



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

QUARTZITO MOEDA E SUA RELAÇÃO COM O ENSAIO DE FLEXÃO

Og Jacy Caboçu Pires

Ouro Preto, agosto de 2017

**QUARTZITO MOEDA E SUA RELAÇÃO COM O ENSAIO DE
FLEXÃO**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas

MONOGRAFIA

Nº 248

QUARTZITO MOEDA E SUA RELAÇÃO COM O ENSAIO DE FLEXÃO

Og Jacy Caboçu Pires

Orientador

Prof. Dr. Leonardo Martins Graça

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2017/1.

OURO PRETO

2017

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Og Jacy Caboçu Pires

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

P667c Pires, Og.
Quartzito Moeda e sua relação com o ensaio de flexão [manuscrito] / Og
Pires. - 2017.
xvi, 35f.: il.: color; grafs; tabs; mapas; Quadro .
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Martins Graça.
Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas. Departamento de Geologia.
1. Mineralogia. 2. Formação Moeda. 3. Quadrilátero Ferrífero (MG). I.
Graça, Leonardo Martins. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.
CDU: 552.45(815.1)

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Quartzito Moeda e sua Relação com o Ensaio de Flexão.

AUTOR: OG JACY CABOACU PIRES

ORIENTADOR: Prof. Dr. Leonardo Martins Graça

Aprovado em: 16 de agosto de 2017

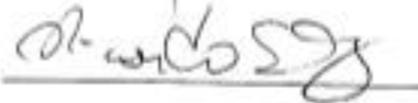
BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Leonardo Martins Graça



DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano



DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Gilberto Henrique Tavares Álvares da Silva



DEMET/UFOP

Ouro Preto, 16/08/2017

Agradecimentos

Obrigado aos meus pais por possibilitar a evolução nos meus estudos, a toda minha família e a Deus. Agradeço a grandiosa Escola de Minas, ao Departamento de Geologia e a todos que fizeram parte desta longa jornada. Agradeço ao meu orientador Leonardo Martins Graça (Bakana) pelas recomendações e puxões de orelha. Concluindo, agradeço a grandiosa República Aquarius, pelos amigos e incontáveis momentos bons que tive o prazer de vivenciar durante todos esses anos.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE QUADROS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XIV
RESUMO	XVI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.4 JUSTIFICATIVA	2
2 LOCAIS DE OCORRÊNCIA E CARACTERÍSTICAS	4
2.1 BRASIL	4
2.2 ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	5
2.3 ÍNDIA	6
3 GÊNESE	8
4 MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1 AMOSTRAS	10
4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	11
4.3 MICROSCÓPIO ÓPTICO	11
4.4 ENSAIO DE REISTÊNCIA À FLEXÃO	12
5 CONTEXTO GEOLÓGICO	14
5.1 QUADRILÁTERO FERRÍFERO	14
6 RESULTADOS DE DISCUSSÕES	17
6.1 CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA DO QUARTZITO FLEXÍVEL	17
6.2 CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA DO QUARTZITO RÍGIDO	20
6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO PARA O QUARTZITO FLEXÍVEL	25
6.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO PARA O QUARTZITO RÍGIDO	27
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do afloramento onde foram coletadas as amostras.....	2
Figura 2 - Quartzitos flexíveis no estado de Minas Gerais, Brasil.....	4
Figura 3 - Quartzitos flexíveis nos Estados Unidos da América.....	5
Figura 4 - Quartzitos flexíveis na Índia.....	6
Figura 5 - Desenho com a ilustração das seções ZY e ZX das amostras de quartzito	10
Figura 6 - Ensaio de flexão por carregamento em três pontos	12
Figura 7 - Ilustração do corpo-de-prova com a identificação dos componentes utilizados na equação (1) para o cálculo da resistência a tração na flexão	13
Figura 8 - Mapa do quadrilátero Ferrífero	15
Figura 9 - Seções ZY e ZX do quartzito flexível com a identificação das fases minerais essenciais. Quartzo (Qz), muscovita (Ms) e cianita (Ky).....	18
Figura 10 - Seção ZY do quartzito flexível com a identificação dos minerais acessórios. Mineral opaco (Opq), rutilo (Rt)	18
Figura 11 - Características gerais do quartzito flexível.....	19
Figura 12 - Rosetas de densidade das linhas de contato linear entre os grãos de quartzo no quartzito flexível.....	20
Figura 13 - Seções ZY e ZX do quartzito rígido com a identificação das fases minerais essenciais. Quartzo (Qz), muscovita (Ms) e cianita (Ky).....	21
Figura 14 - Seção ZY do quartzito flexível com a identificação dos minerais acessórios. Mineral opaco (Opq), rutilo (Rt)	22
Figura 15 - Características gerais do quartzito rígido	22
Figura 16 - Rosetas de densidade das linhas de contato linear entre os grãos de quartzo no quartzito rígido.....	23
Figura 17 - Figura com a ilustração dos contornos dos grãos de quartzo e uma sugestão para a morfologia dos grãos nas duas porções, flexível e rígida	24
Figura 18 - Histograma com a comparação do tamanho dos grãos de quartzo nas porções flexível e rígida do quartzito Moeda.....	25
Figura 19 - Gráfico de dispersão de pontos dos quartzitos flexíveis cortados com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral	26
Figura 20 - Gráfico de dispersão de pontos dos quartzitos flexíveis cortados com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral.....	27
Figura 21 - Gráfico de dispersão de pontos dos quartzitos rígidos cortados com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral	28
Figura 22 - Gráfico de dispersão de pontos dos quartzitos rígidos cortados com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral.....	29

