2016b). Litologicamente, esta unidade é composta por quartzitos, xistos micáceos com granada, estaurolita, cianita / andalusita e silimanita, xistos hornbléndicos e anfibolíticos, mármore, xistos calcio-silicatos e filitos. Essas rochas são geralmente compostas de quartzo, plagioclásio, muscovita, biotita, clorita, granada, estaurolita, andalusita, cianita, silimanita, anfibólio e epidoto. Minerais acessórios são grafita, ilmenita, magnetita, epidoto, zircão, titanita, turmalina e rutilo. O padrão geoquímico REE dessas rochas metassedimentares indica que elas vêm de sedimentos originados pela delaminação de uma crosta continental fortemente diferenciada (MANTILLA *et al.*, 2016). As condições P-T de metamorfismo foram calculadas por RIOS *et al.* (2003), GARCIA *et al.* (2005) e CASTELLANOS *et al.* (2008) usando o software Berman's TWQ na parte central e sudoeste do Maciço de Santander, produzindo temperaturas entre 400 e 704 ° C e pressões entre 4 e 7,2 Kbars. MANTILLA *et al.* (2016), relataram idades U-Pb em zircões detriticos de máxima deposição de rocha dos *Xisto Silgará* nos setores oeste e sudoeste. Três faixas são diferenciadas: (1) 940 Ma, (2) 524 Ma e (3) 480 Ma. A idade do metamorfismo dos *Xisto Silgará* não foi definida diretamente nessas rochas. Porém, em diferentes setores do MS, rochas dos *Xisto Silgará* foram intrudidas sinteticamente por corpos de Ortogneisses de idade

Ordoviciano Inferior (479 a 471 Ma) na época do pico metamórfico, evidência disso é a concordância no sentido das foliações dessas duas unidades. As idades de 480-470 Ma (RESTREPO-PACE, 1997; RESTREPO-PACE *et al.*, 2010; MANTILLA *et al.*, 2012; VAN DER LELIJ, 2013 e GARCIA *et al.*, 2017) estão relacionadas ao evento Orogênico Quetame-Caparonensis (RESTREPO-PACE & CEDIEL, 2010), também denominado o principal Famatiniano por MANTILLA *et al.* (2016) (Tabela 2). As diferentes idades de deposição máxima, variações litológicas significativas e pico metamórfico nas diferentes condições P-T obtidas por MANTILLA *et al.* (2016a e 2016b) em rochas mapeadas como Unidade *Xisto Silgará* foram considerados por esses autores para propor a divisão desta unidade da seguinte forma: (1) Xisto Silgará, (2) Xisto Chicamocha e (3) Filitos San Pedro.

Figura 6 – Mapa geológico e de amostras da área de estudo.



Legenda: (a). Mapa da América do Sul. (b). Mapa de amostras

Fonte: (a). Modificado do Serviço Geológico da Colômbia

<https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/gmsa5M2019.aspx>. (b). A autora, 2021.

Tabela 1 – Resumo das idades nas unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará ao longo do MS.

NUMERO DE AMOSTRA	UNIDADE	LITOLOGÍA	ROCHA/MINERAL	MÉTODO	IDADE (Ma)	DESCRIÇÃO SEGUNDO AUTORES	AUTOR
13199 IMN-33199	Gnaiss Bucaramanga	Biotita gnaiss	rocha total	Rb/Sr	680±140	Idades Híbridas o que podem indicar um evento metamórfico ou térmico no Precâmbrio	GOLDSMITH <i>et al.</i> (1971) y WARD <i>et al.</i> (1973)
IMN-12263		Hornblendita gnaiss	hornblenda	K/Ar	945±40		
IMN-13199		Biotita gnaiss	biotita	K/Ar	198±7	Idades que indicam que o Gnaiss foi submetido a um evento térmico Triássico- Jurássico	
					189±4		
MN-12262		metadiorito	hornblenda	K/Ar	413±30	sugerem um evento térmico no Ordoviciano tardio ou no Siluriano temprano	
IMN-14362		pegmatito	muscovita	K/Ar	457±13		
					432±8		
					439±12		
OT-1		Hornblendita gnaiss	Hornblenda	K/Ar	574±8	relações K/Ca para essas amostras imitam sua forma geral de espectros de idade, implicando novamente que talvez mais de uma fase mineral estava presente nas amostras desgaseificadas. o espectro de idade resultante, portanto, poderia representar uma idade de mistura entre hornblenda e filossilicatos mais jovens.	RESTREPO-PACE <i>et al.</i> (1997)
OT-2		Hornblendita gnaiss	hornblenda	K/Ar	668±9		
			zircões detriticos	U/Pb	981±85		RESTREPO-PACE & CEDIEL (2010)
			zircões detriticos	U/Pb	1558±18	Idades do protólito	CORDANI <i>et al.</i> (2005)
			zircões detriticos	U/Pb	1540±12		
					1057±28	Idade do evento de metamorfismo	
PCM-1105					864±66	episodio metamorfico tardio	
		Biotita gnaiss	biotita	Ar/Ar	201.0±0.3	evolução térmica apontando para um episódio de reinicialização parcial do Jurássico Inferior relacionado à atividade tectonomagmática andina Mesozóica	
					197.7±0.3		
199.0±0.3							
PCM-815		Biotita-hornblenda gnaiss	biotita	Ar/Ar	200.7±0.4		
					193±0.4		
					192.7±0.7		
		hornblenda			196.2±0.7		
					199.1±0.6		
					204±0.4		
PCM-1102		Biotita-hornblenda gnaiss	biotita	Ar/Ar	152±2		
					138.9±1.4		
					199±0.5		
					hornblenda		206.4±0.5
	193.8±0.4						
	181.8±1.2						
		zircões detriticos	U/Pb	1164-1112 1060-864	Idade de metamorfismo	CARDONA, (2003)	
10VDL23	gnaiss com hornblenda, biotito e plagioclasio	zircões detriticos	U/Pb	461±2.1	idade U/Pb do zircão provavelmente registra o tempo de cristalização do protólito ígneo.	VAN DER LELIJ <i>et al.</i> , (2016)	

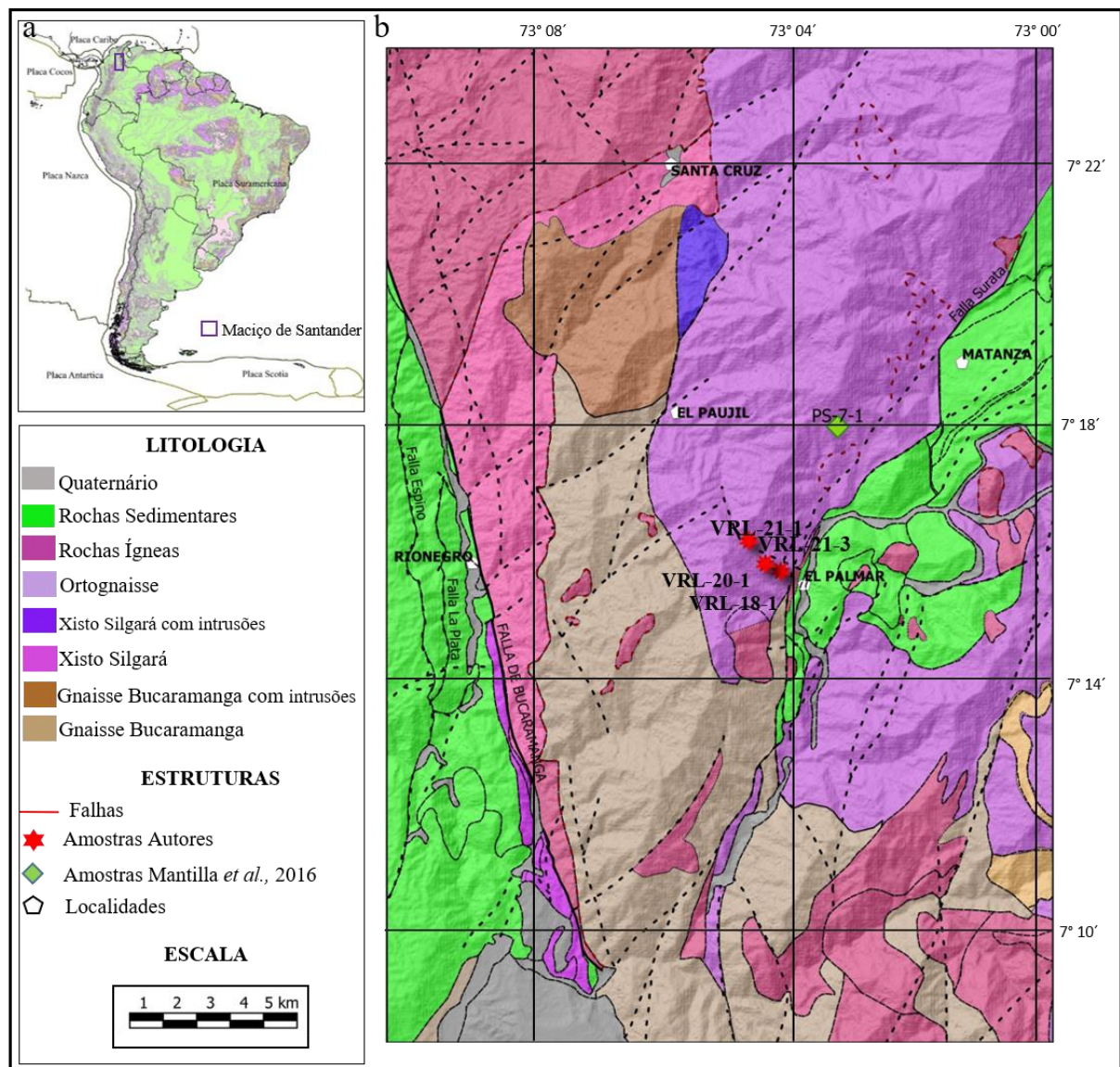
10VDL50		leucossomo composto principalmente de quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita em menor proporção			477±5.3	idade com uma grande dispersão (MSWD = 7,5; Tabela 1) que pode ser resultado da análise acidental de pequenos núcleos de zircão ou perda parcial de Pb, possivelmente durante a intrusão de o dique de corte transversal.	
		Leucossomes em migmatitos		U/Pb	524±39	Idade do evento de metamorfismo no Gnaiss Bucaramanga	AMAYA (2016)
10VDL49	Xisto Silgará	Biotita-hornblenda gnaiss	zircões detriticos	U/Pb	479.8±3.1	idade U/Pb do zircão provavelmente registra o tempo de cristalização do protólito ígneo e do evento de metamorfismo.	VAN DER LELIJ <i>et al.</i> , (2016)
PS-7-1		quartzito	zircões detriticos	U/Pb	906,5±10,5 y 1610,3±9,8	idade de máxima deposição	MANTILLA <i>et al.</i> (2016)
PS-4-1	Xisto Chicamocha (Formação Silgará)	quartzito	zircões detriticos	U/Pb	455,1±6,1 y 2.586,9±10,2		
PS-1-1	Filito San Pedro (Formação Silgará)	Metarenito	zircões detriticos	U/Pb	451,6 ±7,7 y 1.611,5 ±13,6		
AMVO-25	Formação Silgará	Granada-estaurolito xisto	zircões detriticos	U/Pb	414	idade de máxima deposição	CARDONA <i>et al.</i> (2016)
AMVO-26		Muscovita xisto			368		
AMVO-27		Muscovita xisto			478		
AMVO-33		Sericita xisto			932, 961, 1010, 1157, 1350, 1543		
AMVO-37		Granada-muscovita xisto			566, 1090, 1358, 1557, 1712, 1960		
AMVO-40		Biotita-estaurolito xisto			936, 1025, 1206, 1348, 1564		
AMVO-41		Clorita xisto			457, 489, 1815		
AMVO-43		Muscovita xisto			512, 550, 1348, 1535, 1604, 1755		
AMVO-45		Muscovita-biotita xisto			1176, 1347, 1637		

Fonte: A autora, 2021.

4 RESULTADOS

A seguir, descrevemos os dados geológicos obtidos em campo e em laboratório. A geocronologia U-Pb em zircões detriticos é apresentada em diagramas de densidade e probabilidade, com os principais picos de idade relatados, a fim de auxiliar nas discussões sobre a área fonte e sua influência na evolução das amostras estudadas. As amostras estudadas são mostradas na figura 7.

Figura 7 – Mapa da localização da área de estudo.



Legenda: (a). Mapa de América do Sul mostrando o domínio andino e o Maciço de Santander. (b). Mapa geológico da área de estudo com as amostras analisadas.

Fonte: (a). Modificado do Serviço Geológico da Colômbia

<https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/gmsa5M2019.aspx>. (b) A autora, 2021.

4.1 Geologia Local e Petrografia

4.1.1 Gnaiss Bucaramanga

O Gnaiss Bucaramanga na faixa oeste, ocorre como um corpo alongado no sentido N-S, que se estende desde o *Município de Bucaramanga* até o setor de *Santa Cruz*. Apresenta cores branco, cinza e amarelo, estrutura gnáissica, com bom desenvolvimento da foliação. Na escala de afloramento, são observados porfidoblastos de biotita e plagioclásio de até 5 mm, veios de quartzo concordantes e discordantes com a foliação principal do gnaiss, e evidências de deformação (fraturas, juntas e bandas de deformação) (Figura 8). A biotita gnaiss é o litotipo principal, anfibolitos e quartzitos são observados em menor proporção.

Figura 8 – Afloramentos do Gnaiss Bucaramanga no setor *El Palmar– Vereda San Isidro*.



Legenda: (a) e (b). Porfidoblastos de plagioclásio (quadrado em vermelho). (c). Desenvolvimento da foliação do Gnaiss Bucaramanga com camadas muito delgadas.

Fonte: A autora, 2020.

4.1.1.1 Biotita Gnaiss, amostras VRL-18-1 y VRL-20-1 e Mica Gnaiss amostra VRL-21-1

Rocha heteroblástica com granulometria média a fina. A foliação é bem definida, formando bandas (em alguns casos delgadas), com presença de níveis de microlitons (quartzo,

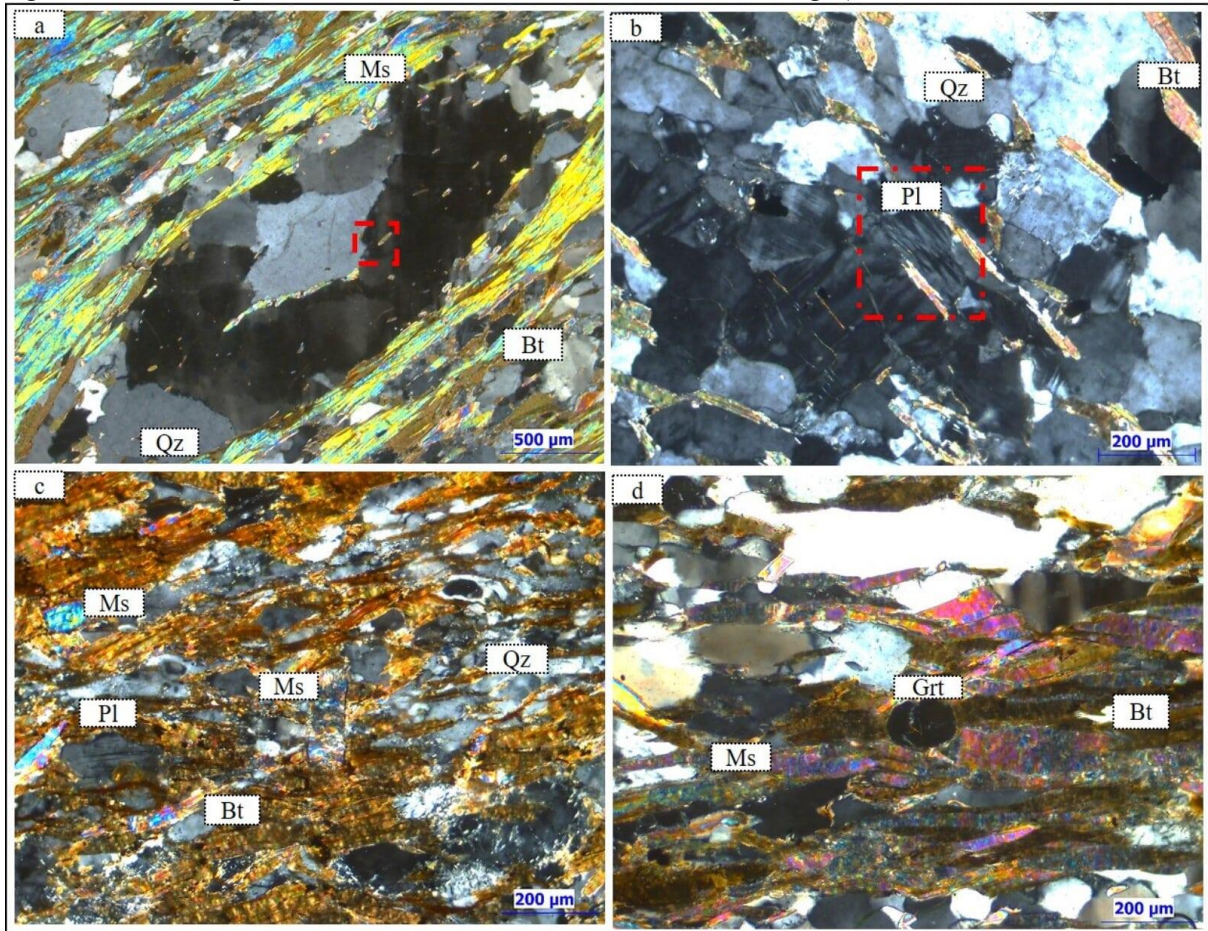
plagioclásio e feldspato potássico) e clivagem (biotita e muscovita). Os minerais acessórios são zircão, turmalina, granada e apatita. A amostra VRL-21-1 apresenta características de deformação dúctil, com formação incipiente de subgrãos, bordas irregulares e extinção ondulante em quartzo. Nesta amostra, os cristais de plagioclásio apresentam geminação por deformação, nos cristais de biotita observam-se dobras tipo kink (Figura 9a e b) e foi possível observar duas direções de foliação; a foliação S_0 é definida pela presença de inclusões de muscovita em porfiroblastos de quartzo deformados, que seguem o padrão de foliação S_1 externa na rocha. Os cristais de biotita e muscovita no gnaiss biotítico apresentam duas gerações: biotita 1 e muscovita 1, definem a foliação principal da rocha. Biotita 2 e muscovita 2 ocorrem de modo incipiente. São cristais alongados na direção oblíqua a perpendicular, de acordo com a foliação principal da rocha, sem poder definir uma segunda direção de foliação (Figura 9c). Os cristais de ortoclásio possuem inclusões aleatórias de muscovita e turmalina. As principais texturas da rocha são lepidogranoblástica e granolepidoblástica. Observam-se texturas localmente porfiroblásticas, poiquilíticas e pertíticas. As principais associações minerais na biotita gnaiss são: biotita1 + quartzo $\pm$ plagioclásio $\pm$ muscovita1 $\pm$ opaco; biotita1 + muscovita1 + quartzo $\pm$ plagioclásio $\pm$ ortoclase $\pm$ turmalina; muscovita2 + biotita 2. A associação observada no muscovita gnaiss é: biotita1 + muscovita1 + quartzo $\pm$ turmalina $\pm$ granada.

4.1.2 Xisto Silgará

Segundo WARD *et al.* (1973), em contato inferido e sobrejacendo ao Gnaiss Bucaramanga, ocorrem os Xistos Silgará. Compreende uma faixa alongada que vai do sul de Matanza até o Município de Cachirí. Apresenta cores brancos, amarelos, cinzas e verdes, estrutura xistosa, com bom desenvolvimento de foliação. Na escala de afloramento, é possível observar indícios de deformações (dobras) (Figura 10).

Corpos de granodioritos pertencentes ao Batólito do Rio Negro, intrudem rochas do Gnaiss Bucaramanga e dos Xistos Silgará.

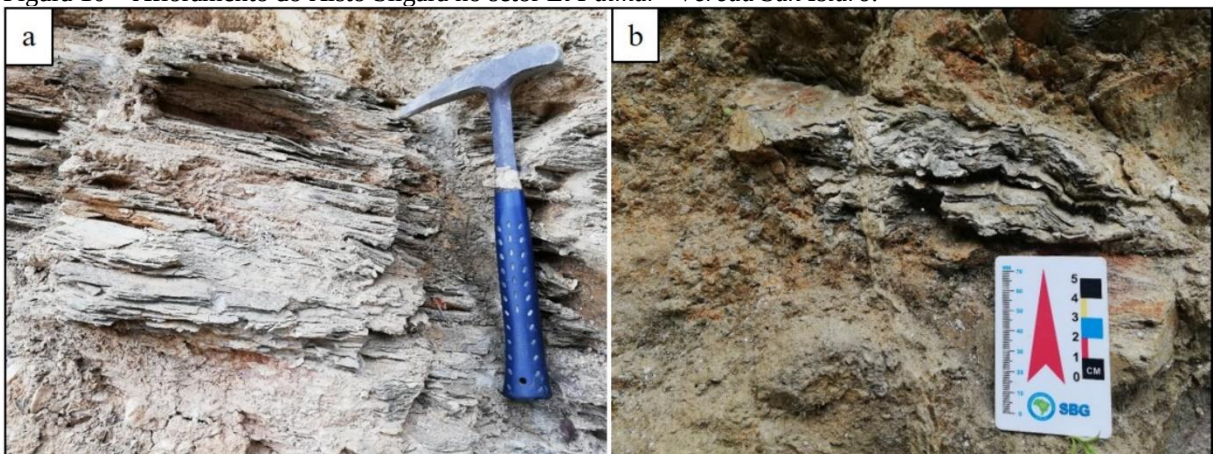
Figura 9 – Fotomicrografias das amostras estudadas no Gnaiss Bucaramanga (VRL-18-1; VRL-20-1; VRL-21-1).



Legenda: (a). Porfiroblastos de quartzo com formação incipiente de subgrãos e inclusões de muscovita seguindo a direção da foliação externa (caixa vermelha). (b). Geminação de formação em plagioclásio (caixa vermelha). (c). Textura granolepidoblástico e cristal de muscovita perpendicular à foliação da rocha principal. (d). cristal granada. Todas as fotomicrografias mostram estrutura gnáissica.

Fonte: A autora, 2020.

Figura 10 – Afloramento do Xisto Silgará no setor *El Palmar– Vereda San Isidro*.



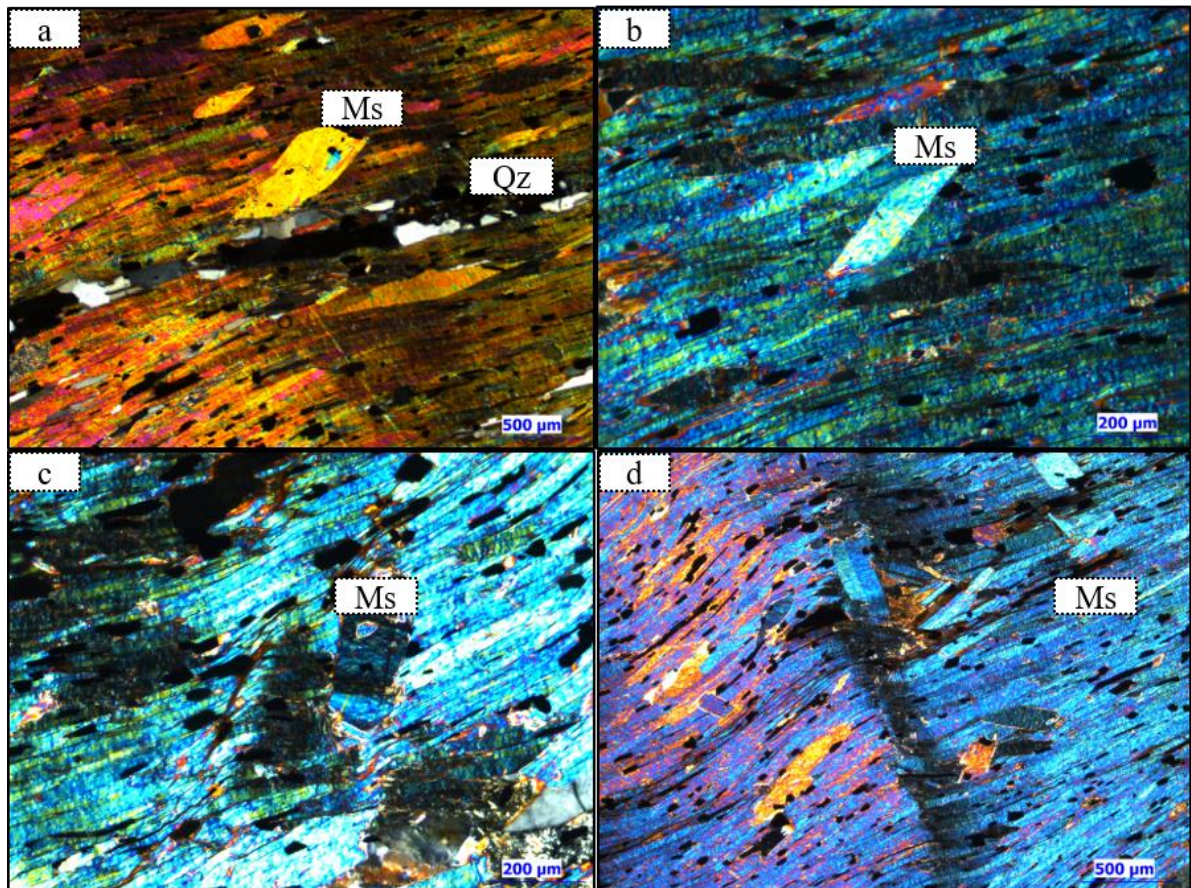
Legenda: (a). Estrutura do xisto. (b). evidência de deformação em forma de crenulações assimétricas.

Fonte: A autora, 2020.

4.1.2.1 Muscovita Xisto, amostra VRL-21-3

Rocha heteroblástica com granulometria média a fina e evidência de deformação dúctil, principalmente em cristais de muscovita, que são dobrados (Figura 11). Três direções de foliação são observadas, definidas pelo menos por três gerações de muscovita. Muscovita 1, são porfiroclastos na forma de mica peixe. Muscovita 2, são cristais alongados que formam a matriz e a foliação principal da rocha, que se dobram definindo os níveis de crenulação e clivagem junto com quartzo, minerais opacos e turmalina. Em alguns setores, observa-se a formação de dobras fechadas. A muscovita 3 são porfiroclastos dispostos perpendicularmente à crenulação da rocha, que cresceu durante a fase de deformação $S_n + 3$. Os minerais acessórios são plagioclásio, turmalina e opaco. A estrutura geral da rocha é milonítica.

Figura 11 – Microfotografias da amostra estudada nos Xisto Silgará (VRL-21-3).



Legenda: (a) e (b). mica *fish*. (c). mica perpendicular à foliação da rocha principal. (d). Microdobras em muscovita.
Fonte: A autora, 2020.

4.2 Geocronologia U-Pb

Dois biotita gnaiss (amostras VRL-18-1 e VRL-20-1), uma mica gnaiss (amostra VRL-21-1) do Gnaiss Bucaramanga e um muscovita xisto (amostra VRL-21-3) do Xisto Silgará, foram datados pelo método U-Pb LA-ICP-MS em zircões detriticos. As imagens de catodoluminescência mostram que os grãos de zircão são principalmente sub-arredondados e prismáticos (Figura 12b, 13b, 16b, 14b). É possível notar uma zanação às vezes bem definida, com tamanhos variando de 300 a 500 μm para zircões nos gnaisses e 400 a 500 μm para os zircões nos xistos. Para a geração dos histogramas e diagramas de concordância, foram utilizados os zircões com concordância maior ou igual a 90%. Os resultados analíticos são apresentados a seguir com diagramas e interpretações.

Dos 108 grãos analisados na amostra VRL-18-1, 70 atenderam aos padrões estabelecidos (Figura 12a e Apêndice A). As idades mais jovens ocorrem em apenas dois zircões de 556 ± 15 Ma e 837 ± 22 Ma. O maior número de zircões tem idades entre 1005-1110 Ma e 1171-1313 Ma ($n = 14$ e $n = 19$), que representam 20% e 27% respectivamente. As seguintes populações de zircões apresentam idades entre 883 ± 39 - 934 ± 12 Ma e 1447 ± 18 - 1528 ± 23 Ma ($n = 8$ e $n = 10$), simbolizando 11% e 14%. Esses conjuntos de idades têm picos de 990 e 1173 Ma. A seguinte população de zircões relata idades entre 1139 ± 28 - 1145 ± 13 Ma e 1600 ± 29 - 1612 ± 24 Ma ($n = 5$ e $n = 2$), com picos de 1343 e 1524 Ma que juntos representam 3%. Finalmente, as idades mais antigas estão na faixa entre 1646 ± 21 e 2111 ± 151 Ma, com um pico em 2017 Ma (Figura 12c).

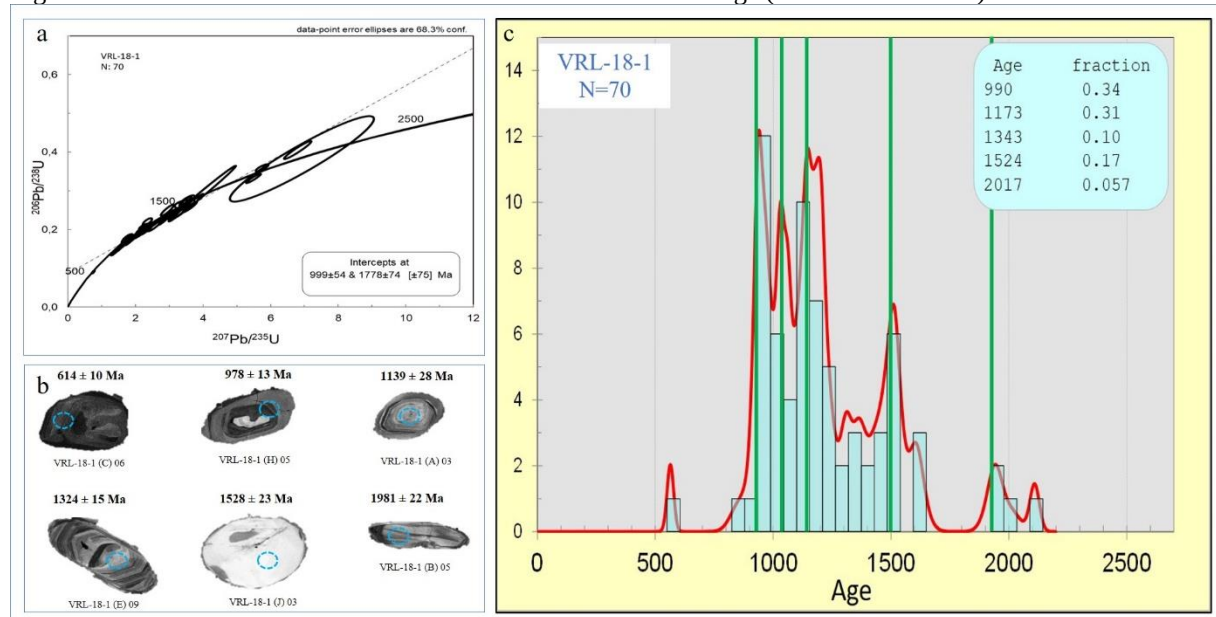
Dos 162 grãos analisados, 122 foram usados para gerar os diagramas (Figura 13a) na amostra VRL-20-1 (Figura 13 e Apêndice B). A idade mais jovem é representada apenas por um grão de zircão de 207 ± 14 Ma com um pico em 286. O maior número de zircões sugere idades entre 861 ± 52 - 1066 ± 17 Ma e 1159 ± 15 - 1296 ± 11 ($n = 33$ e $n = 55$), que representam 27% e 45% respectivamente. As seguintes populações de zircões apresentam idades entre 1101 ± 46 - 1143 ± 13 Ma e 1556 ± 13 - 1968 ± 17 Ma ($n = 9$ e $n = 10$), que representam 7% e 8%. Finalmente, as outras populações de zircões representam idades entre 525 ± 17 - 555 ± 29 Ma; 748 ± 51 - 792 ± 36 Ma e 1325 ± 19 - 1500 ± 16 Ma; ($n = 4$; $n = 2$; $n = 8$), que juntos simbolizam 11%. Essas idades são representadas por picos entre 1128-1130 Ma.

Na amostra VRL-21-1 foram analisados 63 grãos (Figura 14 e Apêndice C), deste total, 38 grãos atenderam aos critérios para elaboração dos diagramas (Figura 14). A idade mais jovem é representada apenas por um grão de zircão 338 ± 36 Ma, com um pico em 337. O maior

número de zircões tem idades entre 1015 ± 11 Ma- 1042 ± 17 Ma e 1153 - 1200 Ma ($n = 8$ e $n = 13$), com picos de 1002 e 1071 Ma, que simbolizam 22% e 35% respectivamente. A seguinte população de zircões, representa idades entre 1219 ± 23 - 1263 ± 21 Ma com um pico em 1201 Ma e 935 ± 25 - 976 ± 21 Ma. Finalmente, a última população com idade entre 1088 ± 19 - 1092 ± 26 e 1316 ± 30 - 1481 ± 15 Ma representa 14%.

Dos 116 grãos analisados na amostra VRL-21-3, 109 foram usados para gerar os diagramas (Figura 15). A idade mais jovem de 695 ± 43 Ma foi obtida apenas em um grão de zircão. O maior número de zircões sugere idades entre 875 ± 71 - 1050 ± 13 Ma e 1.058 ± 17 - 1312 ± 16 Ma ($n = 26$ e $n = 66$), com picos de 814 , 1051 e 1204 Ma, representando 24 e 61% respectivamente. Finalmente, as idades mais velhas são representadas por idades entre 1345 ± 53 - 1855 ± 41 Ma com um pico em 1414 Ma (Figura 15c). O diagrama de concordância (Figura 18a) mostra uma distribuição de pontos analíticos com uma concordância maior ou igual a 90%.

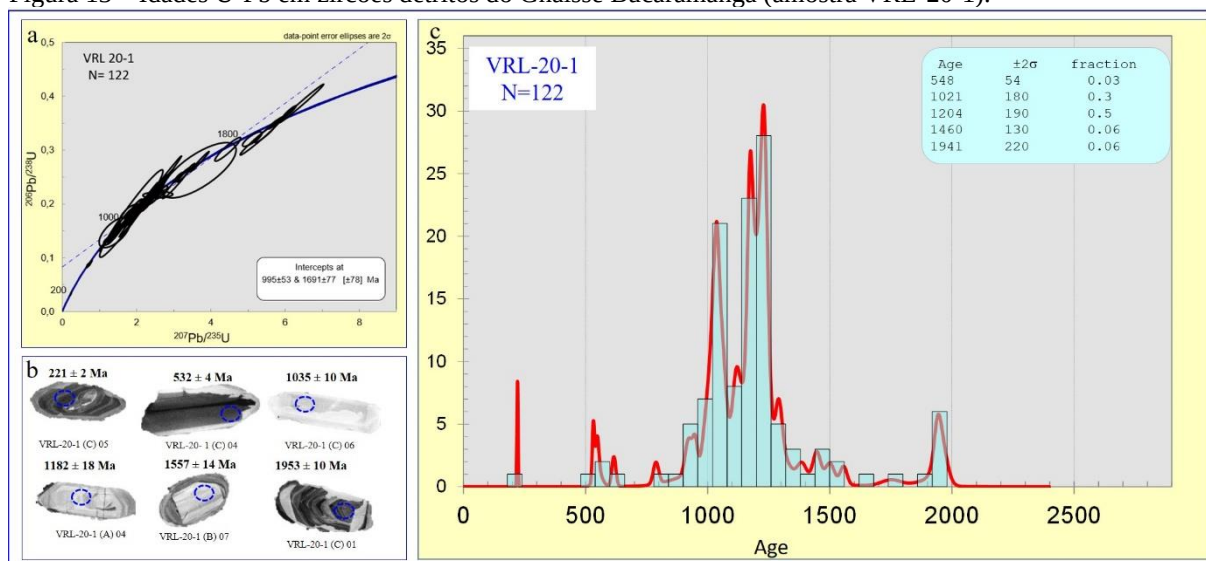
Figura 12 – Idades U-Pb em zircões detritos do Gnaiss Bucaramanga (amostra VRL-18-1).



Legenda: (a). Diagrama de concordância usado de acordo (concordância > 90%). (b). Imagens de catodoluminescência dos grãos de zircão. (c). Distribuição das idades U-Pb.

Fonte: A autora, 2020.

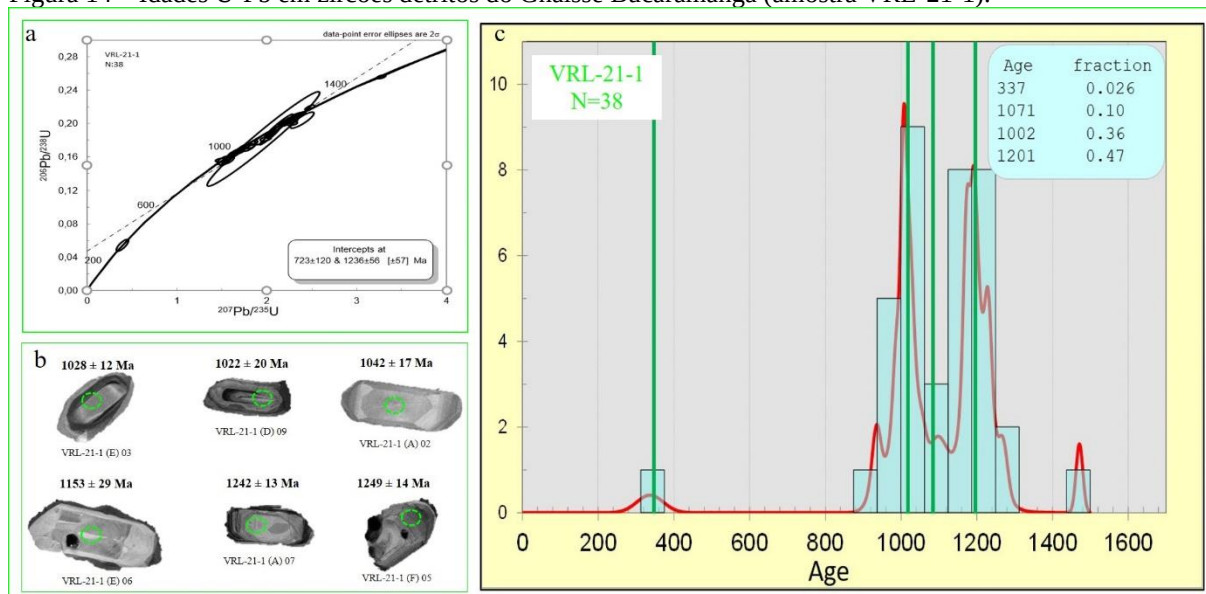
Figura 13 – Idades U-Pb em zircões detritos do Gnaiss Bucaramanga (amostra VRL-20-1).



Legenda: (a). Diagrama de concordância usado de acordo (concordância > 90%). (b). Imagens de catodoluminescência dos grãos de zircão. (c). Distribuição das idades U-Pb.

Fonte: A autora, 2020.

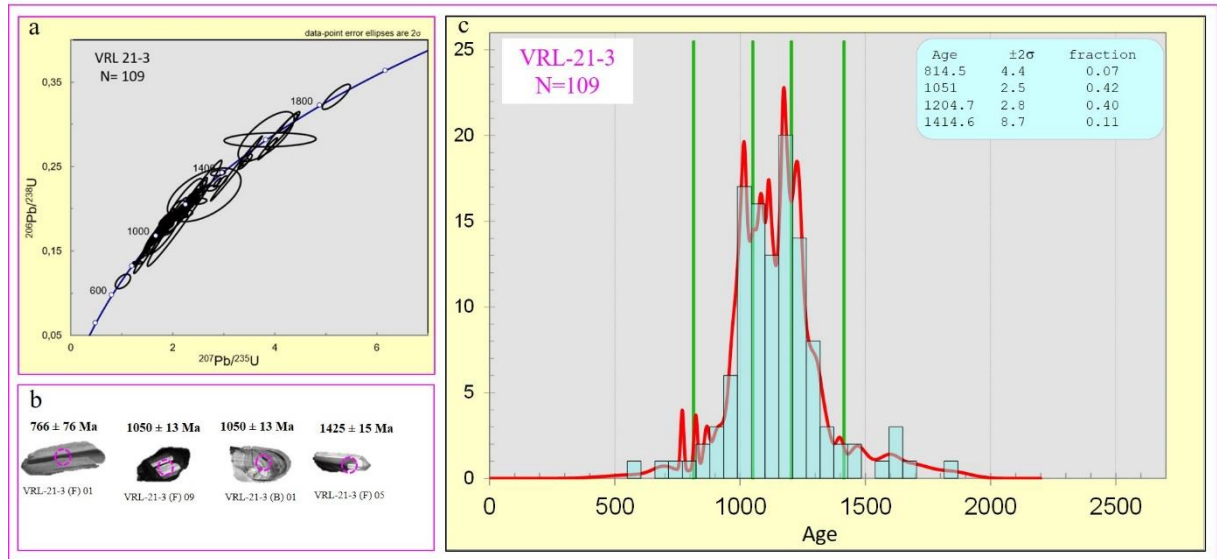
Figura 14 – Idades U-Pb em zircões detritos do Gnaiss Bucaramanga (amostra VRL-21-1).



Legenda: (a). Diagrama de concordância usado de acordo (concordância > 90%) (b). Imagens de catodoluminescência dos grãos de zircão. (c). Distribuição das idades U-Pb.

Fonte: A autora, 2020.

Figura 15 – Idades U-Pb em zircões detritos do Xisto Silgará (amostra VRL-21-3).

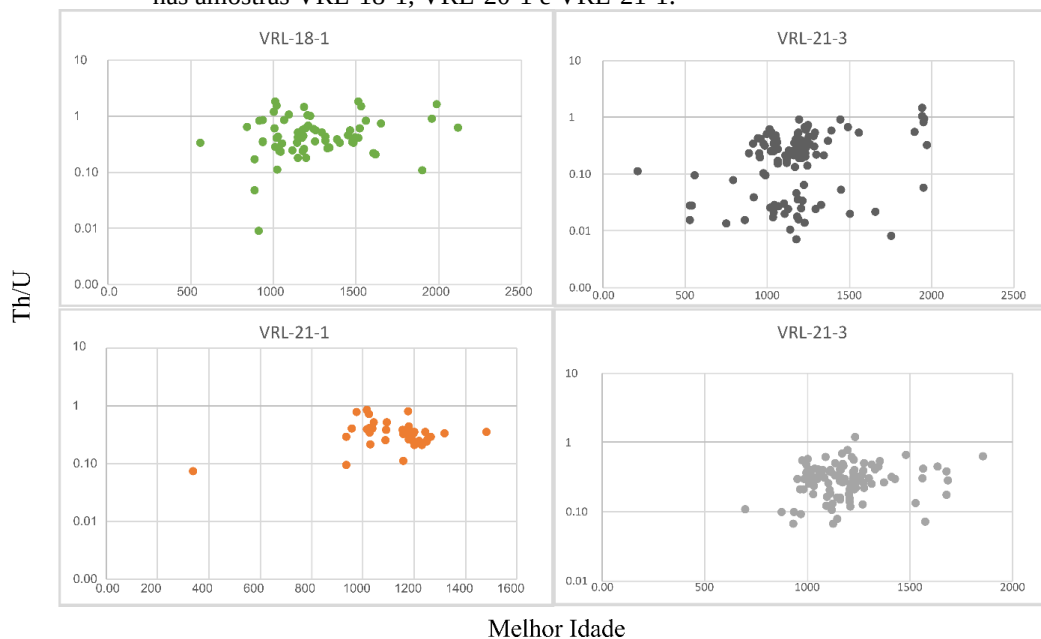


Legenda: (a). Diagrama de concordância usado de acordo (concordância > 90%). (b). Imagens de catodoluminescência dos grãos de zircão. (c). Distribuição das idades U-Pb.

Fonte: A autora, 2020.

A relação Th/U em zircões foi representada graficamente contra a melhor idade (Figura 16). Relações Th/U > 0,1 típicas de zircões magmáticos, apresentam dispersão ao longo das idades. Considerando às relações Th/U < 0,1, que sugerem uma origem metamórfica, o maior número de grãos nas diferentes amostras pode ser agrupado em intervalos com idades variando de 525-555 Ma; 748-861 Ma; 958-1500 Ma, incluindo zircões muito antigos de 1657, 1752 e 1948 Ma.

Figura 16 – Relações Th/U versus a idade concordante de HOSKIN & SCHALTEGGER (2003) nas amostras VRL-18-1, VRL-20-1 e VRL-21-1.



Fonte: A autora, 2020.

4.3 Discussão

4.3.1 Implicações estratigráficas no Maciço de Santander

O embasamento cristalino no Maciço de Santander é composto por unidades depositadas durante o Mesoproterozóico e o Paleozóico Inferior: Gnaiss Bucaramanga, Xisto Silgará e Xisto Chicamocha. As rochas metamórficas presentes na faixa oeste deste Maciço, foram agrupadas por WARD *et al.* (1973) nas unidades Gnaiss Bucaramanga e Formação Silgará (neste trabalho Xistos Silgará). Os estudos neste setor do Maciço têm sido escassos. Isso tem gerado dificuldades na interpretação dos diferentes processos geológicos ocorridos, inclusive no estabelecimento da temporalidade entre as rochas do Gnaiss Bucaramanga e os Xistos Silgará, cujo contato não foi bem definido. Nesse sentido, WARD *et al.* (1973) consideraram esse contato coberto e inferiram que as rochas do Gnaiss Bucaramanga estavam subjacentes aos Xistos Silgará, porém, a falta de idades dificultou a comprovação dessa situação.