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Ocorrência de quartzitos flexíveis ao redor do mundo	7
--	---

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual de quartzo e muscovita obtidos a partir de EBSD no quartzito flexível.....	17
Tabela 2 - Percentual de quartzo e muscovita obtidos a partir de EBSD no quartzito rígido	20
Tabela 3 - Resultados do ensaio de flexão dos quartzitos flexíveis cortados com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral	25
Tabela 4 - Resultados do ensaio de flexão dos quartzitos flexíveis cortados com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral.....	26
Tabela 5 - Resultados do ensaio de flexão dos quartzitos rígidos cortados com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral	27
Tabela 6 - Resultados do ensaio de flexão dos quartzitos rígidos cortados com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral.....	28

Resumo

O presente trabalho investigou as diferenças entre as porções flexível e rígida do quartzito da Formação Moeda, inserido no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero. Foi caracterizada a mineralogia, os contornos lineares dos grãos de quartzo e a resistência a flexão. Para aquisição de dados composicionais e dos contatos lineares entre os grãos de quartzo, foram elaborados mosaicos a partir de imagens obtidas ao microscópio óptico nas seções ZY e ZX. Para a caracterização do comportamento flexível da rocha foi aplicado o ensaio de flexão por carregamento em três pontos. Na literatura, a flexibilidade desta rocha foi atribuída a uma resposta à dissolução química nas bordas dos grãos de quartzo. Além do mais, particularidades inerentes a este tipo de rocha são relacionadas à orientações preferenciais das fases minerais bem como as demais características ligadas a morfologia dos grãos. Com intuito de investigar as propriedades que induzem a flexão nos quartzitos de Ouro Preto, foram caracterizadas amostras orientadas para as porções flexível e rígida. Foi usado um microscópio óptico e uma prensa hidráulica na coleta de dados sobre a flexibilidade das amostras. As informações adquiridas por meio da microscopia óptica mostraram a ocorrência de espaços entre os limites dos grãos de quartzo e aumento da quantidade de grãos mais finos em discordância com a composição modal na porção flexível. Além disso, foi observado também a orientação dos contatos lineares para as duas porções, flexível e rígida. Os ensaios de flexão constataram que a amostra flexível resiste até a ruptura, um tempo muito superior em comparação a amostra rígida sob condições de operação do teste iguais.