Com o objetivo de contribuir com novo conhecimento geológico para esta área do Maciço de Santander, analisaremos as idades U-Pb obtidas em rochas do Gnaiss Bucaramanga e os Xistos Silgará.

Para calcular a idade de máxima deposição das rochas do Gnaiss Bucaramanga e os Xisto Silgará, foram utilizados os métodos gráficos do pico mais jovem, controlados por mais de uma idade de grão, a idade média ponderada de 2 ou mais zircões jovens, que se sobrepõem dentro da incerteza 1s e a idade média ponderada de todos os grãos correspondentes ao pico mais jovem (MAKSAEV *et al.*, 2015; DICKINSON & GEHRELS, 2009; COUTTS *et al.*, 2019) (Tabela 3). Não foi possível determinar a idade de deposição máxima pelo método do zircão mais jovem, uma vez que as incertezas das idades mais jovens eram > 10 Ma e seu erro não se sobrepõe ao erro da segunda idade mais jovem.

Tabela 2 – Idades de deposição máxima deposição interpretadas pelos diferentes métodos.

Amostra	Pico gráfico (Ma)	Idade média ponderada de 2 ou mais grãos com 1s (Ma)	Idade média ponderada de todos os grãos correspondentes ao pico mais jovem (Ma)
VRL-18-1	1173	1143±22 N=5	1218±19 N=19
VRL-20-1	1128	1104±26 N=3	1214±18 N=33
VRL-21-1	1201	1156±38 N=3	1179±21 N=13
VRL-21-3	1051	1068±34 =3	1186±23 N=66

Fonte: A autora , 2020.

As idades registradas na biotita gnaiss (amostra VRL-18-1), com intervalos entorno de 564 Ma provavelmente estão relacionadas a idades de um evento de metamorfismo o um térmico; as idades entorno de 990 Ma, podem ser interpretadas como idades relacionadas a um evento de metamorfismo; as idades em torno de 1173-1343 Ma até 1524 Ma estão relacionadas com as idades de máxima deposição; finalmente, as idades em torno de 2017 são interpretadas como idades herdadas de fontes próximas, como o cráton amazônico.

Algumas idades na amostra VRL-20-1 em torno de 1500 Ma podem ser interpretadas como idades de metamorfismo devido à sua relação $Th / U < 0,1$, as idades em torno de 1128 e 1130 são interpretadas como as idades de deposição máxima do protólito, e finalmente as idades em torno de 525 provavelmente estão relacionadas a um evento de metamorfismo o um térmico no MS ainda não muito bem conhecido.

As idades com intervalos entre 1002 - 1071 Ma na amostra VRL-21-1 são interpretadas provavelmente como idades de um evento de metamorfismo, enquanto as idades em torno de 1201 Ma são interpretadas como as idades de deposição máxima do protólito.

As idades mais jovens obtidas nos gnaisses biotíticos do Gnaiss Bucaramanga (amostras VRL-20-1 e VRL-21-1) de $207,8 \pm 14$ Ma e 338 ± 36 Ma não são consideradas um dado confiável, uma vez que é definido por apenas um grão de zircão, elas mostram um erro > 10 Ma e seu erro não se sobrepõe ao erro da segunda idade mais jovem. Da mesma forma, admitir esta idade como a idade de deposição máxima nessas rochas, não faria sentido geológico nenhum, uma vez que no Maciço de Santander, um evento de magmatismo e sedimentação é amplamente definido e aceito para este período de tempo (Grupo Plutônico de Santander: Batólitos do Rio Negro, La Corcova, Ocaña, Paramo Rico, Santa Barbara, Pescadero, Mogotes)

e as formações sedimentares (Tiburón, Bocas, Jordán, Girón) (WARD *et al.*, 1973; ROYERO & CLAVIJO, 2001; BOINET *et al.*, 1985 ; MANTILLA *et al.*, 2012, 2013; VAN DER LELIJ, 2013; VAN DER LELIJ *et al.*, 2016).

Algumas das idades obtidas no Gnaiss Bucaramanga, são semelhantes às idades relatadas por GOLDSMITH *et al.* (1971); WARD *et al.* (1973); RESTREPO-PACE *et al.* (1997); RESTREPO-PACE & CEDIEL (2010); CORDANI *et al.* (2005); CARDONA (2003). GOLDSMITH *et al.* (1971) e WARD *et al.* (1973) obtiveram idades Rb/Sr em rocha total em um gnaiss biotítico de 680 ± 140 e K/Ar em hornblenda em um gnaiss hornbléndico de 945 ± 40 que foram interpretadas como idades híbridas ou que poderiam indicar um evento metamórfico ou térmico no Pré-Cambriano. CORDANI *et al.* (2005) obtiveram as seguintes idades U-Pb em zircões detríticos: (1) 1540 ± 12 – 1558 ± 18 Ma que foram interpretadas como idades do protólito, (2) 1057 ± 28 Ma, interpretado como o idade do evento de metamorfismo e (3) 864 ± 66 Ma, interpretado como um episódio metamórfico tardio. Finalmente, CARDONA (2003) obteve idades U-Pb SHRIMP em um gnaiss biotítico entre 854 ± 66 – 1190 Ma interpretado como o evento de metamorfismo e idades 1550-900 Ma interpretadas como as idades do protólito.

No muscovita xisto do Xisto Silgará (amostra VRL-21-3), foram obtidas idades em torno de 814-1051 Ma, possivelmente indicando a idade de um evento de metamorfismo, enquanto as idades em torno de 1204-1414 poderiam ser as idades de máxima deposição.

As idades obtidas nos três métodos sugerem que a idade máxima de deposição para o Gnaiss Bucaramanga e os Xistos Silgará é Mesoproterozóica, com idades em torno de 1000-1200 Ma. As idades de 861–1051 Ma estariam associadas a um primeiro evento metamórfico M1, resultado da orogenia Grenvilliana. As idades em torno de 525 e 555 Ma, poderiam ser idades de metamorfismo ou de um evento térmico ainda não muito bem conhecido. Um aspecto muito importante da litologia metamórfica estudada é a presença de grãos de zircão detríticos muito antigos (> 1900 Ma), que podem estar relacionados com a parte noroeste do Cráton Amazônico (província da Amazônia Central).

Em campo, foi possível observar um afloramento das duas unidades (Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará), em contato aparentemente tectônico (Figura 17). Porém, ao comparar os dados geocronológicos obtidos, eles são semelhantes (Figura 18). As relações de campo e a similaridade nas idades de máxima deposição e o evento de metamorfismo (M1), poderiam indicar preliminarmente, que as rochas metamórficas estudadas corresponderiam a uma única unidade, e que os diferentes graus de metamorfismo, estariam relacionados a diferentes níveis estruturais expostos.

Figura 17 - Afloramento das unidades Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará em aparente contato tectônico.



Fuente: A autora, 2021.

Da mesma forma, o Maciço de Santander apresenta algumas semelhanças com outros maciços dos Andes do Norte, como o Maciço *Garzón*, os maciços *Las Minas e San Lucas*, a *Sierra Nevada de Santa Marta e a Península da Guajira*, que foram agrupados por KROONENBERG (1982) no cinturão granulítico *Garzón – Santa Marta*.

CORDANI *et al.* (2005) forneceram dados geocronológicos U-Pb SHRIMP em zircões, nos *inliers* de *Santa Marta e Garzón*, entre outros. Esses dados para o Maciço *Garzón*, permitiram interpretar a presença de um arco magmático em 1145 ± 14 Ma, estabelecido em uma margem continental mais antiga e dois eventos de metamorfismo; Um primeiro evento metamórfico, que ocorreu entre 1100 Ma e 1040 Ma, seguido por um mais jovem em torno de 1000 Ma. Recentemente, IBÁÑEZ-MEJIA *et al.* (2015) contribui com idades U-Pb LASS-ICP-MS no Maciço *Garzón*. Esses autores sugerem que a deformação observada dentro do Maciço pode ser o resultado de pelo menos duas fases metamórficas diferentes: (1) uma fase anterior que ocorre entre ~ 1030 e 1000 Ma que resultou na migmatização generalizada observada nas unidades metamórficas do *Garzón* (ou seja, migmatitos "Las Margaritas" e "El Vergel"), e (2) o evento subsequente de 990 Ma associado ao evento tectônico por colisão do orógeno Putumayo.

Além disso, CORDANI *et al.* (2005), estudaram os Gnaiss *Dibulla* que faz parte do embasamento na *Sierra Nevada de Santa Marta*. Os resultados de U-Pb SHRIMP obtidos no Gnaiss *Dibulla* por CORDANI *et al.* (2005), permitem concluir que as idades em torno de 1370 Ma, são atribuídas a idades de cristalização magmática de zircões para um protólito magmático, e as idades de zircão ao redor 1140 ± 14 Ma, estão relacionados a um evento metamórfico. Finalmente, a idade de 991 ± 12 Ma pode estar relacionada a um evento metamórfico mais jovem, possivelmente de alto grau.

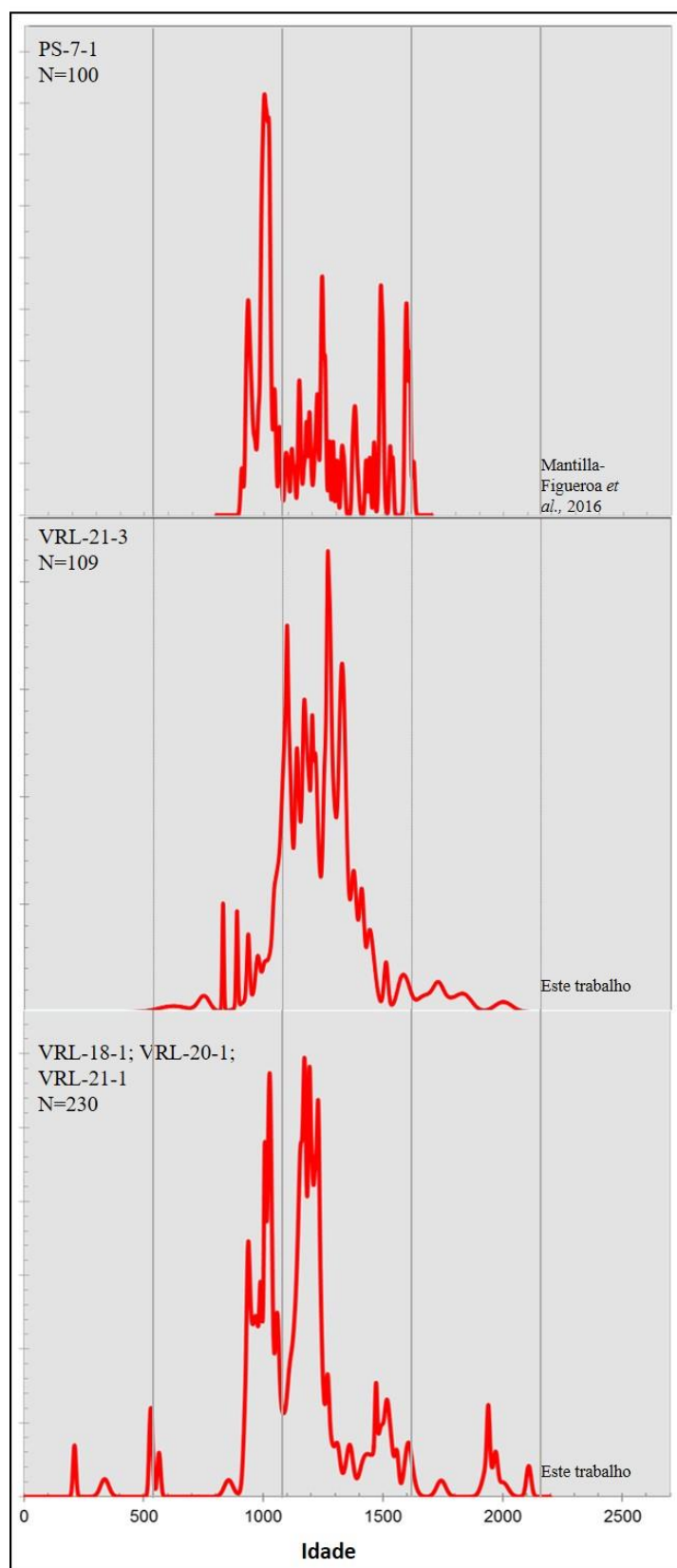
4.4 Implicações paleogeográficas

As reconstruções Mesoproterozóicas do supercontinente Rodinia propõem a participação do cráton amazônico, a partir da identificação de unidades de idade "Grenvillianas" observadas no SW do cráton, formado pelas unidades presentes na província Sunsas-Aguapei. Essas unidades abrangem sequências depositadas na margem do cráton (LITHERLAND *et al.* 1986; GERALDES *et al.* 2001).

HOFFMAN (1991); DALZIEL (1992, 1997) e MEERT & TORSVIK (2003), mostram o cráton amazônico unido a Laurentia – Báltica em Rodinia, como resultado de uma fusão em torno de 1,1 a 1,0 Ga, baseada nos cinturões Sunsas – Aguapei. Outros autores interpretaram o cráton amazônico como um continente em colisão (PIPER, 1975; MOORES, 1991; UNRUG, 1996; ZHAO, 2006) incluindo Sibéria, Antártica Oriental, Nilo Ocidental, Kalahari, Congo-São Francisco e Groenlândia. SADOWSKI & BETTENCOURT (1996) sugeriram que a Amazônia também estava ligada a Laurentia – Baltica em 1,6 Ga e foram separadas durante um evento de rifting no Mesoproterozóico (GOWER & TUCKER, 1994), que iniciou um ciclo de Wilson e terminou com a formação de Rodinia. BETTENCOURT *et al.* (1996) e D'AGRELLA *et al.* (2008) apresentaram dados paleomagnéticos que suportam a justaposição da Amazônia com Laurentia-Báltica em 1000 Ma, o que é corroborado por dados geológicos descritos nos cinturões Sunsas-Aguapei (LITHERLAND *et al.* 1986; GERALDES *et al.* 1997; TEIXEIRA *et al.* 2011; Greenville (RIVERS, 1997) e Sveconorwegian (LARSEN, 2000). Além disso, TOHVER *et al.* (2002) apresentou dados paleomagnéticos importantes indicando uma conexão anterior da Amazônia e Laurentia em 1,20 Ga.

O desmembramento de Rodinia começou por volta de 0,9-0,8 Ga como resultado da ação de uma pluma mantélica sobre a grande massa de terra (HOFFMAN, 1991; CONDIE, 2004). A separação dos fragmentos foi responsável pelo desenvolvimento de extensos domínios sedimentares Neoproterozóicos e vulcanosedimentares, muitos dos quais se tornaram cinturões móveis (BRITO NEVES, 2002).

Figura 18 – Histogramas das amostras do Gnaiss Bucaramanga (VRL-18-1; VRL-20-1; VRL-21-1) e Xisto Silgará (VRL-21-3) (neste trabalho) e PS-7-1 (MANTILLA *et al.*, 2016a), mostrando picos proeminentes semelhantes em torno de 940-1010 Ma.



Fonte: A autora, 2020.

Uma visão diferente é proposta por IBAÑEZ-MEJIA, (2010) e IBAÑEZ-MEJIA *et al.*, (2011 e 2015). Esses autores fornecem dados isotópicos detalhados (U-Pb, Lu-Hf, Sm-Nd e O), do embasamento pré-Cambriano do noroeste da América do Sul, principalmente nos maciços *Garzón* e *Las Minas*, que constituem a primeira evidência da existência de um Cinturão orogênico Meso – Neoproterozóico de idade Greenville, no noroeste da Amazônia autóctona, enterrado sob sequências sedimentares Meso – Cenozóicas, da bacia do *Putumayo*. Esses novos dados geocronológicos e isotópicos permitiram postular ligações tectônicas para a evolução do embasamento da bacia do *Putumayo*, os blocos do embasamento expostos no norte dos Andes e o embasamento Precambriano do centro do México, antes do clímax da colisão em 990 Ma, que resultou na amalgamação do Amazonas no coração do supercontinente Rodinia. Os novos dados desenham diferenças fundamentais entre a história tectônica e o momento dos principais episódios de crescimento e deformação da crosta, que caracterizam esta margem da Amazônia e do orógeno Sunsás – Aguapeí (TEIXEIRA *et al.* 2010; IBAÑEZ-MEJIA *et al.* 2011 e 2015), tendo implicações importantes para os modelos propostos para Rodinia.

4.5 Agradecimentos

Os autores agradecem a participação da Universidade Industrial de Santander e da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pela disponibilização de suas instalações: (1) Laboratório de Petrografia, (2) Laboratório de Processamento de Amostras– LGPA e (3) Laboratório de Preparação e elaboração de estudos geocronológicos– Multiusuários de Meio Ambiente e Materiais (MULTILAB).

CONCLUSÕES

O litotipo principal no Gnaiss Bucaramanga é a biotita gnaiss, enquanto o litotipo principal no Xisto Silgará é o muscovita xisto. Em campo, só foi possível observar um afloramento das duas unidades (Gnaiss Bucaramanga e Xisto Silgará), em contato aparentemente tectônico.

Dois biotitas gnaisses e um muscovita gnaiss do Gnaiss Bucaramanga e um muscovita xisto do xisto Silgará, foram datados pelo método U-Pb LA-ICP-MS em zircões detríticos. Para as idades de deposição máxima, obtidas para os gnaisses e xistos que afloram perto do limite oeste no Maciço de Santander, os autores concordam que a idade é Mesoproterozóica, com idades em torno de 1000-1200 Ma, sugerindo que essas duas unidades são aparentemente iguais nesse setor, entretanto, são necessárias análises de procedência nas rochas do Gnaiss Bucaramanga, para concluir a semelhança ou não, na origem dessas duas unidades.

As idades de 861–1051 Ma, obtidas nos gnaisses e xistos, estariam associadas ao primeiro evento metamórfico M1, resultado da orogenia Grenvilliana. De acordo com as idades obtidas em torno de 540 Ma nas rochas do Gnaiss Bucaramanga, podem indicar um evento de metamorfismo ou um evento térmico nessas rochas.

Apoiamos a existência de grãos de zircão detríticos maiores do que 1900 Ma nas rochas do Gnaiss Bucaramanga, que podem estar relacionados com a parte noroeste do Cráton Amazônico (província da Amazônia Central), no entanto, os resultados fornecidos neste estudo não são suficientes e estudos isotópicos mais detalhados (por exemplo, U-Pb, Lu-Hf, Sm-Nd e O), são necessários, para apoiar uma origem Grenvilliana ou Putumayense nessas rochas.

As idades associadas ao evento de metamorfismo proposto para o Gnaiss Bucaramanga e os Xistos Silgará, seriam semelhantes às propostas para a Sierra Nevada de Santa Marta, o Maciço Garzón. No entanto, nesses setores é relatada com precisão a presença de dois eventos de metamorfismo, que podem ser agrupados nos intervalos de 1140-1040 Ma e 1000-991 Ma.

Com base nos dados geocronológicos reportados, propõe-se preliminarmente que os gnaisses e xistos que afloram perto do limite oeste no Maciço de Santander pertencem à mesma unidade, e que os diferentes graus de metamorfismo estariam relacionados a diferentes níveis estruturais.

As propostas de reconstruções paleogeográficas mostram o cráton amazônico unido a Laurentia – Báltica durante a Rodinia, como resultado de uma fusão entre 1,1 a 1,0 Ga, com base nos cinturões Grenvillianos. Nesse sentido, os resultados aqui relatados sugerem uma

reconstrução paleogeográfica interpretando o cráton amazônico como um continente em colisão, conforme proposto por PIPER (1975); MOORES (1991); UNRUG (1996); e ZHAO (2006). Outros autores incluem outras massas de terra, como Sibéria, Antártica Oriental, Nilo Ocidental, Kalahari, Congo / São Francisco e Groenlândia (por exemplo: SADOWSKI & BETTENCOURT, 1996).

A justaposição da Amazônia com Laurentia-Báltica em 1000 Ma é corroborada pelos dados geológicos descritos nos cinturões Grenvillianos na América do Sul (LITHERLAND et al. 1986; GERALDES et al. 1997; TEIXEIRA et al. 2011). A deformação e o metamorfismo são provavelmente manifestações internas da mais intensa colisão continente-continente, ocorrida durante a fusão de Rodinia.

REFERENCIAS

- AHRENS, L.H. Implications of the Rhodesia age pattern. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 8: 1-5, 1955.
- AMAYA, S. Caracterización Petrográfica y Petrológica de los Neises, Migmatitas y Granulitas del Gnaiss Bucaramanga, en el Macizo de Santander, Departamento de Santander. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 130 p. 2012.
- AMAYA, S. Termocronología y Geocronología del Basamento Metamórfico del Macizo de Santander, Departamento de Santander. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 174 p. 2016.
- ARENAS, J. Litología y petrología de las metamorfitas carbonatadas y metasedimentitas asociadas a la Formación Silgará, Faja Noroeste de Mutiscua (Macizo de Santander), Norte de Santander. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 261 p. 2004.
- BERMÚDEZ, M.A; BERNET M; KOHN B.P; BRICHAU S. Exhumation-Denudation History of the Maracaibo Block, Northwestern South America: Insights from Thermochronology. In: Cediel F; Shaw R. (eds) *Geology and Tectonics of Northwestern South America*, 2019.
- BETTENCOURT, J.S; ONSTOT, T.C; TEIXEIRA, W. Tectonic interpretation of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages on country rocks from the central sector of the Rio Negro–Jurueña Province, southwest Amazonian Craton. *Int. Geol. Rev.* 38, 42–56, 1996.
- BOINET, T; BOURGOIS, J; BELLON, H; TOUSSAINT, J. Age et repartition du magmatisme Premésozoïque des Andes de Colombie. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de L'Académie des Sciences. Serie D: Sciences Naturelles*, 300(II): 445-450, 1985.
- BRITO NEVES, BB. Principais etapas do desenvolvimento das bacias sedimentares da América do Sul e sua relação com a tectônica dos supercontinentes. *Gondwana Research*, 5, 175-196, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70901-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70901-1).
- CARDONA, A. Correlações entre fragmentos do embasamento Pré-Mesozóico da terminação setentrional do Andes Colombianos, com base em dados Isotópicos e Geocronológicos. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 179 p. 2003.
- CASTELLANOS, O; RIOS, C; AKIRA, T. A new approach on the tectonometamorphic mechanisms associated with P-T paths of the Barrovian-Type Silgará formation at the central Santander Massif, Colombian Andes. *Earth Sciences Research Journal*, 12(2): 125-155, 2008. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/esrj/issue/view/2001>.
- CORDANI, U; CARDONA, A; JIMENEZ, D; LIU, D; NUTMAN, A.P. Geochronology of Proterozoic basement inlier in the Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. *Geological Society, London, Special Publications*, 246: 329-346, 2005. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.246.01.13>.

COUTTS, D; MATTHEWS, W; HUBBARD, S. Assessment of widely used methods to derive depositional ages from detrital zircon populations. *Geoscience Frontiers*, 10: 1421-1435, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.11.002>.

CUELLAR, M; LÓPEZ, J; OSORIO, J; CARRILLO, E. Análisis Estructural del segmento Bucaramanga del sistema de Fallas de Bucaramanga (SFB) entre los Municipios de Pailitas y Curumaní Cesar-Colombia. *Boletín de Geología*, 34(2): 1-29, 2012. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3113/3364>

CHEMALE, F; KAWASHITA, K; DUSSIN, I., ÁVILA, J; JUSTINO, D; BERTOTTI, A. U-Pb zircon in situ dating with LA-MC-ICP-MS using a mixed detector configuration. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(2): 275-295, 2012.

CHERNIAK, D; WATSON, E. Pb diffusion in zircon. *Chemical Geology*. 172: 5-24. 2000.

D'AGRELLA-FILHO, M.S; BABINSKI, M; TRINDADE, R.I.F; VAN SCHMUS, W.R; ERNESTO, M. Simultaneous remagnetization and U – Pb isotopes in Neoproterozoic carbonates of the Sao Francisco craton, Brazil. *Precambrian Research*, 99: 179 – 186, 2000.

DALZIEL, I.W.D. On the organization of American plates in the Neoproterozoic and the breakout of Laurentia. *GSA Today* 2: 1–2, 1992.

DALZIEL, I.W.D. Neoproterozoic–Paleozoic geography and tectonics: review, hypothesis, environmental speculation. *Geological Society of America Bulletin*, 109: 16–42, 1997. doi:10.1130/0016-7606(1997)109<0016:onpgat>2.3.co.

DEDAVID, B; GOMES, C; MACHADO, G. Microscopia Eletrônica de Varredura. Porto Alegre, Brasil. Edipucrs, 2007.

DICKINSON, W; GEHRELS, G. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth and Planetary Science Letters*, 288: 115-125, 2009. doi:10.1016/j.epsl.2009.09.013

ESTUPIÑAN, J E ULLOQUE, M. Petrografía del Gnaiss Bucaramanga, en el Sector de Pamplona – Chitagá, Macizo de Santander. Tesis de Pregrado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 65 p. 2018.

GARCIA, C; RIOS, C; CASTELLANOS, O. Medium-Pressure Metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Boletín de Geología*, 27(2): 43-68, 2005. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/873/1208>.

GARCIA, C. Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander 88 p. 2007.

GARCIA, C; REY, V; VALENCIA, V. Ortoneises en la Faixa Silos-Babega, Macizo de Santander, Colombia: evidencias de la orogenia famatiniana en los Andes del norte. *Andean Geology*, 44(3): 307-327, 2017. <http://dx.doi.org/10.5027/andgeov44n3-a04>.

GEHRELS, G. Detrital Zircon U-Pb Geochronology: Current Methods and New Opportunities. *Tectonics Sediment. Basins Recent Adv*: 45-62, 2012.
<https://doi.org/10.1002/9781444347166.ch2>

GERALDES, C; BERNARDINO, R; FIGUEIREDO, R; TASSINARI, C; EBERT, E. Depósitos de ouro hospedados por veias do Proterozóico Médio na região de Pontes e Lacerda, sudoeste do Cráton Amazônico, Brasil. *Revisão Internacional de Geologia*, 39:5, 438-448, 1997. DOI: 10.1080/00206819709465282

GERALDES, M. Introdução à Geocronologia. São Paulo, Brasil. Sociedade Brasileira de Geologia 146 p. 2010.

GERALDES, M; BERNARDIO, R; TASSINARI, C; EBERT, H. Depósitos de ouro hospedados por veias do Proterozóico Médio na região de Pontes e Lacerda, sudoeste do Cráton Amazônico, Brasil. *Brasil, International Geology Review*, 39: 5, 438–448, 1997. DOI: 10.1080 / 00206819709465282

GERALDES, M; VAN SCHMUS, W; CONDIE, K; BELL, S; TEIXEIRA, W. Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazonian Craton in Mato Grosso state, Brazil. *Precambrian Research*, 111 (1-4), 91-128, 2001.

GOLDSMITH, R; MARVIN, R; MEHNERT, H. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U.S. Geological Survey Research Professional Paper, 750-D, D44-D49, 1971. Recuperado desde: <https://pubs.usgs.gov/pp/0750d/report.pdf>.

GOWER, C.F; AND TUCKER, R.D. The distribution of pre-1400 Ma crust in the Grenville province: Implications for rifting in Laurentia–Báltica during geon 14. *Geology*, 22: 827–830, 1994.

HARLEY, S.L; KELLY, NM. Zircon Tiny but Timely. *Elements*, 3 (1), 13–18, 2007. doi: 10.2113 / gselements.3.1.13

HOFFMAN, P.A. Did the birth of North America turn Gondwana inside out? *Science*, 252, 1409-1411, 1991.

HOSKIN, P.W.O; AND SCHALTEGGER, U. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, no. 1: 27-62, 2003.

IBAÑEZ-MEJIA, M. New U-Pb Geochronological Insights into the Proterozoic Tectonic Evolution of Northwestern South America: The Mesoneoproterozoic Putumayo Orogen of Amazonia and Implications for Rodinia Reconstructions. Master degree. The University of Arizona, 69 p. 2010.

IBAÑEZ-MEJIA M; RUIZ J; VALENCIA V. A; CARDONA A; GEHRELS G. E. AND MORA A. R. The Putumayo Orogen of Amazonia and its implications for Rodinia reconstructions: New U-Pb geochronological insights into the Proterozoic tectonic evolution of northwestern South America. *Precambrian Research*, 191: 58– 77, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.09.005>.

IBAÑEZ-MEJIA M; PULLEN A; ARENSTEIN J; GEHRELS G. E; VALLEY J. AND DUCEA M. N. Unraveling crustal growth and reworking processes in complex zircons from

orogenic lowercrust: The Proterozoic Putumayo Orogen of Amazonia. *Precambrian Research*, 267: 285–310, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.06.014>.

JACKSON, S.E; PEARSON N.J; GRIFFIN W.L; BELOUSOVAE.A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211: 47–69, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>

KOSLER, J; SYLVESTER, P.J. Present trends and the future of zircon in geochronology: laser ablation ICPMS. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53: 243–275, 2003. <https://doi.org/10.2113/0530243>

LARSEN, S.Å. The Sveconorwegian Tectonic Cycle Avaliado. IGC 2000, Rio de Janeiro, CD-Room, 2000.

LITHERLAND, M. AND CO-WORKERS. The geology and mineral resources of the Bolivian Precambrian shield. Brit. Geol. Surv. Overseas Mem. 9, Keyworth, 153 pp. 1986.

LONGERICH, H. CHAPTER 1: Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry: (LA-ICP-MS); An Introduction," In: P. Sylvester, Ed., Laser-Ablation-ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues, Mineralogical Association of Canada, Vol. 40, 1-18. pp. 2008.

LUDWIG, K. R. Isoplot / Ex rev. 4: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel: Geochronology Center. Berkeley, California, USA. 56p. 2001.

MACHADO, NUNO; SIMONETTI, A. CHAPTER 9. U-Pb DATING AND Hf ISOTOPIC COMPOSITION OF ZIRCON BY LASER ABLATION-MC-ICP-MS. Laser-Ablation-ICOMS in the Earth Science: Principles and Applications. 29. 2001.

MAKSAEV, V; ARANCIBIA, J; MUNIZAGA, F; TASSINARI, C. Detrital-zircon U-Pb geochronology of the Quebrada del Carrizo Metamorphic Complex and El Jardín Schists and spatially-related granitoids of the Sierra Castillo Batholith. *Andean Geology* 42 (3): 285-312, 2015. doi: 10.5027/andgeoV42n3-a01.

MANTILLA, F.L.C.; BISSIG, T.; COTTLE, J.M.; HART, C.J.R. Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). *Journal of South American Earth Sciences* 38: 1-12, 2012.

MANTILLA, L; GARCIA, C; VALENCIA, V. Propuesta de escisión de la denominada "Formación Silgará" (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*, 38(1), 33-50, 2016. <http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v38n1-2016002>.

MANTILLA, L; GARCIA, C; VALENCIA, V. Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). *Ciencias de la tierra*, 40(155), 320-336, 2016. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.303>.

- MEERT, JG; TORSVIK, TH. Discussion on “The making and unmaking of a supercontinente: Rodinia revisited”. *Tectonophysics*, 375 (1-4), 261-288, 2003. doi: 10.1016 / S0040-1951 (03) 00342-1
- MILHOMEM NETO, JM, & LAFON, J.-M. Limitações dos isótopos Zircon U-Pb e Lu-Hf na evolução da crosta arqueana no sudeste do Escudo da Guiana. *Fronteiras da geociência*. 2018. doi: 10.1016 / j.gsf.2018.09.012
- MOORES, E. Southwest U.S.-East Antarctic (SWEAT) connection: a hypothesis, *Geology*, 19, 425-428, 1991.
- ORDÓÑEZ, O; RESTREPO, J.J; MARTINS, M. Geochronological and isotopic review of pre-Devonian cristal basament of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4), 372-382, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.005>.
- PIPER, JDA. O Paleomagnetismo das Rochas Ígneas e Sedimentares Pré-cambrianas do Cinturão do Rio Orange na África do Sul e no Sudoeste da África. *Geophysical Journal International*, 40 (3), 313–344, 1975.
- RAMOS, V.A. The Grenville-age basement of the Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. 29, 77-91, 2010.
- RESTREPO, P. Late Precambrian to Early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes, based on new geochronological geochemical an isotopic data. Tesis Doctoral. The University of Arizona, Arizona, 199 p. 1995.
- RESTREPO, P; RUIZ, J; GEHRELS, G; COSCA, M. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in Columbian Andes: new constraints for Late Proterozoice Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of Americans. *Earth and Planetary Science Letters* 155, 427-441, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(97\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00091-5).
- RESTREPO-PACE, P.A; CEDIEL, F. Northern South America basement tectonics and implications for paleocontinental reconstructions of the Americas. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(4), 764-771, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2010.06.002>.
- RIOS, C; GARCIA, C; TAKASU, A. Tectono-metamorphic evolution of the Silgará´ Formation Metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(2), 133-154, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00025-7).
- RIVERS, T. Lithotectonic elements of the Grenville Province: review and tectonic implications. *Precambrian. Research*. 86, 117–154, 1997.
- ROYERO, J; CLAVIJO, J. Mapa Geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá, 92p, 2001.
- RUEDA, L & VILLAMIZAR, D. Petrografía de los Xisto Silgará en la faixa Matanza-Cachiri-Turbay. Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 129 p. 2014.

RUBATTO, D; HERMANN, J. Experimental zircon/melt and zircon/garnet trace element partitioning and implications for the geochronology of crustal. *Chemical Geology*, 241, 38–61, 2007.

SADOWSKI, G; BETTENCOURT, J. Mesoproterozoic tectonic correlations between eastern Laurentia and the western border of the Amazon Craton. *Precambrian Research*. 76, 213–227, 1996.

SATO, K; & KAWASHITA, K. Espectrometria de massas em geologia isotópica. *Geologia USP. Série Científica*, 2(1), 57–77, 2002. doi:10.5327/s1519-874x2002000100007

SCHOENE, B. Geochronology U – Th – Pb. *Treatise on Geochemistry*, 341-378 2014. doi: 10.1016 / b978-0-08-095975-7.00310-7

TEIXEIRA, W; GERALDES, MC, D'AGRELLA-FILHO, MS, SANTOS, JOS, SANT'ANA BARROS, MA, RUIZ, AS, & CORRÊA DA COSTA, PC. Magmatismo máfico-ultramáfico juvenil Mesoproterozóico no sudoeste do Cráton Amazônico (província do Rio Negro-Juruena): geocronologia SHRIMP U – Pb e restrições Nd – Sr da Suíte Figueira Branca. *Journal of South American Earth Sciences*, 32 (4), 309–323, 2011. doi: 10.1016 / j.jsames.2011.04.011

TOHVER, E; VAN DER PLUIJM, B.A; VAN DER VOO, R; RIZZOTTO, G; AND SCANDOLARA, J.E. Paleogeography of the Amazon craton at 1.2 Ga: Early Grenvillian collision with the Llano segment of Laurentia: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 199,185-200, 2002.

UNRUG, R. The assembly of Gondwanaland. *Episodes Journal of International Geoscience*, 19, 11-20, 1996.

UREÑA, C; ZULUAGA, C. Petrografía del Gnaiss Bucaramanga en cercanías a Cepitá, Berlín y Vetás– Santander. *Geología Colombiana, Edición Especial*, 36(1), 37-56, 2011. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/22441/36991>.

VAN DER LELIJ, R. Reconstructing north-western Gondwana with implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. *Thèse de Doctorat, Universidad de Genève*, 247 p. 2013.

VAN DER LELIJ, R; SPIKINGS, R; ULIANOV, A; CHIARADIA, M; MORA, A. Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*, 31, 271-294, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.01.011>

VAN DER LELIJ, R; SPIKINGS, R; MORA, A. Thermochronology and Tectonics of the Mérida Andes and the Santander Massif, NW South America. *Lithos*, 2016. doi: 10.1016/j.lithos.2016.01.006

VELANDIA, F. Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander – énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga. *Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*, 222 p. 2017.

VELANDIA, F; GARCIA, H; ZULUAGA, C; LÓPEZ, J; BERMÚDEZ, M; AUDEMARD, F. Present-day structural frame of the Santander Massif and Pamplona Wedge: The interaction of the Northern Andes. *Journal of Structural Geology*, 137: 104087, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104087>

WARD, D; GOLDSMITH, R; CRUZ, B; JARAMILLO, C; Y RESTREPO, H. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 21(1-3), 1-132, 1973.

WHITNEY, D; EVANS, B. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95: 185-187, 2010.

WU, Y; ZHENG, Y. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49 – 15, 1554-1569, 2004.

YUAN, H.L; GAO, S; LIU, X.M; LI, H.M; GÜNTHER, D; WU, F.Y. Accurate U–Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geostand. Geoanal. Res.* 28, 353–370, 2004.

ZULUAGA, C; AMAYA, S; UREÑA, C; BERNET, M. Migmatization and low-pressure overprinting metamorphism as record of two pre-Cretaceous tectonic episodes in the Santander Massif of the Andean basement in northern Colombia (NW South America). *Lithos* 274–275 (2017) 123–146, 2016.

ZHAO, G., CAO, L., WILDE, S., SUN, M., CHOE, W., & LI, S. Implicações baseadas na primeira datação de zircão SHRIMP U – Pb em rochas granitóides pré-cambrianas na Coreia do Norte. *Earth and Planetary Science Letters*, 251 (3-4), 365-379, 2006. doi: 10.1016 / j.epsl.2006.09.021

ZULUAGA, C; AMAYA, S; UREÑA, C; BERNTE, M. Migmatization and low-pressure overprinting metamorphism as recor of two pre-Cretaceous tectonic episodes in the Santander Massif of the Andean basement in northern Colombia (NW South America). *Lithos*, 274-275, 123-146, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.12.036>.

APÊNDICE A – Dados da amostra VRL-18-1.

		Isotope ratiosc												Ages (Ma)							
		Pb	Th	U	207Pb/		1 s	206Pb/	1 s	207Pb/		1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%		
Spot number	f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/U	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf	Melhor Idade	Erro
VRL 18-1 (D) 04	0.00	49.84	372.65	509.76	0.73	0.66	3.26	0.08	2.85	0.88	0.06	1.58	500.12	14.27	512.41	16.70	567.62	8.96	88.11	500.12	14.27
VRL 18-1 (C) 06	0.01	30.62	100.89	296.09	0.34	0.75	3.30	0.09	2.79	0.85	0.06	1.76	556.96	15.56	568.43	18.78	614.57	10.83	90.63	556.96	15.56
VRL 18-1 (I) 07	0.00	56.58	325.19	615.23	0.53	0.79	5.18	0.09	4.90	0.95	0.06	1.67	579.27	28.38	593.03	30.70	646.04	10.80	89.66	579.27	28.38
VRL 18-1 (I) 04	0.00	23.24	96.44	148.31	0.65	1.34	3.26	0.14	2.64	0.81	0.07	1.92	837.11	22.08	861.88	28.12	926.14	17.78	90.39	837.11	22.08
VRL 18-1 (C) 04	0.00	89.07	195.91	650.84	0.30	1.36	2.17	0.14	1.85	0.85	0.07	1.12	847.08	15.68	873.80	18.92	942.15	10.60	89.91	847.08	15.68
VRL 18-1 (H) 08	0.01	20.32	26.16	131.27	0.20	1.40	3.08	0.14	1.94	0.63	0.07	2.40	860.65	16.69	888.75	27.41	959.34	23.02	89.71	860.65	16.69
VRL 18-1 (H) 04	0.00	220.96	255.96	1499.48	0.17	1.45	4.61	0.15	4.43	0.96	0.07	1.27	883.25	39.09	910.73	41.94	977.98	12.46	90.31	883.25	39.09
VRL 18-1 (H) 05	0.00	194.54	65.15	1358.11	0.05	1.46	4.98	0.15	4.79	0.96	0.07	1.35	885.54	42.43	912.61	45.43	978.69	13.20	90.48	885.54	42.43
VRL 18-1 (F) 07	0.00	56.64	3.31	370.71	0.01	1.49	2.55	0.15	2.10	0.82	0.07	1.45	908.12	19.07	925.61	23.61	967.51	14.02	93.86	908.12	19.07
VRL 18-1 (F) 01	0.00	22.03	104.26	126.85	0.82	1.51	3.99	0.15	3.71	0.93	0.07	1.47	910.92	33.80	935.92	37.34	995.24	14.60	91.53	910.92	33.80
VRL 18-1 (C) 07	0.00	44.10	69.78	244.73	0.29	1.56	2.93	0.16	2.49	0.85	0.07	1.54	929.29	23.14	952.69	27.90	1007.13	15.53	92.27	929.29	23.14
VRL 18 (K)07	0.00	25.25	59.11	165.97	0.36	1.54	1.37	0.16	0.98	0.72	0.07	0.96	933.32	9.17	948.48	13.01	983.82	9.42	94.87	933.32	9.17
VRL 18-1 (G) 09	0.00	97.51	438.08	512.74	0.85	1.53	5.18	0.16	4.93	0.95	0.07	1.61	933.37	45.98	943.97	48.93	968.76	15.60	96.35	933.37	45.98
VRL 18 (K)05	0.01	9.28	19.10	54.74	0.35	1.55	2.78	0.16	1.36	0.49	0.07	2.43	934.79	12.71	948.52	26.38	980.52	23.79	95.34	934.79	12.71
VRL 18-1 (H) 07	0.01	16.62	40.85	83.74	0.49	1.70	2.91	0.16	2.06	0.71	0.08	2.06	935.21	19.29	1007.30	29.34	1167.62	24.01	80.10	935.21	19.29
VRL 18-1 (H) 06	0.00	18.24	44.15	99.78	0.44	1.61	2.86	0.16	2.47	0.86	0.07	1.44	943.12	23.28	975.25	27.87	1048.34	15.09	89.96	943.12	23.28
VRL 18-1 (C) 05	0.01	11.74	16.13	64.30	0.25	1.64	3.39	0.16	2.90	0.85	0.07	1.76	951.59	27.57	985.69	33.41	1062.41	18.69	89.57	951.59	27.57
VRL 18-1 (I) 02	0.00	52.09	26.52	337.44	0.08	1.47	2.07	0.15	1.54	0.74	0.07	1.38	889.99	13.69	919.55	19.03	991.15	13.72	89.79	991.15	13.72
VRL 18-1 (I) 05	0.00	87.45	308.34	514.60	0.60	1.75	4.69	0.17	4.58	0.98	0.08	0.98	992.50	45.50	1028.17	48.20	1104.86	10.84	89.83	992.50	45.50
VRL 18-1 (J) 07	0.00	110.76	799.37	663.41	1.20	1.53	2.36	0.15	2.06	0.87	0.07	1.15	919.24	18.92	943.90	22.25	1001.88	11.50	91.75	1001.88	11.50
VRL 18-1 (A) 05	0.06	10.04	28.72	47.74	0.60	1.76	6.06	0.18	4.57	0.75	0.07	3.99	1044.83	47.70	1032.18	62.58	1005.48	40.12	103.91	1005.48	40.12
VRL 18-1 (J) 02	0.00	77.48	715.92	385.97	1.85	1.79	3.00	0.18	2.74	0.92	0.07	1.20	1060.14	29.10	1042.85	31.25	1006.78	12.10	105.30	1006.78	12.10
VRL 18-1 (G) 08	0.00	63.22	178.72	389.09	0.46	1.35	5.81	0.13	5.59	0.96	0.07	1.60	813.35	45.44	867.21	50.39	1007.44	16.10	80.73	1007.44	16.10
VRL 18-1 (J) 04	0.00	19.55	167.56	107.69	1.56	1.60	2.81	0.16	2.27	0.81	0.07	1.66	952.96	21.68	971.87	27.35	1014.88	16.82	93.90	1014.88	16.82
VRL 18-1 (F) 04	0.00	39.09	92.56	223.10	0.41	1.57	2.73	0.16	2.31	0.85	0.07	1.46	933.55	21.57	958.79	26.19	1017.15	14.81	91.78	1017.15	14.81
VRL 18-1 (A) 06	0.01	75.62	46.02	409.02	0.11	1.82	2.17	0.18	1.27	0.58	0.07	1.77	1067.05	13.50	1051.75	22.85	1020.11	18.02	104.60	1020.11	18.02
VRL 18-1 (D) 01	0.00	78.42	55.26	480.81	0.11	1.56	2.66	0.15	2.38	0.90	0.07	1.18	922.38	21.98	953.15	25.36	1024.89	12.13	90.00	1024.89	12.13
VRL 18-1 (G) 05	0.00	63.60	155.29	358.32	0.43	1.57	5.06	0.15	4.82	0.95	0.07	1.53	927.15	44.71	957.11	48.41	1026.60	15.66	90.31	1026.60	15.66
VRL 18-1 (F) 05	0.00	43.82	67.87	252.87	0.27	1.61	2.94	0.16	2.50	0.85	0.07	1.55	950.22	23.73	974.47	28.65	1029.53	15.98	92.30	1029.53	15.98
VRL 18-1 (C) 03	0.00	28.19	35.07	146.28	0.24	1.75	2.83	0.17	2.48	0.88	0.07	1.36	1022.98	25.40	1025.98	29.07	1032.39	14.08	99.09	1032.39	14.08
VRL 18-1 (E) 05	0.00	44.10	58.09	251.97	0.23	1.61	2.93	0.16	2.46	0.84	0.07	1.60	944.46	23.20	974.16	28.54	1041.77	16.62	90.66	1041.77	16.62
VRL 18 (L)08	0.00	48.10	82.70	255.36	0.32	1.77	2.29	0.17	1.65	0.72	0.07	1.59	1028.64	16.98	1035.45	23.70	1049.85	16.65	97.98	1049.85	16.65
VRL 18-1 (A) 02	0.03	22.15	72.88	86.24	0.85	1.78	5.83	0.17	5.09	0.87	0.07	2.84	1027.51	52.33	1039.06	60.60	1063.45	30.22	96.62	1063.45	30.22
VRL 18-1 (F) 09	0.01	24.00	62.99	130.19	0.48	1.70	3.90	0.16	2.41	0.62	0.08	3.07	972.79	23.41	1007.07	39.24	1082.43	33.18	89.87	1082.43	33.18
VRL 18-1 (I) 06	0.00	21.58	123.83	114.47	1.08	1.78	4.52	0.17	4.14	0.92	0.08	1.79	1012.13	41.94	1038.17	46.88	1093.42	19.62	92.57	1093.42	19.62
VRL 18-1 (C) 02	0.01	6.21	12.33	33.20	0.37	1.74	4.92	0.17	4.16	0.85	0.08	2.62	987.34	41.10	1022.29	50.30	1097.89	28.80	89.93	1097.89	28.80
VRL 18-1 (E) 01	0.00	27.17	36.15	144.67	0.25	1.80	3.39	0.17	3.00	0.89	0.08	1.58	1014.00	30.42	1045.17	35.42	1110.93	17.51	91.27	1110.93	17.51
VRL 18-1 (A) 03	0.02	38.22	54.53	163.25	0.33	2.36	3.80	0.22	2.87	0.75	0.08	2.49	1282.75	36.78	1230.18	46.75	1139.20	28.41	112.60	1139.20	28.41
VRL 18-1 (H) 03	0.01	25.13	44.61	128.97	0.35	1.88	4.16	0.18	3.36	0.81	0.08	2.45	1043.08	35.00	1074.67	44.66	1139.33	27.94	91.55	1139.33	27.94
VRL 18-1 (A) 04	0.02	33.53	72.59	139.84	0.52	2.20	2.90	0.21	1.84	0.63	0.08	2.24	1202.96	22.11	1182.36	34.23	1144.86	25.61	105.07	1144.86	25.61