Palavras chave: mineralogia, ensaio de flexão, Formação Moeda, Quadrilátero Ferrífero.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Os quartzitos flexíveis tratam-se de rochas que exibem certo grau de flexibilidade e foram primeiramente descritas no século dezanove por Eschwege (1822). Originalmente encontrados próximo a cidade de Ouro Preto, em Minas Gerais, os quartzitos flexíveis constantemente tornam-se alvo de estudos que buscam uma explicação satisfatória quanto à sua origem. No Brasil, Estados Unidos e Índia, os quartzitos têm sido encontrados em porções junto a pedreiras com a finalidade de extrair quartzitos não flexíveis para utilização na construção civil (Suzuki & Shimizu 1993, Kerbey 2011).

As amostras utilizadas no presente estudo foram coletadas em uma pedreira localizada no Quadrilátero Ferrífero e pertencem a Formação Moeda, Supergrupo Minas. Em Ouro Preto, os quartzitos flexíveis ocorrem adjacentes à quartzitos não flexíveis e possuem mineralogia fundamentalmente composta por quartzo, muscovita e cianita, podendo ocorrer opacos e rutilo. Ainda não há uma justificativa permanente quanto a origem da flexibilidade apresentada nessa rocha. Além disso, comparar algumas propriedades entre as porções flexível e rígida. Para tal, caracterizou-se a mineralogia, a morfologia dos grãos de quartzo bem como os contatos lineares entre os grãos de quartzo. Para determinar a resistência a flexão foram aplicados ensaios de flexão por carregamento em três pontos.

1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

As amostras de quartzito foram coletadas na região do bairro Taquaral, Ouro Preto. O acesso é feito pela Rua Conselheiro Quintilhiano Maciel, que liga Ouro Preto a Mariana. Vira-se a esquerda na Rua Presidente João Goulart, irá passar pela Capela Senhor Bom Jesus das Flores no bairro Taquaral e seguirá sentido as coordenadas UTM 0660859/7745870, ilustrada como sendo o Ponto “Quartzito Flexível/Rígido” na Figura 1.