VRL 18-1 (H) 02	0.00	33.76	33.57	185.21	0.18	1.87	5.86	0.17	5.62	0.96	0.08	1.66	1033.73	58.14	1070.43	62.77	1145.97	19.02	90.21	1145.97	19.02
VRL 18 (L)03	0.00	21.95	42.25	99.67	0.42	2.09	2.08	0.19	1.74	0.84	0.08	1.14	1147.68	19.99	1147.09	23.90	1145.98	13.10	100.15	1145.98	13.10
VRL 18-1 (D) 06	0.00	72.25	53.02	405.04	0.13	1.88	2.79	0.17	2.35	0.84	0.08	1.50	1034.60	24.35	1074.07	29.97	1155.10	17.31	89.57	1155.10	17.31
VRL 18 (L)07	0.00	23.47	42.49	103.49	0.41	2.18	2.13	0.20	1.77	0.83	0.08	1.18	1178.69	20.87	1176.07	25.00	1171.25	13.77	100.63	1171.25	13.77
VRL 18-1 (I) 09	0.00	126.87	583.44	595.83	0.98	1.95	2.84	0.18	2.63	0.92	0.08	1.10	1060.25	27.84	1097.29	31.22	1171.49	12.84	90.50	1171.49	12.84
VRL 18-1 (F) 03	0.00	40.59	106.20	182.68	0.58	2.05	2.56	0.19	2.13	0.83	0.08	1.42	1111.64	23.72	1132.65	29.02	1173.15	16.63	94.76	1173.15	16.63
VRL 18-1 (E) 08	0.00	52.54	61.39	255.33	0.24	2.00	2.55	0.18	2.15	0.84	0.08	1.38	1084.23	23.30	1114.30	28.45	1173.46	16.18	92.40	1173.46	16.18
VRL 18-1 (E) 07	0.00	75.13	155.36	344.57	0.45	1.98	2.64	0.18	2.32	0.88	0.08	1.26	1075.16	24.91	1109.26	29.26	1176.72	14.85	91.37	1176.72	14.85
VRL 18-1 (J) 06	0.00	28.93	197.10	136.18	1.45	2.03	2.71	0.19	2.26	0.83	0.08	1.51	1094.41	24.68	1124.07	30.51	1181.85	17.85	92.60	1181.85	17.85
VRL 18 (K)01	0.00	35.97	45.17	173.26	0.26	2.07	2.26	0.19	1.97	0.87	0.08	1.10	1118.15	22.02	1140.04	25.74	1181.94	13.05	94.60	1181.94	13.05
VRL 18-1 (A) 07	0.03	17.06	41.48	67.59	0.61	2.29	4.12	0.21	2.50	0.61	0.08	3.27	1219.20	30.52	1209.30	49.82	1191.68	38.98	102.31	1191.68	38.98
VRL 18-1 (I) 08	0.00	224.30	620.86	1102.08	0.56	2.00	2.52	0.18	2.31	0.91	0.08	1.02	1076.63	24.84	1116.40	28.17	1194.68	12.21	90.12	1194.68	12.21
VRL 18 (L)02	0.00	103.26	84.74	470.08	0.18	2.29	1.97	0.21	1.78	0.91	0.08	0.84	1216.69	21.65	1208.79	23.76	1194.70	9.98	101.84	1194.70	9.98
VRL 18-1 (D) 07	0.00	61.32	277.51	263.97	1.05	2.05	2.47	0.19	2.12	0.86	0.08	1.27	1098.24	23.31	1133.42	28.01	1201.44	15.22	91.41	1201.44	15.22
VRL 18-1 (G) 03	0.00	228.05	187.52	1316.69	0.14	1.84	4.79	0.17	4.58	0.96	0.08	1.40	993.67	45.55	1061.36	50.87	1203.29	16.84	82.58	1203.29	16.84
VRL 18-1 (G) 07	0.00	149.79	445.15	668.47	0.67	2.11	4.11	0.19	3.91	0.95	0.08	1.28	1125.42	43.97	1153.43	47.42	1206.45	15.42	93.28	1206.45	15.42
VRL 18-1 (F) 06	0.00	20.10	58.73	87.53	0.67	2.14	2.74	0.19	2.07	0.76	0.08	1.79	1139.70	23.57	1163.20	31.82	1207.23	21.61	94.41	1207.23	21.61
VRL 18-1 (C) 08	0.01	20.81	57.11	83.96	0.68	2.05	3.36	0.19	2.83	0.84	0.08	1.82	1095.33	31.02	1133.48	38.13	1207.30	21.93	90.73	1207.30	21.93
VRL 18-1 (B) 01	0.03	12.07	34.08	39.06	0.87	2.65	2.20	0.24	1.67	0.76	0.08	1.44	1374.80	22.90	1313.92	28.89	1215.92	17.46	113.07	1215.92	17.46
VRL 18-1 (J) 05	0.00	17.69	85.92	83.87	1.02	2.09	3.60	0.19	2.70	0.75	0.08	2.38	1105.54	29.80	1144.68	41.17	1219.63	29.04	90.64	1219.63	29.04
VRL 18-1 (D) 09	0.00	66.49	265.04	300.09	0.88	2.13	2.58	0.19	2.25	0.87	0.08	1.27	1118.14	25.16	1158.22	29.93	1234.02	15.67	90.61	1234.02	15.67
VRL 18 (L)04	0.01	4.71	11.32	19.20	0.59	2.30	3.44	0.20	2.54	0.74	0.08	2.31	1198.31	30.48	1213.74	41.73	1241.27	28.71	96.54	1241.27	28.71
VRL 18-1 (E) 02	0.00	111.83	173.42	482.32	0.36	2.20	2.98	0.19	2.73	0.92	0.08	1.18	1145.99	31.30	1181.56	35.16	1247.29	14.75	91.88	1247.29	14.75
VRL 18-1 (D) 02	0.00	41.72	102.35	184.48	0.55	2.20	2.70	0.19	2.32	0.86	0.08	1.38	1144.19	26.49	1182.02	31.86	1251.93	17.28	91.39	1251.93	17.28
VRL 18 (L)09	0.01	11.78	25.21	48.72	0.52	2.28	4.11	0.20	3.55	0.86	0.08	2.07	1160.19	41.21	1205.85	49.56	1288.59	26.65	90.04	1288.59	26.65
VRL 18-1 (G) 06	0.00	46.90	125.61	189.15	0.66	2.33	4.47	0.20	4.19	0.94	0.08	1.57	1172.47	49.10	1220.60	54.60	1306.72	20.54	89.73	1306.72	20.54
VRL 18-1 (D) 05	0.01	17.20	26.68	72.08	0.37	2.38	3.04	0.20	2.56	0.84	0.08	1.62	1192.46	30.58	1236.12	37.53	1313.06	21.33	90.81	1313.06	21.33
VRL 18-1 (J) 01	0.00	135.50	291.02	672.31	0.43	2.37	3.64	0.20	3.54	0.97	0.08	0.86	1187.77	42.02	1233.07	44.88	1313.16	11.24	90.45	1313.16	11.24
VRL 18-1 (E) 09	0.00	105.95	165.28	435.89	0.38	2.43	2.42	0.21	2.11	0.87	0.09	1.18	1210.55	25.59	1252.24	30.32	1324.64	15.65	91.39	1324.64	15.65
VRL 18-1 (B) 06	0.03	11.11	10.74	39.77	0.27	2.95	4.27	0.25	3.87	0.91	0.09	1.80	1439.29	55.67	1393.90	59.49	1325.13	23.91	108.62	1325.13	23.91
VRL 18-1 (E) 03	0.00	53.71	59.99	216.84	0.28	2.58	3.08	0.22	2.78	0.90	0.09	1.32	1267.43	35.26	1293.91	39.87	1338.13	17.71	94.72	1338.13	17.71
VRL 18 (L)06	0.00	49.46	41.09	213.71	0.19	2.64	1.08	0.22	0.75	0.70	0.09	0.77	1276.60	9.57	1312.88	14.15	1372.62	10.63	93.00	1372.62	10.63
VRL 18-1 (B) 03	0.02	19.31	20.81	62.11	0.34	3.33	2.74	0.28	2.35	0.86	0.09	1.42	1568.40	36.82	1487.57	40.79	1374.16	19.46	114.14	1374.16	19.46
VRL 18-1 (B) 04	0.02	15.88	12.44	50.12	0.25	3.75	4.77	0.31	4.62	0.97	0.09	1.17	1741.19	80.49	1583.07	75.49	1378.36	16.13	126.32	1378.36	16.13
VRL 18-1 (H) 01	0.00	43.57	69.09	179.69	0.38	2.60	6.26	0.21	5.72	0.91	0.09	2.54	1249.30	71.51	1299.63	81.41	1383.73	35.21	90.28	1383.73	35.21
VRL 18 (K)0 2	0.00	59.91	93.67	279.31	0.34	2.76	1.91	0.23	1.69	0.88	0.09	0.90	1312.09	22.13	1344.99	25.73	1397.73	12.60	93.87	1397.73	12.60
VRL 18 (K)08	0.00	88.72	166.20	354.45	0.47	2.81	1.16	0.22	0.88	0.76	0.09	0.76	1305.66	11.45	1358.05	15.74	1441.49	10.92	90.58	1441.49	10.92
VRL 18-1 (G) 04	0.00	45.29	80.79	175.73	0.46	2.92	3.54	0.23	3.28	0.93	0.09	1.31	1349.28	44.32	1387.88	49.08	1447.74	18.96	93.20	1447.74	18.96
VRL 18-1 (H) 09	0.00	189.04	376.04	681.02	0.55	2.87	4.45	0.23	4.31	0.97	0.09	1.12	1319.53	56.87	1374.27	61.21	1460.39	16.41	90.35	1460.39	16.41
VRL 18-1 (B) 07	0.02	17.56	18.32	53.43	0.34	3.51	2.81	0.28	2.56	0.91	0.09	1.16	1568.09	40.17	1528.98	42.97	1475.28	17.07	106.29	1475.28	17.07
VRL 18-1 (F) 08	0.00	77.41	100.32	298.35	0.34	3.05	2.54	0.24	1.95	0.77	0.09	1.63	1378.76	26.87	1419.19	36.06	1480.41	24.14	93.13	1480.41	24.14
VRL 18-1 (A) 01	0.03	21.64	29.12	68.76	0.42	3.53	4.24	0.27	3.43	0.81	0.09	2.49	1564.38	53.69	1533.69	65.01	1491.61	37.11	104.88	1491.61	37.11
VRL 18-1 (J) 09	0.00	26.82	167.19	92.33	1.81	3.20	2.67	0.25	2.37	0.89	0.09	1.22	1422.42	33.77	1457.78	38.90	1509.70	18.38	94.22	1509.70	18.38
VRL 18-1 (F) 02	0.00	29.01	42.90	103.92	0.41	3.19	2.51	0.25	2.12	0.84	0.09	1.34	1416.16	30.03	1453.99	36.51	1509.73	20.29	93.80	1509.73	20.29
VRL 18 (L)05	0.00	39.68	79.97	133.09	0.60	3.27	6.52	0.25	6.44	0.99	0.09	0.99	1445.19	93.06	1474.95	96.10	1518.04	15.08	95.20	1518.04	15.08
VRL 18 (L)01	0.01	10.05	19.33	32.07	0.60	3.46	5.84	0.27	2.71	0.46	0.09	5.17	1519.70	41.16	1519.10	88.67	1518.25	78.50	100.10	1518.25	78.50
VRL 18-1 (J) 03	0.00	24.92	129.27	85.65	1.51	3.31	2.75	0.25	2.29	0.83	0.10	1.52	1453.04	33.33	1484.16	40.87	1528.91	23.29	95.04	1528.91	23.29
VRL 18 (K)09	0.00	91.81	109.46	331.34	0.33	3.21	2.15	0.24	1.99	0.93	0.10	0.80	1409.80	28.05	1459.05	31.30	1531.51	12.30	92.05	1531.51	12.30

VRL 18 (K)03	0.00	76.61	53.75	295.95	0.18	3.15	3.73	0.24	3.64	0.98	0.10	0.78	1382.81	50.37	1444.57	53.82	1536.67	12.01	89.99	1536.67	12.01
VRL 18-1 (J) 08	0.00	#DIV/0!	683.67	535.66	1.28	3.22	4.49	0.24	4.42	0.98	0.10	0.80	1409.13	62.27	1460.81	65.61	1536.79	12.30	91.69	1536.79	12.30
VRL 18-1 (B) 02	0.03	40.76	54.57	138.00	0.40	2.13	42.46	0.16	42.32	1.00	0.10	3.52	963.83	407.87	1157.88	491.68	1541.76	54.34	62.51	1541.76	54.34
VRL 18-1 (I) 03	0.00	108.44	351.25	421.15	0.83	3.52	1.18	0.27	0.87	0.73	0.10	0.80	1516.11	13.12	1532.57	18.07	1555.37	12.46	97.48	1555.37	12.46
VRL 18-1 (C) 09	0.00	93.14	70.26	320.74	0.22	3.98	16.41	0.29	16.31	0.99	0.10	1.83	1654.03	269.73	1630.47	267.56	1600.20	29.32	103.36	1600.20	29.32
VRL 18 (K)04	0.00	45.86	56.95	150.90	0.38	3.56	2.14	0.26	1.92	0.90	0.10	0.94	1487.78	28.59	1539.59	32.96	1611.50	15.20	92.32	1611.50	15.20
VRL 18 (K)06	0.00	127.75	98.87	469.90	0.21	3.57	8.14	0.26	7.99	0.98	0.10	1.55	1493.95	119.40	1543.91	125.68	1612.99	24.94	92.62	1612.99	24.94
VRL 18-1 (G) 01	0.00	74.09	168.42	224.48	0.75	3.61	3.70	0.26	3.47	0.94	0.10	1.28	1484.28	51.47	1552.61	57.38	1646.89	21.05	90.13	1646.89	21.05
VRL 18-1 (D) 03	0.00	141.58	432.94	438.60	0.99	3.71	1.60	0.26	1.29	0.80	0.10	0.95	1506.47	19.39	1573.69	25.19	1665.03	15.84	90.48	1665.03	15.84
VRL 18-1 (A) 08	0.01	133.81	638.39	414.63	1.54	3.52	4.03	0.25	3.41	0.85	0.10	2.14	1426.23	48.59	1531.43	61.64	1679.91	36.01	84.90	1679.91	36.01
VRL 18-1 (G) 02	0.00	121.20	222.41	355.34	0.63	3.78	3.13	0.27	2.92	0.93	0.10	1.11	1517.80	44.39	1588.30	49.69	1683.20	18.71	90.17	1683.20	18.71
VRL 18-1 (B) 08	0.05	43.91	101.82	126.68	0.80	2.80	36.41	0.19	35.95	0.99	0.11	5.81	1104.12	396.89	1354.80	493.31	1775.98	103.14	62.17	1775.98	103.14
VRL 18-1 (D) 08	0.00	147.39	847.29	451.03	1.88	3.44	4.98	0.23	4.93	0.99	0.11	0.73	1330.20	65.55	1513.36	75.39	1779.94	12.95	74.73	1779.94	12.95
VRL 18-1 (E) 06	0.00	37.73	110.30	121.28	0.91	3.19	4.46	0.21	4.31	0.97	0.11	1.14	1209.61	52.18	1453.55	64.87	1830.84	20.94	66.07	1830.84	20.94
VRL 18-1 (A) 09	0.01	106.98	30.94	284.31	0.11	5.75	2.15	0.36	1.73	0.81	0.12	1.27	1978.68	34.32	1938.81	41.64	1896.47	24.01	104.34	1896.47	24.01
VRL 18-1 (C) 01	0.00	51.05	110.01	115.44	0.95	4.98	2.34	0.31	2.15	0.92	0.12	0.94	1728.87	37.11	1816.33	42.58	1918.18	18.06	90.13	1918.18	18.06
VRL 18-1 (E) 04	0.00	44.23	95.13	102.48	0.93	5.24	1.72	0.32	1.35	0.79	0.12	1.06	1781.97	24.11	1859.61	32.02	1947.56	20.74	91.50	1947.56	20.74
VRL 18-1 (I) 01	0.00	131.11	320.48	349.23	0.92	5.49	2.57	0.33	2.43	0.95	0.12	0.83	1848.39	44.91	1899.66	48.77	1956.14	16.20	94.49	1956.14	16.20
VRL 18-1 (B) 05	0.01	36.91	87.03	53.03	1.64	6.80	3.96	0.41	3.80	0.96	0.12	1.14	2193.55	83.27	2086.21	82.69	1981.89	22.58	110.68	1981.89	22.58
VRL 18-1 (B) 09	0.05	18.29	29.57	46.95	0.63	6.92	20.33	0.38	19.02	0.94	0.13	7.19	2090.05	397.53	2101.12	427.23	2111.97	151.85	98.96	2111.97	151.85

Fonte: A autora, 2021.

APÊNDICE B – Dados da amostra VRL-20-1

	f 206a	Isotope ratiosc										Ages (Ma)									
		ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf		
Spot number		Pb	Th	U		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s		207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	%	Melhor Idade	Erro
VRL-20-1/01A (1)	0.00	16.17	33.58	64.34	0.52	2.38	2.06	0.22	1.91	0.93	0.08	0.76	1268.19	24.26	1236.56	25.47	1181.86	9.03	107.30	1181.86	9.03
VRL-20-1/02A (1)	0.01	49.67	77.77	363.76	0.21	1.98	9.41	0.18	9.31	0.99	0.08	1.33	1081.90	100.75	1108.10	104.24	1159.90	15.39	93.27	1159.90	15.39
VRL-20-1/04A (1)	0.00	50.02	51.69	245.56	0.21	2.05	2.63	0.19	2.55	0.97	0.08	0.66	1113.86	28.37	1132.00	29.79	1166.95	7.73	95.45	1166.95	7.73
VRL-20-1/05A (1)	0.00	50.36	49.54	260.80	0.19	2.37	28.88	0.21	28.81	1.00	0.08	1.93	1250.21	360.21	1234.31	356.43	1206.65	23.32	103.61	1206.65	23.32
VRL-20-1/06A (1)	0.05	15.30	1.49	184.27	0.01	4.46	6.36	0.30	5.92	0.93	0.11	2.31	1698.63	100.58	1723.00	109.51	1752.73	40.50	96.91	1752.73	40.50
VRL-20-1/07A (1)	0.01	22.23	23.41	102.21	0.23	2.14	3.17	0.19	1.89	0.60	0.08	2.54	1144.31	21.67	1161.25	36.77	1192.99	30.27	95.92	1192.99	30.27
VRL-20-1/08A (1)	0.00	47.70	101.30	99.01	1.02	5.74	2.60	0.35	2.52	0.97	0.12	0.63	1935.16	48.86	1937.53	50.44	1940.06	12.30	99.75	1940.06	12.30
VRL-20-1/09A (1)	0.00	50.32	68.42	295.47	0.23	1.59	15.01	0.16	14.98	1.00	0.07	0.94	950.41	142.37	967.21	145.17	1005.57	9.43	94.51	1005.57	9.43
VRL 20-1/01B (1)	0.00	65.54	120.65	265.41	0.45	2.40	7.73	0.21	7.51	0.97	0.08	1.86	1235.41	92.72	1241.16	95.97	1251.17	23.28	98.74	1251.17	23.28
VRL 20-1/02B (1)	0.00	19.18	44.95	95.92	0.47	1.75	2.63	0.17	1.94	0.74	0.07	1.77	1016.22	19.69	1027.33	26.97	1051.08	18.62	96.68	1051.08	18.62
VRL 20-1/03B (1)	0.00	52.40	91.89	233.64	0.39	2.11	2.26	0.19	2.17	0.96	0.08	0.65	1139.90	24.69	1152.24	26.04	1175.53	7.61	96.97	1175.53	7.61
VRL 20-1/05B (1)	0.00	53.22	84.05	239.86	0.35	2.10	2.18	0.19	2.06	0.94	0.08	0.71	1139.64	23.42	1147.63	24.96	1162.74	8.29	98.01	1162.74	8.29
VRL 20-1/06B (1)	0.00	58.76	79.33	257.03	0.31	2.24	2.00	0.20	1.90	0.95	0.08	0.61	1170.19	22.29	1194.15	23.89	1237.79	7.58	94.54	1237.79	7.58
VRL 20-1/07B (1)	0.00	67.06	110.04	207.23	0.53	3.70	5.71	0.28	5.64	0.99	0.10	0.88	1581.83	89.17	1571.02	89.63	1556.53	13.69	101.63	1556.53	13.69
VRL 20-1/02C (1)	0.00	30.75	5.40	354.04	0.02	0.69	3.36	0.09	3.12	0.93	0.06	1.23	528.38	16.51	532.00	17.85	547.56	6.71	96.50	528.38	16.51
VRL 20-1/03C (1)	0.00	61.34	46.96	147.21	0.32	6.44	7.57	0.39	7.52	0.99	0.12	0.89	2107.86	158.41	2038.31	154.25	1968.65	17.52	107.07	2107.86	158.41
VRL 20-1/04C (1)	0.00	52.08	15.67	577.11	0.03	0.68	3.36	0.08	3.26	0.97	0.06	0.82	525.58	17.14	526.73	17.72	531.71	4.37	98.85	525.58	17.14
VRL 20-1/05C (1)	0.00	27.62	89.19	812.59	0.11	0.23	6.97	0.03	6.89	0.99	0.05	1.02	207.86	14.33	208.96	14.56	221.37	2.26	93.90	207.86	14.33
VRL 20-1/06C (1)	0.00	33.90	77.46	170.52	0.45	1.75	2.51	0.17	2.33	0.93	0.07	0.93	1022.39	23.85	1026.40	25.78	1034.94	9.65	98.79	1034.94	9.65
VRL 20-1/07C (1)	0.00	61.20	91.51	295.52	0.31	2.24	2.22	0.20	1.87	0.85	0.08	1.19	1175.76	22.04	1192.76	26.45	1223.69	14.50	96.08	1223.69	14.50
VRL 20-1/08C (1)	0.00	36.77	55.50	151.74	0.37	2.34	4.78	0.21	4.70	0.98	0.08	0.84	1211.69	56.98	1223.27	58.45	1243.75	10.49	97.42	1243.75	10.49
VRL 20-1/09C (1)	0.00	60.98	99.68	268.99	0.37	2.27	4.82	0.20	2.10	0.44	0.08	4.34	1186.09	24.90	1201.65	57.90	1229.75	53.33	96.45	1229.75	53.33
VRL-20-1/01D (1)	0.00	61.29	55.40	278.65	0.20	2.36	7.03	0.21	7.01	1.00	0.08	0.62	1230.51	86.22	1230.34	86.54	1230.05	7.64	100.04	1230.05	7.64
VRL-20-1/03D (1)	0.00	40.30	48.79	173.24	0.28	2.35	2.06	0.21	1.95	0.94	0.08	0.68	1229.27	23.93	1228.32	25.33	1226.65	8.35	100.21	1226.65	8.35
VRL-20-1/04D (1)	0.00	20.00	49.91	79.29	0.63	2.30	2.26	0.20	2.03	0.90	0.08	1.00	1198.05	24.30	1212.72	27.40	1238.93	12.33	96.70	1238.93	12.33
VRL-20-1/05D (1)	0.00	39.65	72.62	177.24	0.41	2.11	2.00	0.19	1.92	0.96	0.08	0.55	1141.71	21.93	1152.61	23.03	1173.15	6.45	97.32	1173.15	6.45
VRL-20-1/06D (1)	0.00	14.17	30.43	76.76	0.40	1.69	2.92	0.16	2.56	0.88	0.07	1.40	980.17	25.14	1003.00	29.32	1053.22	14.78	93.06	1053.22	14.78
VRL-20-1/09D (1)	0.00	24.12	59.99	112.56	0.53	1.88	2.11	0.19	1.94	0.92	0.07	0.83	1101.03	21.33	1075.50	22.68	1024.11	8.52	107.51	1024.11	8.52
VRL-20-1/02E (1)	0.00	48.93	64.37	281.04	0.23	2.28	10.65	0.21	10.58	0.99	0.08	1.17	1242.09	131.44	1206.42	128.44	1143.14	13.34	108.66	1143.14	13.34
VRL-20-1/04E (1)	0.00	24.44	37.33	149.40	0.25	1.64	2.60	0.16	2.51	0.96	0.07	0.69	959.95	24.06	983.86	25.57	1037.61	7.14	92.51	959.95	24.06
VRL-20-1/06E (1)	0.00	34.98	86.91	163.18	0.53	2.28	4.32	0.20	4.23	0.98	0.08	0.89	1160.91	49.06	1206.45	52.10	1288.93	11.44	90.07	1288.93	11.44
VRL-20-1/07E (1)	0.00	24.74	28.01	127.50	0.22	2.33	3.87	0.20	3.73	0.96	0.08	1.03	1179.00	43.94	1221.35	47.24	1296.96	13.41	90.90	1296.96	13.41
VRL 20-1/ 01 A	0.00	98.31	11.94	207.81	0.06	6.12	2.48	0.37	2.35	0.95	0.12	0.78	2035.41	47.83	1992.55	49.35	1948.37	15.24	104.47	1948.37	15.24
VRL 20-1/ 03 A	0.00	78.71	5.40	254.66	0.02	3.69	21.92	0.26	16.07	0.73	0.10	14.91	1502.78	241.55	1568.21	343.79	1657.43	247.08	90.67	1657.43	247.08
VRL 20-1/ 04 A	0.00	90.36	6.17	316.22	0.02	3.33	5.64	0.26	5.53	0.98	0.09	1.10	1478.89	81.78	1487.81	83.88	1500.55	16.45	98.56	1500.55	16.45
VRL 20-1/ 05 A	0.00	11.78	1.58	59.35	0.03	1.79	5.24	0.17	4.96	0.95	0.07	1.69	1028.77	51.05	1040.84	54.56	1066.26	17.99	96.48	1066.26	17.99
VRL 20-1/ 06 A	0.00	39.29	5.67	160.08	0.04	2.26	4.37	0.21	4.19	0.96	0.08	1.24	1207.46	50.62	1198.77	52.41	1183.15	14.70	102.05	1183.15	14.70
VRL 20-1/ 07 A	0.00	41.86	4.10	294.84	0.01	2.11	4.96	0.19	4.66	0.94	0.08	1.70	1115.34	51.94	1153.18	57.17	1225.03	20.83	91.05	1225.03	20.83
VRL 20-1/ 08 A	0.00	55.36	7.30	291.47	0.03	1.63	6.06	0.16	5.91	0.97	0.07	1.36	966.59	57.12	981.46	59.51	1014.87	13.79	95.24	966.59	57.12
VRL 20-1/ 09 A	0.00	59.72	4.84	276.83	0.02	2.11	4.72	0.19	4.57	0.97	0.08	1.19	1136.10	51.92	1151.13	54.38	1179.55	14.10	96.32	1179.55	14.10

VRL 20-1/ 01 B	0.00	42.44	6.24	186.11	0.03	2.19	2.91	0.20	2.65	0.91	0.08	1.20	1156.27	30.61	1176.86	34.20	1214.92	14.57	95.17	1214.92	14.57
VRL 20-1/ 02 B	0.00	63.13	11.46	480.30	0.02	1.92	5.07	0.18	4.90	0.97	0.08	1.31	1068.58	52.38	1087.27	55.17	1124.90	14.74	94.99	1124.90	14.74
VRL 20-1/ 03 B	0.00	76.67	13.12	247.44	0.05	3.08	2.40	0.25	2.19	0.91	0.09	0.98	1415.79	31.05	1428.32	34.33	1447.04	14.23	97.84	1447.04	14.23
VRL 20-1/ 04 B	0.01	90.04	10.17	420.60	0.02	2.32	3.65	0.20	3.41	0.94	0.08	1.29	1177.16	40.20	1218.70	44.48	1293.01	16.64	91.04	1293.01	16.64
VRL 20-1/ 05 B	0.00	63.20	8.25	339.91	0.02	2.35	3.61	0.21	3.10	0.86	0.08	1.86	1240.55	38.40	1227.49	44.32	1204.63	22.38	102.98	1204.63	22.38
VRL 20-1/ 06 B	0.00	29.12	3.21	114.54	0.03	2.59	2.98	0.22	2.61	0.88	0.09	1.44	1280.28	33.42	1297.16	38.68	1325.20	19.10	96.61	1325.20	19.10
VRL 20-1/ 07 B	0.00	119.20	3.79	544.12	0.01	2.20	6.56	0.20	6.45	0.98	0.08	1.20	1186.26	76.50	1182.33	77.55	1175.16	14.08	100.94	1175.16	14.08
VRL 20-1/ 08 B	0.00	10.60	1.53	54.84	0.03	1.73	3.52	0.17	3.06	0.87	0.07	1.73	1007.63	30.86	1018.39	35.81	1041.60	17.99	96.74	1041.60	17.99
VRL 20-1/ 09 B	0.00	10.66	1.62	53.80	0.03	1.78	5.42	0.17	3.41	0.63	0.08	4.22	1007.76	34.32	1037.77	56.26	1101.52	46.46	91.49	1101.52	46.46
VRL 20-1/ 01 C	0.00	48.47	4.36	251.86	0.02	1.77	5.87	0.17	5.72	0.97	0.07	1.31	1036.98	59.33	1036.04	60.81	1034.06	13.52	100.28	1034.06	13.52
VRL 20-1/ 02 C	0.00	30.14	4.15	269.16	0.02	1.38	6.21	0.14	6.04	0.97	0.07	1.44	861.01	52.04	880.38	54.71	929.39	13.41	92.64	861.01	52.04
VRL 20-1/ 03 C	0.00	14.73	1.60	77.51	0.02	1.72	5.30	0.17	5.09	0.96	0.07	1.47	1004.70	51.18	1015.00	53.81	1037.29	15.23	96.86	1037.29	15.23
VRL 20-1/ 05 C	0.00	40.35	5.80	439.69	0.01	1.11	7.08	0.12	6.94	0.98	0.07	1.43	748.15	51.90	758.25	53.70	788.15	11.24	94.92	748.15	51.90
VRL 20-1/ 06 C	0.00	16.72	1.61	81.78	0.02	1.92	4.97	0.18	4.72	0.95	0.08	1.56	1080.46	50.98	1088.03	54.08	1103.23	17.22	97.94	1103.23	17.22
VRL 20-1/ 08 C	0.00	21.11	1.09	105.85	0.01	1.99	4.89	0.19	4.68	0.96	0.08	1.41	1100.96	51.49	1113.43	54.39	1137.84	16.07	96.76	1137.84	16.07
VRL 20-1/ 09 C	0.00	16.77	1.72	109.16	0.02	2.21	4.89	0.20	4.57	0.93	0.08	1.74	1181.86	54.02	1184.48	57.93	1189.29	20.71	99.37	1189.29	20.71
VRL 20-1/ 01 D	0.00	89.08	104.04	494.42	0.21	1.84	3.79	0.17	3.56	0.94	0.08	1.32	1034.53	36.81	1059.08	40.19	1110.02	14.63	93.20	1110.02	14.63
VRL 20-1/ 02 D	0.03	49.74	39.85	188.90	0.21	2.58	12.76	0.22	2.19	0.17	0.09	12.57	1265.18	27.72	1293.78	165.10	1341.57	168.65	94.31	1341.57	168.65
VRL 20-1/ 03 D	0.00	57.16	70.00	272.39	0.26	2.16	5.01	0.20	4.71	0.94	0.08	1.69	1189.51	56.05	1168.48	58.51	1129.71	19.14	105.29	1129.71	19.14
VRL 20-1/ 04 D	0.00	112.10	146.52	1541.50	0.10	0.75	5.52	0.09	5.36	0.97	0.06	1.34	555.78	29.78	567.71	31.35	615.79	8.23	90.26	555.78	29.78
VRL 20-1/ 05 D	0.00	72.37	35.29	374.94	0.09	1.78	3.09	0.18	2.82	0.92	0.07	1.24	1064.60	30.07	1039.55	32.07	987.25	12.25	107.83	987.25	12.25
VRL 20-1/ 06 D	0.00	124.77	40.58	1065.78	0.04	1.33	5.02	0.14	4.83	0.96	0.07	1.34	834.25	40.32	857.07	42.99	916.57	12.32	91.02	834.25	40.32
VRL 20-1/ 07 D	0.00	72.61	181.48	123.70	1.47	5.75	1.98	0.35	1.71	0.87	0.12	0.99	1938.74	33.21	1939.29	38.33	1939.89	19.12	99.94	1939.89	19.12
VRL 20-1/ 08 D	0.01	37.05	24.63	189.65	0.13	1.97	4.91	0.18	4.11	0.84	0.08	2.69	1073.10	44.15	1104.18	54.26	1165.92	31.32	92.04	1165.92	31.32
VRL 20-1/ 09 D	0.00	30.75	54.49	59.63	0.91	5.45	4.14	0.33	3.87	0.94	0.12	1.46	1838.87	71.18	1892.44	78.31	1951.72	28.54	94.22	1951.72	28.54
VRL 20-1/ 01 E	0.00	17.97	18.74	74.42	0.25	2.28	4.07	0.21	3.51	0.86	0.08	2.07	1213.58	42.55	1206.28	49.10	1193.23	24.67	101.71	1193.23	24.67
VRL 20-1/ 02 E	0.00	12.78	23.53	57.53	0.41	2.02	5.17	0.20	4.53	0.88	0.07	2.49	1163.04	52.68	1123.60	58.08	1048.13	26.10	110.96	1048.13	26.10
VRL 20-1/ 03 E	0.00	57.15	31.23	402.42	0.08	1.23	8.06	0.13	4.61	0.57	0.07	6.61	792.47	36.56	814.11	65.64	873.71	57.78	90.70	792.47	36.56
VRL 20-1/ 04 E	0.01	23.46	28.99	94.85	0.31	2.56	5.44	0.22	5.14	0.94	0.08	1.80	1292.91	66.40	1289.18	70.14	1282.96	23.06	100.78	1282.96	23.06
VRL 20-1/ 06 E	0.01	14.07	18.78	57.13	0.33	2.39	7.14	0.21	4.98	0.70	0.08	5.11	1230.21	61.32	1240.46	88.55	1258.32	64.30	97.77	1258.32	64.30
VRL 20-1/ 07 E	0.01	4.34	5.40	19.99	0.27	1.98	7.45	0.19	6.34	0.85	0.07	3.91	1132.19	71.83	1108.90	82.63	1063.52	41.57	106.46	1063.52	41.57
VRL 20-1/ 08 E	0.00	30.89	26.31	154.53	0.17	1.95	5.08	0.19	4.77	0.94	0.07	1.75	1114.57	53.19	1097.13	55.77	1062.70	18.62	104.88	1062.70	18.62
VRL 20-1/ 09 E	0.00	23.98	19.70	105.02	0.19	2.46	3.86	0.22	3.42	0.88	0.08	1.80	1300.85	44.48	1260.39	48.71	1191.98	21.47	109.13	1191.98	21.47
VRL 20-1/ 04 F	0.02	3.48	4.18	16.25	0.26	2.08	12.14	0.19	11.41	0.94	0.08	4.16	1131.44	129.09	1141.64	138.65	1161.08	48.32	97.45	1161.08	48.32
VRL 20-1/ 07 F	0.01	4.59	8.21	26.66	0.31	1.62	12.92	0.16	12.37	0.96	0.07	3.74	983.34	121.60	979.30	126.51	970.25	36.26	101.35	983.34	121.60
VRL 20-1/ 08 F	0.00	25.58	46.20	57.85	0.80	5.33	8.34	0.32	8.21	0.98	0.12	1.46	1806.12	148.36	1873.91	156.33	1949.93	28.38	92.62	1949.93	28.38
VRL 20-1/ 01 G	0.01	10.50	16.02	29.47	0.54	5.12	4.20	0.32	3.46	0.82	0.12	2.39	1790.04	61.86	1839.18	77.23	1895.25	45.21	94.45	1895.25	45.21
VRL 20-1/ 02 G	0.01	7.74	14.79	44.15	0.33	1.85	37.59	0.18	36.40	0.97	0.07	9.37	1077.88	392.37	1064.43	400.10	1036.97	97.12	103.94	1036.97	97.12
VRL 20-1/ 03 G	0.02	5.35	6.79	29.60	0.23	2.39	9.23	0.21	8.76	0.95	0.08	2.93	1245.62	109.07	1239.44	114.46	1228.72	36.05	101.38	1228.72	36.05
VRL 20-1/ 04 G	0.01	10.42	2.71	59.44	0.05	2.01	10.74	0.18	10.64	0.99	0.08	1.53	1092.24	116.17	1119.78	120.31	1173.62	17.90	93.07	1173.62	17.90
VRL 20-1/ 05 G	0.02	3.43	6.83	19.91	0.34	1.49	14.28	0.15	13.37	0.94	0.07	5.03	913.24	122.07	925.98	132.25	956.45	48.11	95.48	913.24	122.07
VRL 20-1/ 08 G	0.04	1.32	3.91	6.33	0.62	1.81	12.30	0.18	8.43	0.69	0.07	8.96	1069.14	90.16	1049.94	129.16	1010.23	90.47	105.83	1010.23	90.47
VRL 20-1/ 01 H	0.00	28.26	102.00	112.53	0.91	2.38	1.91	0.22	1.49	0.78	0.08	1.19	1261.83	18.82	1236.66	23.58	1193.06	14.17	105.76	1193.06	14.17
VRL 20-1/ 02 H	0.00	72.98	197.82	299.48	0.66	2.35	2.22	0.21	2.02	0.91	0.08	0.91	1231.93	24.88	1228.93	27.24	1223.66	11.17	100.68	1223.66	11.17
VRL 20-1/ 03 H	0.00	37.80	76.89	166.25	0.46	2.36	2.98	0.20	2.50	0.84	0.08	1.62	1200.77	29.98	1229.83	36.64	1281.15	20.81	93.73	1281.15	20.81
VRL 20-1/ 04 H	0.00	36.98	106.55	147.78	0.72	2.43	1.90	0.21	1.57	0.82	0.08	1.08	1254.47	19.67	1250.88	23.82	1244.72	13.44	100.78	1244.72	13.44
VRL 20-1/ 06 H	0.00	46.66	116.66	197.67	0.59	2.35	1.58	0.21	1.21	0.77	0.08	1.01	1225.91	14.87	1228.03	19.42	1231.76	12.50	99.52	1231.76	12.50
VRL 20-1/ 08 H	0.00	49.60	114.88	214.80	0.53	2.23	1.79	0.20	1.33	0.74	0.08	1.20	1194.44	15.92	1191.55	21.35	1186.31	14.21	100.69	1186.31	14.21

VRL 20-1/ 01 I	0.00	93.14	119.99	525.59	0.23	1.41	24.39	0.15	15.71	0.64	0.07	18.65	885.25	139.07	892.32	217.60	909.87	169.71	97.29	885.25	139.07
VRL 20-1/ 02 I	0.00	75.97	149.47	350.79	0.43	1.92	1.58	0.19	1.29	0.81	0.07	0.91	1112.78	14.31	1088.84	17.18	1041.27	9.52	106.87	1041.27	9.52
VRL 20-1/ 03 I	0.02	3.83	1.20	43.02	0.03	0.70	3.91	0.09	2.43	0.62	0.06	3.07	537.63	13.06	540.21	21.15	551.11	16.92	97.55	537.63	13.06
VRL 20-1/ 04 I	0.00	97.82	55.06	397.74	0.14	2.59	12.19	0.23	12.15	1.00	0.08	0.96	1331.37	161.80	1297.66	158.20	1242.33	11.99	107.17	1242.33	11.99
VRL 20-1/ 06 I	0.00	64.21	60.18	290.43	0.21	2.31	2.35	0.21	1.47	0.63	0.08	1.83	1226.56	18.09	1216.33	28.60	1198.23	21.94	102.36	1198.23	21.94
VRL 20-1/ 08 I	0.00	25.43	22.29	106.80	0.21	2.45	1.69	0.22	1.18	0.70	0.08	1.21	1278.63	15.05	1256.96	21.18	1220.04	14.71	104.80	1220.04	14.71
VRL 20-1/ 09 I	0.00	39.04	50.00	198.40	0.25	1.83	1.44	0.18	0.98	0.68	0.07	1.06	1074.04	10.48	1056.23	15.19	1019.60	10.77	105.34	1019.60	10.77
VRL 20-1/ 02 J	0.00	80.13	183.03	434.38	0.42	1.53	2.59	0.16	2.39	0.92	0.07	0.99	942.00	22.55	943.99	24.45	948.66	9.39	99.30	942.00	22.55
VRL 20-1/ 03 J	0.00	44.67	109.95	222.37	0.49	1.75	2.49	0.18	2.18	0.87	0.07	1.21	1042.26	22.69	1026.95	25.57	994.46	12.03	104.81	994.46	12.03
VRL 20-1/ 04 J	0.00	29.14	50.88	125.98	0.40	2.17	1.86	0.20	1.54	0.82	0.08	1.05	1169.92	17.96	1170.56	21.79	1171.76	12.33	99.84	1171.76	12.33
VRL 20-1/ 05 J	0.01	17.46	31.24	87.36	0.36	1.81	3.02	0.18	1.32	0.44	0.07	2.72	1044.65	13.82	1049.16	31.71	1058.55	28.76	98.69	1058.55	28.76
VRL 20-1/ 06 J	0.00	76.36	92.40	347.86	0.27	2.60	7.84	0.23	7.53	0.96	0.08	2.18	1350.04	101.62	1300.03	101.88	1218.40	26.60	110.80	1218.40	26.60
VRL 20-1/ 07 J	0.00	61.56	47.71	319.25	0.15	1.86	1.95	0.18	1.56	0.80	0.07	1.18	1067.61	16.62	1066.41	20.83	1063.94	12.56	100.34	1063.94	12.56
VRL 20-1/ 09 J	0.00	71.17	47.91	474.41	0.10	1.67	4.82	0.16	4.07	0.85	0.07	2.57	973.31	39.62	996.39	47.98	1047.54	26.95	92.91	973.31	39.62
VRL 20-1/ 02 K	0.00	100.32	160.67	507.39	0.32	1.73	2.60	0.17	2.20	0.85	0.07	1.38	1005.59	22.10	1019.12	26.47	1048.30	14.50	95.93	1048.30	14.50
VRL 20-1/ 03 K	0.00	37.72	63.27	162.38	0.39	2.09	2.37	0.19	2.08	0.88	0.08	1.14	1112.42	23.16	1144.51	27.18	1205.83	13.78	92.25	1205.83	13.78
VRL 20-1/ 04 K	0.00	127.74	202.87	545.12	0.37	2.15	2.08	0.19	1.84	0.88	0.08	0.98	1135.56	20.85	1164.67	24.23	1219.20	11.91	93.14	1219.20	11.91
VRL 20-1/ 05 K	0.00	58.25	83.97	246.79	0.34	2.15	3.60	0.19	3.38	0.94	0.08	1.24	1126.11	38.03	1166.47	41.95	1242.20	15.36	90.65	1242.20	15.36
VRL 20-1/ 07 K	0.00	27.86	47.65	121.08	0.39	2.02	2.66	0.18	2.25	0.85	0.08	1.42	1087.93	24.49	1121.72	29.84	1187.76	16.84	91.60	1187.76	16.84
VRL 20-1/ 08 K	0.00	92.67	82.57	460.92	0.18	1.89	2.26	0.18	1.97	0.87	0.08	1.11	1057.29	20.80	1077.33	24.31	1118.09	12.36	94.56	1118.09	12.36
VRL 20-1/ 09 K	0.00	55.27	79.70	252.36	0.32	2.03	2.36	0.19	2.06	0.87	0.08	1.15	1098.88	22.63	1126.71	26.58	1180.74	13.59	93.07	1180.74	13.59
VRL 20-1/ 02 L	0.00	71.28	107.68	311.56	0.35	2.15	2.31	0.19	1.94	0.84	0.08	1.25	1133.83	21.97	1164.82	26.88	1222.90	15.32	92.72	1222.90	15.32
VRL 20-1/ 03 L	0.00	69.57	74.97	381.20	0.20	1.61	2.58	0.16	2.26	0.88	0.07	1.24	952.56	21.51	974.78	25.12	1025.20	12.73	92.92	952.56	21.51
VRL 20-1/ 04 L	0.00	126.89	254.08	444.22	0.57	2.63	2.98	0.22	2.69	0.90	0.09	1.28	1260.30	33.90	1308.45	38.95	1388.27	17.71	90.78	1388.27	17.71
VRL 20-1/ 05 L	0.00	26.70	56.44	136.47	0.41	1.62	2.55	0.16	2.05	0.80	0.07	1.52	957.76	19.59	978.63	24.92	1025.76	15.56	93.37	957.76	19.59
VRL 20-1/ 06 L	0.00	75.43	111.51	333.66	0.33	2.11	2.32	0.19	2.04	0.88	0.08	1.11	1113.99	22.70	1150.79	26.69	1220.81	13.54	91.25	1220.81	13.54
VRL 20-1/ 09 L	0.00	95.04	110.78	435.38	0.25	2.08	2.35	0.19	2.11	0.90	0.08	1.04	1105.54	23.32	1143.61	26.92	1216.56	12.71	90.87	1216.56	12.71
VRL 20-1/ 01 M	0.00	32.86	58.42	172.95	0.34	1.66	4.10	0.16	2.98	0.73	0.07	2.81	976.51	29.13	995.22	40.79	1036.68	29.14	94.20	976.51	29.13
VRL 20-1/ 03 M	0.00	97.52	75.29	487.32	0.15	2.03	6.95	0.19	6.84	0.98	0.08	1.24	1128.73	77.19	1124.12	78.13	1115.24	13.83	101.21	1115.24	13.83
VRL 20-1/ 05 M	0.00	136.83	281.78	424.12	0.66	3.06	9.84	0.24	9.58	0.97	0.09	2.23	1377.93	132.00	1422.71	139.93	1490.38	33.21	92.45	1490.38	33.21
VRL 20-1/ 06 M	0.00	110.52	31.25	494.31	0.06	2.48	2.17	0.22	1.76	0.81	0.08	1.27	1294.33	22.79	1267.51	27.55	1222.29	15.58	105.89	1222.29	15.58
VRL 20-1/ 07 M	0.00	59.68	160.04	175.38	0.91	3.14	2.79	0.25	2.47	0.89	0.09	1.30	1444.05	35.65	1443.23	40.25	1442.04	18.70	100.14	1442.04	18.70
VRL 20-1/ 08 M	0.00	53.49	64.02	220.57	0.29	2.31	2.42	0.21	2.14	0.89	0.08	1.12	1207.50	25.89	1216.52	29.43	1232.56	13.81	97.97	1232.56	13.81
VRL 20-1/ 09 M	0.00	69.50	100.11	264.34	0.38	2.76	2.33	0.23	1.41	0.60	0.09	1.85	1327.70	18.68	1343.75	31.27	1369.40	25.38	96.95	1369.40	25.38

Fonte: A autora, 2021.