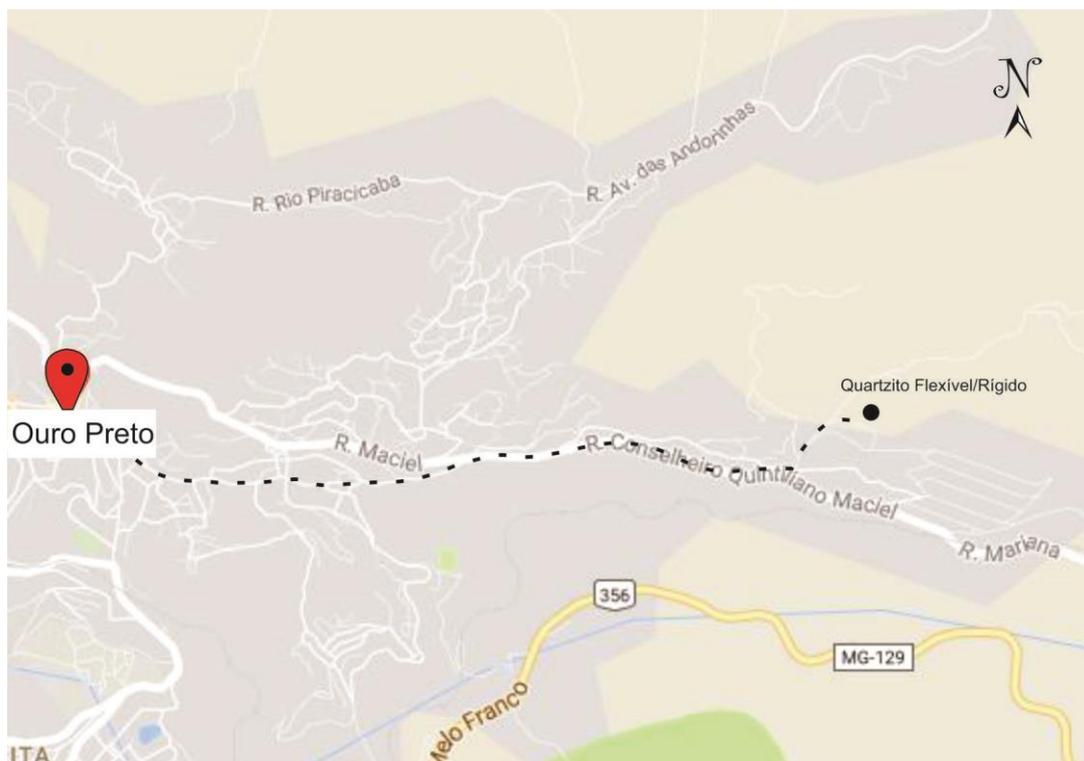


Figura 1 - Localização do afloramento onde foram coletadas as amostras próximo a cidade de Ouro Preto, Minas Gerais.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal comparar as características dos grãos de quartzo nas porções flexível e rígida do quartzito da Formação Moeda no Quadrilátero Ferrífero. Para isso, foram investigadas duas seções perpendiculares a foliação: uma paralela e outra perpendicular ao lineamento mineral.

Ensaio de flexão aplicados em amostras de quartzito flexível e rígido também foram realizados em amostras orientadas segundo o lineamento mineral, paralelo e perpendicular. Esses ensaios têm o objetivo de caracterizar a resistência de cada uma das porções, flexível e rígida, além de colaborar para a interpretação no que se refere as características dos grãos de quartzo.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os quartzitos flexíveis são rochas que apresentam uma flexibilidade natural. Devido a isso, constantemente são objetos de estudo em todo o mundo. Deseja-se, com este trabalho, contribuir com informações úteis que possam ser aplicadas em algumas áreas de estudo, a exemplo a construção civil. Sato *et al.* (2008), afim de reproduzir a flexibilidade apresentada nessas rochas, faz uma nova abordagem para a preparação de uma cerâmica flexível que imita as características microestruturais dos quartzitos flexíveis.

O trabalho realizado por Sato baseia-se na sintetização de dois tipos de cerâmicas com coeficientes de expansão térmicos distintos. Com este estudo, espera-se que os diferentes tipos de cerâmicas se contraíam de forma desigual, ocasionando em fissuração generalizada conforme Sato *et al.* (2008) afirma ter percebido nos quartzitos flexíveis.

CAPÍTULO 2

LOCAIS DE OCORRÊNCIA E CARACTERÍSTICAS

Quartzitos com propriedades flexíveis têm sido documentados em diferentes locais pelo mundo. Países como Brasil, Estados Unidos da América e Índia evidenciam maior número de ocorrências desses quartzitos flexíveis (Quadro 1). A seguir será feita uma síntese dos locais de ocorrência bem como de algumas características relacionadas a região de formação.

2.1 BRASIL

Ocorrências de quartzito flexível têm sido encontradas em diversas regiões ao sul do estado de Minas Gerais (Figura 2) (Eschwegue 1822, 1823, Wetherill 1867, Derby 1882, Derby 1884). Amostras de quartzito flexível, também conhecido como “itacolumite”, foram identificadas à nordeste de São Tomé das Letras, passando por São João Del Rei e dentro do “Parque Estadual do Itacolomi” ao sul de Ouro Preto. A princípio, Derby (1884) declarou que o nome “itacolumite” dado as rochas da região não seria inteiramente correto, pois apenas uma porção da serra compreende os quartzitos flexíveis. Siegesmund *et al.* (2002) esclarecem a incerteza pelo fato dos quartzitos do Grupo Itacolomi não possuírem propriedades flexíveis, e que os espécimes que contemplam essas características em Ouro Preto estão presentes na Formação Moeda do Grupo Caraça. Esses quartzitos foram associados a idade pré-cambriana, pertencentes ao Supergrupo Minas (Kerbey 2011).

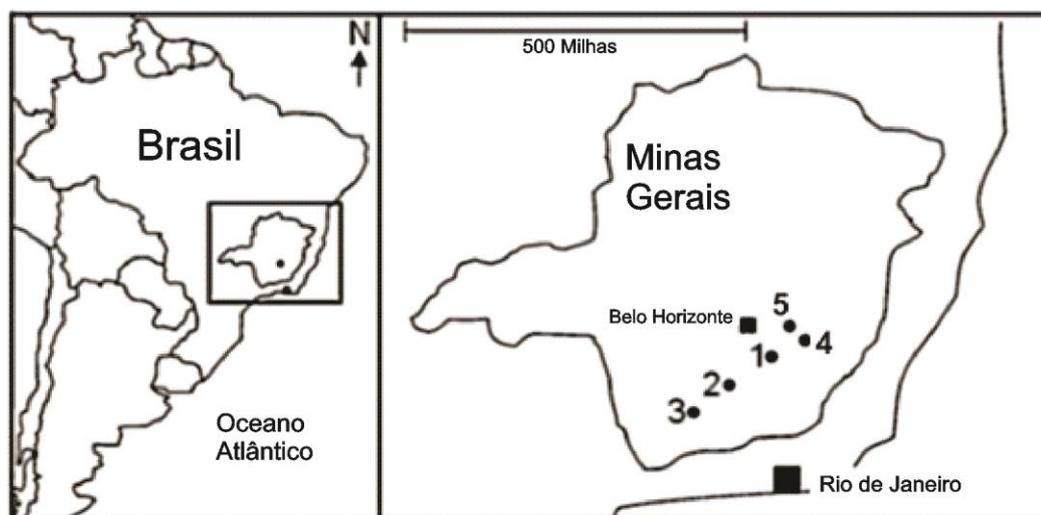


Figura 2 - Quartzitos flexíveis no estado de Minas Gerais, Brasil (modificado de Kerbey 2011).

2.2 ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

Quartzitos flexíveis foram registrados em várias regiões dos Estados Unidos (Figura 3). Além da Califórnia, espécimes flexíveis foram coletadas em unidades quartzozas que evidenciam-se ao longo do terreno de Piedmond no sopé dos Appalaches (Kerbey 2011).

Na Califórnia, Blake (1876) mostra o município de Mariposa como parte das regiões de ocorrência dos quartzitos flexíveis. Este estado mostra-se abundante em quartzitos, mas rochas que denotam propriedades flexíveis ainda não foram descritas nas demais localidades. Grant (1950) descreveu quartzitos flexíveis pertencentes ao quartzito Hollis, rochas do pré-cambriano ao Paleozóico, pertencentes ao Grupo Pine Mountain na região de Piedmond, que aparecem em múltiplas regiões do município de Meriwether, Geórgia. É provável que a Carolina do Norte seja a principal área de ocorrência dos quartzitos flexíveis nos Estados Unidos, tendo o município de Stokes como a principal região. As amostras do município de Stokes fazem parte dos quartzitos de Sauratown Mountain inseridos no Grupo Kings Mountains depositado à 540 Ma (Stewart e Roberson 2007). No município de Lee, foram registradas amostras de quartzitos flexíveis por Beste (2005), provavelmente tratam-se do quartzito Hollis.