APÊNDICE C – Dados da amostra VRL-21-1

Spot number	Isotope ratiosc																		Ages (Ma)				%	Melhor Idade	Erro
	Pb	Th	U	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	207Pb/	1 s	207Pb/	1 s								
	f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf						
VRL 21-1 (B) 4	0.03	43.63	77.29	616.25	0.13	0.25	63.94	0.03	60.46	0.95	0.06	20.79	197.75	119.56	230.53	147.39	579.68	120.51	34.11	197.75	119.56				
VRL 21-1 (E) 8	0.03	51.17	68.44	423.71	0.16	0.33	80.01	0.03	79.40	0.99	0.07	9.81	206.68	164.11	286.16	228.95	999.17	97.99	20.69	206.68	164.11				
VRL 21-1 (C) 7	0.02	54.86	68.78	480.22	0.14	0.31	88.12	0.03	86.73	0.98	0.07	15.58	207.24	179.75	275.00	242.33	900.31	140.24	23.02	207.24	179.75				
VRL 21-1 (B) 9	0.34	43.30	68.94	381.56	0.18	1.80	484.40	0.05	60.71	0.13	0.28	480.58	297.88	180.83	1044.04	5057.31	3337.30	16038.40	8.93	297.88	180.83				
VRL 21-1 (B) 2	0.22	4.27	6.02	81.00	0.07	0.39	13.99	0.05	10.85	0.78	0.05	8.83	338.23	36.69	334.35	46.76	307.42	27.14	110.02	338.23	36.69				
VRL 21-1 (C) 01	0.22	20.58	59.38	291.35	0.20	0.49	54.69	0.05	39.70	0.73	0.07	37.62	341.09	135.41	406.44	222.29	796.95	299.79	42.80	341.09	135.41				
VRL 21-1 (F) 7	0.00	83.57	167.56	941.61	0.18	0.80	6.52	0.09	6.30	0.97	0.07	1.68	542.56	34.18	594.72	38.76	799.06	13.39	67.90	542.56	34.18				
VRL 21-1 (A) 8	0.00	10.08	19.76	94.24	0.21	0.81	109.36	0.09	32.16	0.29	0.07	104.52	557.41	179.27	603.30	659.75	779.69	814.94	71.49	557.41	179.27				
VRL 21-1 (C) 5	0.23	79.98	32.74	511.93	0.06	2.72	389.59	0.11	32.16	0.08	0.18	388.26	659.14	211.95	1334.07	5197.33	2682.71	10415.78	24.57	659.14	211.95				
VRL 21-1 (F) 9	0.00	91.70	198.18	445.11	0.45	1.31	35.37	0.11	35.25	1.00	0.09	2.96	671.21	236.59	848.03	299.97	1344.18	39.73	49.93	671.21	236.59				
VRL 21-1 (F) 8	0.00	91.44	165.55	554.69	0.30	1.47	2.37	0.14	1.91	0.81	0.08	1.41	836.01	15.97	916.66	21.74	1116.19	15.70	74.90	836.01	15.97				
VRL 21-1 (F) 2	0.00	81.55	56.89	434.42	0.13	1.69	8.28	0.14	6.01	0.73	0.09	5.70	857.51	51.54	1006.05	83.31	1345.45	76.64	63.73	857.51	51.54				
VRL 21-1 (G) 6	0.01	9.53	16.11	54.78	0.29	1.54	4.91	0.16	2.72	0.55	0.07	4.09	935.01	25.45	947.80	46.56	977.62	39.98	95.64	935.01	25.45				
VRL 21-1 (F) 01	0.00	92.44	72.82	759.90	0.10	1.49	3.48	0.16	1.27	0.36	0.07	3.24	935.64	11.86	928.14	32.28	910.36	29.48	102.78	935.64	11.86				
VRL 21-1 (G) 5	0.00	71.25	154.88	380.71	0.41	1.60	5.75	0.16	5.58	0.97	0.07	1.39	955.48	53.28	968.92	55.69	999.54	13.93	95.59	955.48	53.28				
VRL 21-1 (G) 7	0.00	25.90	98.51	126.42	0.78	1.63	3.29	0.16	2.24	0.68	0.07	2.40	976.52	21.91	981.88	32.28	993.89	23.89	98.25	976.52	21.91				
VRL 21-1 (B) 6	0.00	37.35	75.78	189.63	0.40	1.72	1.67	0.17	1.20	0.72	0.07	1.16	1016.94	12.18	1016.46	16.96	1015.42	11.79	100.15	1015.42	11.79				
VRL 21-1 (E) 7	0.01	8.11	32.22	37.59	0.86	1.68	3.11	0.17	1.64	0.53	0.07	2.64	994.79	16.27	1001.64	31.15	1016.65	26.88	97.85	1016.65	26.88				
VRL 21-1 (D) 9	0.00	44.26	154.11	216.06	0.71	1.67	2.20	0.17	0.94	0.43	0.07	1.98	986.38	9.29	997.53	21.90	1022.13	20.27	96.50	1022.13	20.27				
VRL 21-1 (D) 8	0.00	48.17	101.47	243.16	0.42	1.74	1.60	0.17	1.07	0.67	0.07	1.19	1023.56	10.93	1024.01	16.34	1024.98	12.15	99.86	1024.98	12.15				
VRL 21-1 (G) 8	0.00	31.38	56.80	166.00	0.34	1.71	2.25	0.17	1.18	0.53	0.07	1.91	1004.43	11.88	1011.59	22.77	1027.12	19.67	97.79	1027.12	19.67				
VRL 21-1 (E) 3	0.00	39.10	45.06	210.62	0.21	1.71	1.40	0.17	0.75	0.53	0.07	1.18	1007.27	7.53	1013.96	14.17	1028.45	12.14	97.94	1028.45	12.14				
VRL 21-1 (G) 2	0.00	54.31	115.34	282.29	0.41	1.72	1.70	0.17	0.65	0.38	0.07	1.57	1003.63	6.53	1014.38	17.21	1037.66	16.26	96.72	1037.66	16.26				
VRL 21-1 (A) 2	0.00	14.73	37.06	72.11	0.51	1.75	2.22	0.17	1.48	0.67	0.07	1.65	1022.35	15.11	1028.84	22.82	1042.65	17.24	98.05	1042.65	17.24				
VRL 21-1 (B) 8	0.01	63.54	57.74	392.43	0.15	0.55	47.56	0.05	46.86	0.99	0.07	8.11	338.92	158.83	447.87	213.00	1054.60	85.52	32.14	1054.60	85.52				
VRL 21-1 (D) 4	0.01	48.15	76.84	303.95	0.25	0.34	110.88	0.03	109.72	0.99	0.07	16.02	210.16	230.59	297.46	329.84	1054.97	169.02	19.92	1054.97	169.02				
VRL 21-1 (D) 5	0.03	3.92	8.53	30.01	0.28	1.39	9.94	0.13	8.41	0.85	0.08	5.29	812.67	68.38	884.99	87.98	1070.38	56.66	75.92	1070.38	56.66				
VRL 21-1 (E) 01	0.01	14.89	26.97	79.75	0.34	1.68	3.91	0.16	2.64	0.68	0.08	2.88	966.92	25.57	1000.64	39.13	1075.27	30.98	89.92	1075.27	30.98				
VRL 21-1 (C) 6	0.00	35.91	47.12	183.19	0.26	1.85	2.20	0.18	1.32	0.60	0.08	1.76	1049.50	13.85	1062.30	23.40	1088.69	19.20	96.40	1088.69	19.20				
VRL 21-1 (B)7	0.01	9.41	17.95	46.38	0.39	1.80	2.85	0.17	1.38	0.49	0.08	2.49	1026.38	14.21	1047.25	29.84	1091.05	27.17	94.07	1091.05	27.17				
VRL 21-1 (F) 3	0.01	9.36	24.10	45.76	0.53	1.79	3.29	0.17	2.18	0.66	0.08	2.47	1019.11	22.22	1042.66	34.33	1092.34	26.95	93.30	1092.34	26.95				
VRL 21-1 (A) 3	0.03	68.58	101.96	702.93	0.15	0.72	29.13	0.07	28.86	0.99	0.08	3.96	424.56	122.52	548.51	159.77	1103.41	43.72	38.48	1103.41	43.72				
VRL 21-1 (G) 4	0.00	82.29	104.87	464.65	0.23	1.71	3.48	0.16	2.92	0.84	0.08	1.88	965.56	28.21	1010.42	35.11	1108.98	20.87	87.07	1108.98	20.87				
VRL 21-1 (E) 2	0.00	32.31	45.46	205.44	0.22	0.96	50.20	0.09	43.57	0.87	0.08	24.94	558.16	243.18	682.37	342.56	1116.99	278.57	49.97	1116.99	278.57				
VRL 21-1 (A) 5	0.01	100.87	380.69	582.47	0.65	1.61	10.91	0.15	2.72	0.25	0.08	10.56	899.67	24.51	972.48	106.07	1140.82	120.49	78.86	1140.82	120.49				
VRL 21-1 (E) 6	0.00	18.55	32.14	84.66	0.38	1.96	4.34	0.18	3.48	0.80	0.08	2.60	1078.11	37.51	1103.48	47.92	1153.84	29.97	93.44	1153.84	29.97				
VRL 21-1 (D) 6	0.00	61.32	90.15	278.45	0.32	2.14	5.62	0.20	5.39	0.96	0.08	1.58	1165.85	62.86	1162.98	65.32	1157.63	18.24	100.71	1157.63	18.24				
VRL 21-1 (D) 3	0.00	82.75	46.85	421.69	0.11	1.96	26.18	0.18	25.56	0.98	0.08	5.68	1074.49	274.60	1102.37	288.61	1157.81	65.80	92.80	1157.81	65.80				
VRL 21-1 (B) 5	0.00	26.68	85.90	107.96	0.80	2.03	2.08	0.19	1.27	0.61	0.08	1.65	1097.59	13.93	1123.99	23.37	1175.35	19.36	93.38	1175.35	19.36				
VRL 21-1 (C) 4	0.00	44.49	63.50	200.84	0.32	2.18	1.52	0.20	0.78	0.51	0.08	1.31	1174.50	9.14	1175.02	17.89	1175.96	15.40	99.88	1175.96	15.40				

VRL 21-1 (F) 6	0.00	86.54	183.87	449.89	0.41	1.70	4.42	0.16	4.22	0.95	0.08	1.32	933.33	39.39	1009.11	44.62	1177.51	15.50	79.26	1177.51	15.50
VRL 21-1 (C) 9	0.01	14.56	25.68	63.68	0.40	2.20	2.30	0.20	1.50	0.65	0.08	1.75	1181.10	17.67	1179.87	27.14	1177.62	20.58	100.30	1177.62	20.58
VRL 21-1 (A) 9	0.00	76.37	143.84	324.67	0.44	2.13	5.07	0.19	4.98	0.98	0.08	0.95	1146.82	57.14	1157.54	58.71	1177.65	11.17	97.38	1177.65	11.17
VRL 21-1 (G) 01	0.00	19.92	25.36	97.61	0.26	1.99	2.42	0.18	1.14	0.47	0.08	2.14	1075.92	12.27	1110.53	26.91	1178.94	25.20	91.26	1178.94	25.20
VRL 21-1 (B) 01	0.00	22.77	30.76	98.30	0.31	2.26	1.71	0.21	1.11	0.65	0.08	1.30	1203.74	13.32	1198.85	20.46	1190.05	15.46	101.15	1190.05	15.46
VRL 21-1 (A) 4	0.00	62.71	74.40	299.43	0.25	2.03	4.27	0.18	4.13	0.97	0.08	1.10	1088.19	44.94	1124.50	48.05	1195.34	13.11	91.04	1195.34	13.11
VRL 21-1 (A) 01	0.01	9.30	27.52	43.61	0.63	1.91	4.44	0.17	1.63	0.37	0.08	4.13	1027.23	16.76	1082.93	48.04	1196.76	49.37	85.83	1196.76	49.37
VRL 21-1 (C) 8	0.00	53.08	79.68	235.86	0.34	2.19	1.40	0.20	0.74	0.52	0.08	1.20	1168.43	8.61	1178.66	16.56	1197.48	14.32	97.57	1197.48	14.32
VRL 21-1 (B) 3	0.00	40.33	62.20	173.60	0.36	2.24	1.50	0.20	0.88	0.59	0.08	1.21	1191.71	10.53	1194.28	17.88	1198.93	14.49	99.40	1198.93	14.49
VRL 21-1 (D) 01	0.00	101.32	95.70	459.00	0.21	2.24	1.30	0.20	0.75	0.57	0.08	1.06	1190.78	8.88	1194.17	15.52	1200.32	12.78	99.21	1200.32	12.78
VRL 21-1 (E) 5	0.01	9.48	10.11	41.24	0.25	2.33	2.62	0.21	1.81	0.69	0.08	1.89	1220.65	22.15	1220.17	32.00	1219.32	23.09	100.11	1219.32	23.09
VRL 21-1 (E) 4	0.01	38.84	18.89	216.67	0.09	1.84	2.05	0.16	0.87	0.42	0.08	1.86	979.59	8.53	1058.83	21.73	1226.00	22.78	79.90	1226.00	22.78
VRL 21-1 (F) 4	0.00	48.79	45.00	216.28	0.21	2.36	1.33	0.21	0.70	0.52	0.08	1.13	1230.05	8.56	1229.87	16.34	1229.56	13.92	100.04	1229.56	13.92
VRL 21-1 (G) 3	0.00	51.52	50.60	230.09	0.22	2.32	1.87	0.21	1.17	0.63	0.08	1.46	1212.74	14.24	1219.12	22.81	1230.44	17.92	98.56	1230.44	17.92
VRL 21-1 (A)7	0.00	25.73	37.22	106.24	0.35	2.38	1.75	0.21	1.34	0.77	0.08	1.12	1234.22	16.59	1237.24	21.66	1242.50	13.95	99.33	1242.50	13.95
VRL 21-1 (A) 6	0.00	32.11	31.63	132.26	0.24	2.48	1.75	0.22	1.24	0.71	0.08	1.23	1276.83	15.84	1266.08	22.11	1247.87	15.34	102.32	1247.87	15.34
VRL 21-1 (F) 5	0.00	72.25	82.16	315.54	0.26	2.30	1.77	0.20	1.34	0.76	0.08	1.16	1191.21	15.95	1212.21	21.50	1249.79	14.53	95.31	1249.79	14.53
VRL 21-1 (D) 7	0.00	104.06	130.71	448.23	0.29	2.28	1.96	0.20	0.95	0.48	0.08	1.72	1175.68	11.12	1206.87	23.70	1263.12	21.73	93.08	1263.12	21.73
VRL 21-1 (E) 9	0.00	76.86	69.11	369.89	0.19	2.05	5.16	0.18	3.40	0.66	0.08	3.88	1042.21	35.42	1130.94	58.33	1305.53	50.65	79.83	1305.53	50.65
VRL 21-1 (C) 3	0.00	47.46	67.81	201.80	0.34	2.40	4.49	0.20	3.83	0.85	0.09	2.34	1198.09	45.92	1241.22	55.76	1316.88	30.86	90.98	1316.88	30.86
VRL 21-1 (C) 2	0.01	32.15	31.91	143.67	0.22	2.32	3.76	0.19	2.23	0.59	0.09	3.03	1117.71	24.90	1219.73	45.88	1405.00	42.59	79.55	1405.00	42.59
VRL 21-1 (G) 9	0.01	19.48	30.48	71.29	0.43	2.81	7.50	0.22	3.56	0.48	0.09	6.59	1297.10	46.20	1358.56	101.83	1456.62	96.06	89.05	1456.62	96.06
VRL 21-1 (D) 2	0.00	65.24	78.26	222.51	0.35	3.27	1.26	0.26	0.73	0.58	0.09	1.02	1468.97	10.78	1474.08	18.51	1481.44	15.09	99.16	1481.44	15.09

Fonte: A autora, 2021.

APENDICE D – Dados da amostra VRL-21-3

Isotope ratiosc																			Ages (Ma)			
		Pb	Th	U	207Pb/		1 s	206Pb/	1 s	207Pb/		1 s	206Pb/	1 s	207Pb/	1 s	206Pb/	1 s	%			
Spot number	f 206a	ppm	ppm	ppm	Th/Ub	235U	[%]	238U	[%]	Rhod	206Pbe	[%]	238U	abs	235U	abs	206Pb	abs	Concf	Mejor Edad	Error	
VRL21-3/01 F	0.07	2.74	3.02	28.29	0.11	1.02	11.84	0.11	6.28	0.53	0.06	10.03	695.71	43.68	712.76	84.36	766.85	76.94	90.72	695.71	43.68	
VRL21-3/02 O	0.00	116.25	79.85	821.74	0.10	1.40	8.24	0.15	8.14	0.99	0.07	1.27	875.66	71.29	889.34	73.27	923.51	11.69	94.82	875.66	71.29	
VRL21-3/01 K	0.00	50.59	20.42	310.92	0.07	1.53	2.49	0.16	2.23	0.90	0.07	1.10	930.36	20.76	944.48	23.50	977.56	10.75	95.17	930.36	20.76	
VRL21-3/05 N	0.00	106.24	71.98	744.28	0.10	1.57	17.36	0.16	17.03	0.98	0.07	3.39	933.41	158.93	956.56	166.07	1010.18	34.23	92.40	933.41	158.93	
VRL21-3/04 M	0.00	31.65	53.29	183.23	0.29	1.60	2.40	0.16	2.00	0.83	0.07	1.33	952.84	19.04	971.04	23.31	1012.45	13.48	94.11	952.84	19.04	
VRL21-3/08 G	0.00	25.51	30.24	145.77	0.21	1.61	2.12	0.16	1.30	0.61	0.07	1.68	965.43	12.52	973.37	20.68	991.34	16.69	97.39	965.43	12.52	
VRL21-3/09 K	0.00	115.55	67.92	744.95	0.09	1.63	10.55	0.16	8.80	0.83	0.07	5.82	967.12	85.08	983.30	103.73	1019.59	59.36	94.85	967.12	85.08	
VRL21-3/02 K	0.00	50.00	58.80	285.16	0.21	1.69	2.44	0.16	1.68	0.69	0.07	1.76	982.95	16.53	1004.88	24.50	1053.04	18.58	93.34	982.95	16.53	
VRL21-3/09 A	0.01	15.63	23.79	81.93	0.29	1.66	2.76	0.16	2.02	0.73	0.07	1.88	984.21	19.89	994.52	27.47	1017.33	19.17	96.75	984.21	19.89	
VRL21-3/07 D	0.02	7.05	15.68	32.72	0.48	1.85	4.82	0.19	3.57	0.74	0.07	3.23	1097.33	39.22	1063.28	51.24	994.05	32.14	110.39	994.05	32.14	
VRL21-3/06 D	0.01	5.88	10.23	28.51	0.36	1.84	4.57	0.18	2.51	0.55	0.07	3.82	1089.85	27.37	1059.17	48.38	996.50	38.02	109.37	996.50	38.02	
VRL21-3/08 B	0.00	17.45	34.43	91.03	0.38	1.67	2.93	0.17	1.93	0.66	0.07	2.21	996.82	19.20	998.59	29.26	1002.46	22.13	99.44	996.82	19.20	
VRL21-3/04 I	0.00	12.18	34.16	59.35	0.58	1.69	2.45	0.17	1.29	0.53	0.07	2.08	1007.56	12.97	1005.26	24.58	1000.25	20.79	100.73	1000.25	20.79	
VRL21-3/01 H	0.00	149.84	196.08	789.72	0.25	1.78	1.49	0.18	1.08	0.73	0.07	1.02	1051.95	11.40	1037.45	15.44	1007.00	10.26	104.46	1007.00	10.26	
VRL21-3/07 N	0.00	14.35	28.04	71.53	0.39	1.80	2.17	0.18	1.30	0.60	0.07	1.74	1059.47	13.77	1044.72	22.72	1013.99	17.68	104.49	1013.99	17.68	
VRL21-3/05 K	0.01	5.73	11.10	28.35	0.39	1.76	3.49	0.17	2.33	0.67	0.07	2.60	1036.62	24.16	1029.70	35.92	1015.05	26.35	102.12	1015.05	26.35	
VRL21-3/06 H	0.00	42.68	66.05	225.28	0.29	1.72	1.40	0.17	0.71	0.51	0.07	1.21	1016.62	7.24	1017.12	14.25	1018.18	12.28	99.85	1018.18	12.28	
VRL21-3/07 A	0.00	59.85	97.49	308.31	0.32	1.69	2.01	0.17	1.59	0.79	0.07	1.24	996.98	15.86	1003.75	20.22	1018.58	12.59	97.88	1018.58	12.59	
VRL21-3/02 L	0.00	51.72	90.12	283.43	0.32	1.86	7.71	0.18	7.48	0.97	0.07	1.87	1087.29	81.28	1065.31	82.10	1020.56	19.13	106.54	1020.56	19.13	
VRL21-3/07 M	0.00	60.27	104.67	328.22	0.32	1.69	1.88	0.17	1.43	0.76	0.07	1.22	998.72	14.31	1005.94	18.96	1021.69	12.51	97.75	1021.69	12.51	
VRL21-3/08 D	0.00	13.68	13.49	76.05	0.18	1.80	2.50	0.18	1.77	0.71	0.07	1.76	1055.54	18.71	1046.19	26.17	1026.72	18.12	102.81	1026.72	18.12	
VRL21-3/06 N	0.00	37.12	46.69	198.49	0.24	1.78	6.50	0.18	6.30	0.97	0.07	1.59	1044.15	65.76	1039.87	67.55	1030.90	16.42	101.29	1030.90	16.42	
VRL21-3/03 O	0.00	37.71	55.55	201.42	0.28	1.78	4.40	0.18	4.24	0.96	0.07	1.18	1041.51	44.17	1038.74	45.72	1032.93	12.15	100.83	1032.93	12.15	
VRL21-3/03 B	0.00	37.09	58.27	191.43	0.30	1.74	2.22	0.17	1.69	0.76	0.07	1.44	1017.30	17.23	1022.54	22.74	1033.79	14.89	98.41	1033.79	14.89	
VRL21-3/03 L	0.00	64.92	138.42	333.51	0.42	1.77	1.74	0.17	1.47	0.84	0.07	0.93	1035.46	15.19	1035.69	18.00	1036.18	9.66	99.93	1036.18	9.66	
VRL21-3/02 M	0.00	45.84	77.22	264.55	0.29	1.93	4.36	0.19	2.49	0.57	0.07	3.58	1115.08	27.81	1092.24	47.65	1046.99	37.48	106.50	1046.99	37.48	
VRL21-3/09 F	0.00	43.50	86.08	214.64	0.40	1.86	2.27	0.18	1.89	0.83	0.07	1.25	1075.46	20.34	1067.21	24.20	1050.37	13.14	102.39	1050.37	13.14	
VRL21-3/05 B	0.00	29.49	53.15	151.39	0.35	1.77	2.24	0.17	1.51	0.68	0.07	1.65	1024.44	15.51	1035.50	23.20	1058.94	17.49	96.74	1058.94	17.49	
VRL21-3/09 H	0.00	20.28	56.74	103.79	0.55	1.69	2.43	0.16	1.51	0.62	0.08	1.90	974.82	14.76	1004.08	24.36	1068.51	20.25	91.23	1068.51	20.25	
VRL21-3/09 O	0.01	8.28	16.50	41.95	0.39	1.78	6.46	0.17	1.80	0.28	0.08	6.20	1019.77	18.37	1038.02	67.02	1076.65	66.76	94.72	1076.65	66.76	
VRL21-3/04 O	0.01	20.11	32.72	107.20	0.31	1.77	2.00	0.17	1.29	0.65	0.08	1.53	1012.99	13.05	1035.07	20.67	1082.02	16.51	93.62	1082.02	16.51	
VRL21-3/01 G	0.02	5.80	16.36	26.84	0.61	2.08	6.20	0.20	4.26	0.69	0.08	4.51	1172.04	49.95	1142.62	70.88	1087.16	49.01	107.81	1087.16	49.01	
VRL21-3/02 C	0.00	81.37	53.13	443.88	0.12	1.78	2.87	0.17	1.80	0.63	0.08	2.24	1009.69	18.14	1036.47	29.77	1093.41	24.50	92.34	1093.41	24.50	
VRL21-3/07 F	0.00	58.90	49.40	305.10	0.16	1.91	1.87	0.18	1.38	0.74	0.08	1.26	1080.01	14.92	1084.97	20.31	1094.93	13.83	98.64	1094.93	13.83	
VRL21-3/06 C	0.00	18.93	23.63	92.11	0.26	1.95	2.49	0.19	1.74	0.70	0.08	1.79	1096.44	19.05	1098.77	27.39	1103.38	19.72	99.37	1103.38	19.72	
VRL21-3/05 L	0.01	108.38	232.94	622.97	0.37	1.82	14.62	0.17	12.35	0.84	0.08	7.83	1026.10	126.71	1052.35	153.86	1107.24	86.68	92.67	1107.24	86.68	
VRL21-3/08 M	0.01	29.00	33.49	162.96	0.21	1.95	6.50	0.19	5.72	0.88	0.08	3.09	1095.05	62.65	1099.89	71.51	1109.48	34.26	98.70	1109.48	34.26	
VRL21-3/04 C	0.00	103.68	104.58	582.17	0.18	1.90	7.72	0.18	7.61	0.99	0.08	1.32	1065.77	81.10	1080.70	83.47	1110.93	14.68	95.93	1110.93	14.68	
VRL21-3/01 M	0.01	17.59	33.24	84.48	0.39	1.95	2.52	0.18	1.51	0.60	0.08	2.02	1093.23	16.48	1099.27	27.67	1111.26	22.41	98.38	1111.26	22.41	
VRL21-3/09 I	0.00	51.00	30.84	277.01	0.11	1.81	3.65	0.17	3.13	0.86	0.08	1.89	1018.15	31.85	1049.04	38.34	1113.95	21.04	91.40	1113.95	21.04	

VRL21-3/02 I	0.00	67.56	118.28	324.20	0.36	1.95	1.91	0.18	1.13	0.59	0.08	1.54	1087.97	12.31	1097.64	20.96	1116.88	17.18	97.41	1116.88	17.18
VRL21-3/03 I	0.00	87.60	62.36	484.27	0.13	2.00	1.44	0.19	0.62	0.43	0.08	1.30	1113.51	6.89	1116.00	16.04	1120.84	14.54	99.35	1120.84	14.54
VRL21-3/08 K	0.00	50.27	17.31	264.22	0.07	2.13	5.66	0.20	5.07	0.90	0.08	2.51	1178.60	59.79	1160.09	65.65	1125.67	28.24	104.70	1125.67	28.24
VRL21-3/04 K	0.00	63.57	113.94	345.11	0.33	2.00	2.21	0.19	1.70	0.77	0.08	1.40	1103.83	18.79	1114.47	24.59	1135.28	15.93	97.23	1135.28	15.93
VRL21-3/06 B	0.00	55.65	125.98	254.69	0.49	2.02	7.63	0.19	7.35	0.96	0.08	2.06	1113.85	81.83	1121.17	85.54	1135.37	23.38	98.11	1135.37	23.38
VRL21-3/02 H	0.00	171.47	130.20	823.83	0.16	2.16	1.43	0.20	0.87	0.61	0.08	1.13	1181.34	10.22	1168.90	16.66	1145.93	12.98	103.09	1145.93	12.98
VRL21-3/06 I	0.00	124.62	50.29	649.44	0.08	1.91	1.68	0.18	1.26	0.75	0.08	1.10	1053.80	13.30	1084.33	18.17	1146.18	12.63	91.94	1146.18	12.63
VRL21-3/02 B	0.00	85.53	125.02	399.52	0.31	2.06	1.95	0.19	1.55	0.79	0.08	1.18	1126.64	17.43	1136.25	22.14	1154.65	13.67	97.57	1154.65	13.67
VRL21-3/08 A	0.00	49.87	64.08	231.85	0.28	2.03	2.08	0.19	1.59	0.77	0.08	1.34	1106.79	17.64	1124.09	23.39	1157.67	15.49	95.60	1157.67	15.49
VRL21-3/07 I	0.00	49.08	37.95	254.56	0.15	1.95	2.85	0.18	1.73	0.61	0.08	2.26	1070.04	18.50	1099.49	31.33	1158.27	26.23	92.38	1158.27	26.23
VRL21-3/03 A	0.00	62.04	108.32	268.65	0.40	2.18	1.91	0.20	1.44	0.76	0.08	1.25	1182.83	17.06	1174.58	22.41	1159.41	14.49	102.02	1159.41	14.49
VRL21-3/07 K	0.00	65.64	54.68	346.18	0.16	2.20	14.60	0.20	12.94	0.89	0.08	6.76	1192.20	154.31	1180.90	172.43	1160.26	78.41	102.75	1160.26	78.41
VRL21-3/08 H	0.00	111.09	195.68	490.53	0.40	2.16	1.14	0.20	0.55	0.48	0.08	1.00	1172.71	6.45	1169.40	13.36	1163.28	11.65	100.81	1163.28	11.65
VRL21-3/04 N	0.00	77.98	251.05	363.51	0.69	1.99	1.29	0.18	0.89	0.69	0.08	0.93	1081.10	9.67	1110.44	14.33	1168.35	10.87	92.53	1168.35	10.87
VRL21-3/01 N	0.00	32.41	42.22	139.35	0.30	2.29	1.75	0.21	1.25	0.72	0.08	1.22	1233.05	15.45	1210.49	21.15	1170.46	14.25	105.35	1170.46	14.25
VRL21-3/03 G	0.00	25.13	54.65	111.88	0.49	2.08	2.20	0.19	1.06	0.48	0.08	1.93	1124.86	11.94	1140.70	25.12	1170.96	22.60	96.06	1170.96	22.60
VRL21-3/03 D	0.01	12.16	14.68	56.54	0.26	2.12	3.99	0.20	2.76	0.69	0.08	2.88	1148.62	31.70	1156.74	46.18	1171.98	33.80	98.01	1171.98	33.80
VRL21-3/02 D	0.00	53.50	97.98	214.34	0.46	2.33	1.98	0.21	1.55	0.78	0.08	1.23	1249.32	19.40	1222.43	24.19	1175.27	14.41	106.30	1175.27	14.41
VRL21-3/04 A	0.00	45.74	58.28	200.63	0.29	2.20	1.74	0.20	1.27	0.73	0.08	1.19	1178.25	15.00	1179.89	20.56	1182.88	14.07	99.61	1182.88	14.07
VRL21-3/07 O	0.00	47.97	151.38	198.61	0.76	2.19	2.30	0.20	1.98	0.86	0.08	1.17	1167.86	23.12	1177.26	27.05	1194.57	13.94	97.76	1194.57	13.94
VRL21-3/05 C	0.00	31.30	25.16	141.66	0.18	2.21	1.99	0.20	1.40	0.71	0.08	1.41	1176.59	16.50	1185.17	23.56	1200.87	16.93	97.98	1200.87	16.93
VRL21-3/03 C	0.00	100.83	60.29	438.76	0.14	2.34	1.64	0.21	1.26	0.77	0.08	1.05	1235.97	15.61	1224.76	20.13	1205.07	12.68	102.56	1205.07	12.68
VRL21-3/05 G	0.00	44.29	32.25	210.74	0.15	2.23	2.30	0.20	1.77	0.77	0.08	1.47	1182.10	20.89	1190.40	27.34	1205.52	17.69	98.06	1205.52	17.69
VRL21-3/01 B	0.00	52.76	48.54	234.67	0.21	2.24	2.24	0.20	1.89	0.84	0.08	1.20	1185.83	22.42	1193.09	26.72	1206.25	14.49	98.31	1206.25	14.49
VRL21-3/01 D	0.00	154.48	161.42	642.19	0.25	2.43	1.78	0.22	1.52	0.86	0.08	0.92	1277.90	19.43	1252.06	22.26	1207.91	11.14	105.79	1207.91	11.14
VRL21-3/09 G	0.00	100.82	59.72	514.62	0.12	2.18	3.31	0.20	2.87	0.87	0.08	1.64	1155.38	33.13	1174.60	38.83	1210.21	19.90	95.47	1210.21	19.90
VRL21-3/01 A	0.00	59.47	142.34	234.30	0.61	2.23	1.99	0.20	1.59	0.80	0.08	1.20	1174.51	18.67	1189.47	23.69	1216.76	14.60	96.53	1216.76	14.60
VRL21-3/08 I	0.00	34.01	39.26	159.57	0.25	2.15	10.50	0.19	10.03	0.96	0.08	3.10	1138.01	114.09	1165.53	122.32	1217.03	37.77	93.51	1217.03	37.77
VRL21-3/02 A	0.00	97.24	151.74	407.91	0.37	2.23	2.38	0.20	2.12	0.89	0.08	1.08	1174.12	24.94	1191.20	28.39	1222.35	13.22	96.05	1222.35	13.22
VRL21-3/05 O	0.00	119.50	147.09	524.55	0.28	2.32	2.26	0.21	2.10	0.93	0.08	0.85	1216.60	25.53	1218.85	27.58	1222.82	10.34	99.49	1222.82	10.34
VRL21-3/04 D	0.01	18.46	23.38	77.53	0.30	2.35	3.71	0.21	3.29	0.89	0.08	1.73	1229.41	40.43	1227.21	45.59	1223.35	21.13	100.50	1223.35	21.13
VRL21-3/08 O	0.00	30.89	43.72	127.93	0.34	2.36	1.61	0.21	1.26	0.78	0.08	1.01	1236.37	15.53	1231.90	19.85	1224.08	12.35	101.00	1224.08	12.35
VRL21-3/03 H	0.00	79.63	131.54	348.03	0.38	2.37	2.43	0.21	2.20	0.90	0.08	1.04	1238.70	27.22	1233.59	29.97	1224.68	12.70	101.15	1224.68	12.70
VRL21-3/08 N	0.00	31.06	42.91	128.22	0.33	2.38	1.61	0.21	1.25	0.78	0.08	1.01	1243.35	15.50	1236.65	19.86	1225.00	12.40	101.50	1225.00	12.40
VRL21-3/07 C	0.00	59.24	122.60	222.71	0.55	2.43	1.86	0.22	1.52	0.82	0.08	1.07	1267.21	19.23	1252.25	23.27	1226.62	13.16	103.31	1226.62	13.16
VRL21-3/09 L	0.00	55.63	100.95	257.79	0.39	2.29	2.10	0.20	1.83	0.87	0.08	1.04	1197.32	21.89	1208.14	25.42	1227.52	12.79	97.54	1227.52	12.79
VRL21-3/06 L	0.00	26.37	24.62	117.62	0.21	2.48	6.50	0.22	6.08	0.94	0.08	2.30	1285.51	78.14	1264.97	82.22	1230.23	28.31	104.49	1230.23	28.31
VRL21-3/03 N	0.02	63.17	316.01	266.80	1.18	2.16	5.14	0.19	1.33	0.26	0.08	4.97	1132.87	15.09	1167.58	60.04	1232.55	61.22	91.91	1232.55	61.22
VRL21-3/08 C	0.00	53.36	50.93	232.17	0.22	2.34	1.85	0.21	1.43	0.77	0.08	1.18	1219.22	17.43	1224.72	22.72	1234.41	14.58	98.77	1234.41	14.58
VRL21-3/09 M	0.00	65.82	88.48	274.07	0.32	2.31	2.46	0.21	2.16	0.88	0.08	1.18	1204.83	26.03	1216.29	29.91	1236.68	14.54	97.43	1236.68	14.54
VRL21-3/04 L	0.00	59.83	78.76	287.07	0.27	2.22	1.28	0.20	0.91	0.71	0.08	0.90	1159.76	10.52	1188.40	15.21	1240.88	11.20	93.46	1240.88	11.20
VRL21-3/09 N	0.00	37.85	46.71	152.87	0.31	2.60	2.11	0.23	1.45	0.69	0.08	1.53	1331.02	19.24	1301.20	27.41	1252.36	19.19	106.28	1252.36	19.19
VRL21-3/01 C	0.00	39.82	56.29	168.32	0.33	2.33	3.09	0.20	1.86	0.60	0.08	2.47	1197.35	22.21	1222.54	37.74	1267.28	31.27	94.48	1267.28	31.27
VRL21-3/08 L	0.00	73.20	42.86	340.68	0.13	2.34	2.22	0.20	1.61	0.72	0.08	1.53	1200.06	19.33	1225.41	27.24	1270.31	19.46	94.47	1270.31	19.46
VRL21-3/03 F	0.00	99.45	118.63	450.62	0.26	2.23	26.79	0.19	26.35	0.98	0.08	4.83	1146.75	302.23	1190.43	318.96	1270.65	61.38	90.25	1270.65	61.38
VRL21-3/02 N	0.01	92.91	116.06	441.04	0.26	2.28	2.14	0.20	1.40	0.66	0.08	1.62	1169.47	16.42	1205.64	25.84	1271.02	20.59	92.01	1271.02	20.59
VRL21-3/07 H	0.00	50.51	82.04	213.99	0.38	2.49	3.87	0.22	2.98	0.77	0.08	2.47	1266.13	37.67	1268.09	49.04	1271.40	31.40	99.59	1271.40	31.40
VRL21-3/05 A	0.00	51.06	80.28	205.86	0.39	2.41	2.24	0.21	1.30	0.58	0.08	1.82	1229.21	16.02	1245.03	27.89	1272.51	23.18	96.60	1272.51	23.18

VRL21-3/08 F	0.00	98.89	90.29	419.43	0.22	2.56	1.90	0.22	1.55	0.81	0.08	1.10	1296.38	20.04	1288.11	24.46	1274.35	14.05	101.73	1274.35	14.05
VRL21-3/06 M	0.00	128.34	279.29	566.25	0.49	2.23	6.08	0.19	2.06	0.34	0.08	5.73	1143.18	23.52	1190.00	72.40	1276.09	73.07	89.58	1276.09	73.07
VRL21-3/05 I	0.01	35.29	45.09	150.94	0.30	2.54	2.63	0.22	1.30	0.50	0.08	2.28	1275.57	16.61	1283.92	33.74	1297.92	29.63	98.28	1297.92	29.63
VRL21-3/01 I	0.00	118.44	222.27	466.24	0.48	2.45	2.07	0.21	1.25	0.60	0.08	1.65	1223.71	15.30	1256.02	25.99	1311.83	21.64	93.28	1311.83	21.64
VRL21-3/05 H	0.00	54.87	56.77	227.66	0.25	2.44	1.79	0.21	1.26	0.71	0.08	1.27	1222.37	15.45	1255.23	22.48	1312.02	16.65	93.17	1312.02	16.65
VRL21-3/07 B	0.00	123.86	188.55	462.65	0.41	2.65	1.62	0.22	1.30	0.80	0.09	0.97	1307.39	16.98	1315.99	21.30	1330.03	12.84	98.30	1330.03	12.84
VRL21-3/06 G	0.00	25.29	44.29	100.20	0.44	2.88	4.12	0.24	1.09	0.26	0.09	3.98	1398.76	15.26	1377.74	56.82	1345.31	53.50	103.97	1345.31	53.50
VRL21-3/06 F	0.02	18.84	40.31	75.94	0.53	2.50	5.45	0.21	1.45	0.27	0.09	5.25	1223.66	17.79	1271.70	69.28	1353.87	71.09	90.38	1353.87	71.09
VRL21-3/04 H	0.02	32.10	46.47	176.86	0.26	2.61	22.55	0.22	11.97	0.53	0.09	19.11	1263.60	151.26	1304.37	294.13	1372.05	262.20	92.10	1372.05	262.20
VRL21-3/09 B	0.01	41.82	51.59	164.66	0.31	2.77	3.00	0.22	1.26	0.42	0.09	2.72	1305.83	16.44	1346.39	40.39	1411.43	38.43	92.52	1411.43	38.43
VRL21-3/05 F	0.00	131.66	146.90	502.35	0.29	2.87	2.13	0.23	1.84	0.86	0.09	1.07	1341.33	24.68	1374.25	29.26	1425.80	15.27	94.08	1425.80	15.27
VRL21-3/02 G	0.00	54.55	118.99	182.49	0.65	2.97	2.66	0.23	2.16	0.81	0.09	1.56	1349.14	29.15	1400.61	37.29	1479.85	23.02	91.17	1479.85	23.02
VRL21-3/01 O	0.00	86.45	49.57	374.95	0.13	3.24	12.71	0.25	12.66	1.00	0.09	1.09	1427.58	180.75	1467.98	186.56	1526.90	16.69	93.49	1526.90	16.69
VRL21-3/04 F	0.00	110.61	123.02	413.80	0.30	3.44	2.87	0.26	2.18	0.76	0.10	1.86	1479.13	32.22	1513.34	43.39	1561.54	29.12	94.72	1561.54	29.12
VRL21-3/07 G	0.00	57.70	82.20	196.85	0.42	3.38	2.49	0.25	2.09	0.84	0.10	1.35	1455.67	30.42	1500.52	37.30	1564.43	21.06	93.05	1564.43	21.06
VRL21-3/06 K	0.00	71.50	19.62	275.10	0.07	3.83	11.66	0.29	8.42	0.72	0.10	8.07	1618.74	136.22	1598.81	186.42	1572.65	126.92	102.93	1572.65	126.92
VRL21-3/05 M	0.03	62.93	119.17	266.64	0.45	3.91	18.88	0.28	2.36	0.12	0.10	18.73	1600.72	37.76	1615.15	304.89	1634.02	306.04	97.96	1634.02	306.04
VRL21-3/09 D	0.00	27.89	15.11	87.17	0.17	4.13	6.15	0.29	5.88	0.96	0.10	1.80	1647.97	96.95	1661.04	102.20	1677.59	30.24	98.23	1677.59	30.24
VRL21-3/05 D	0.00	83.64	91.66	244.54	0.37	4.29	3.66	0.30	3.38	0.92	0.10	1.42	1703.28	57.49	1692.14	61.98	1678.37	23.88	101.48	1678.37	23.88
VRL21-3/09 C	0.00	134.26	114.16	406.59	0.28	3.86	4.07	0.27	3.93	0.97	0.10	1.04	1547.20	60.85	1605.82	65.31	1683.59	17.47	91.90	1683.59	17.47
VRL21-3/01 L	0.00	106.33	195.25	310.22	0.63	5.21	4.29	0.33	3.65	0.85	0.11	2.25	1852.12	67.67	1853.72	79.52	1855.52	41.69	99.82	1855.52	41.69

Fonte: A autora, 2021.