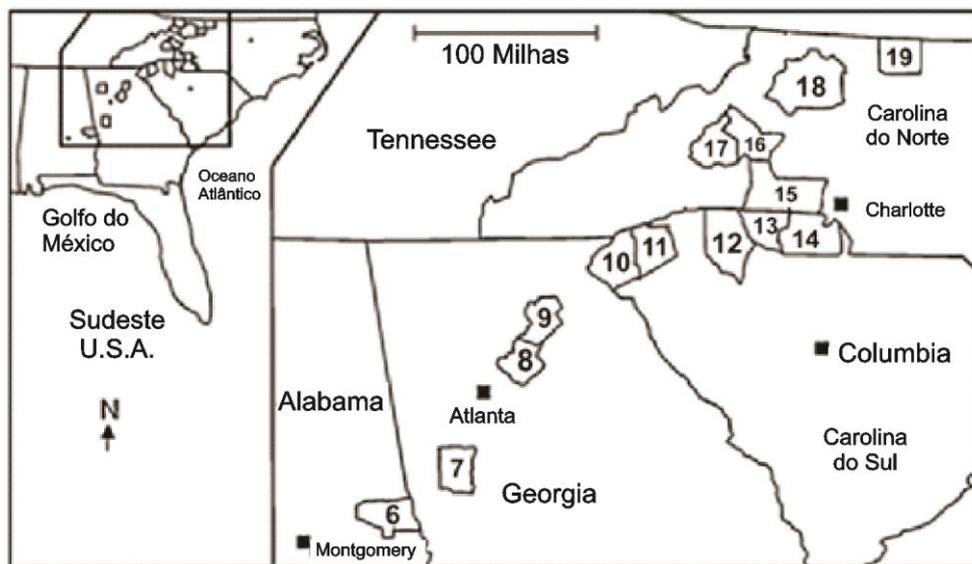


Figura 3 - Quartzitos flexíveis nos Estados Unidos da América (modificado de Kerbey 2011).

2.3 ÍNDIA

A maior parte dos quartzitos flexíveis encontrados na Índia situam-se próximos ao monte Kaliana, cinco milhas a oeste de Dadri no estado de Haryana (Figura 4) (Medlicott 1874, Oldham 1989). Segundo Wadia (1961) os quartzitos flexíveis encontrados pertencem a série Alwar do sistema Proterozóico de Delhi. Recentemente Suzuki e Shimizu (1993) descrevem espécimes de quartzitos flexíveis em um depósito de quartzitos não flexíveis em Kaliana Hill. Os quartzitos não flexíveis que ocorrem adjacentes aos flexíveis nesta região exibem estruturas sedimentares como ondulações cruzadas, laminações paralelas e apresentam-se com dimensões de 3 m de espessura e dezenas de metros de comprimento (Suzuki & Shimizu 1993).

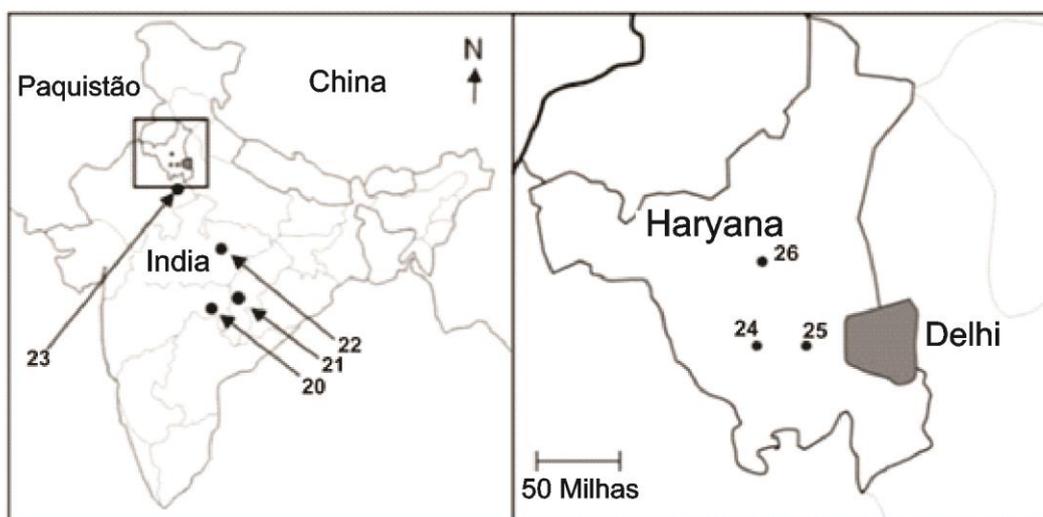


Figura 4 - Quartzitos flexíveis na Índia (modificado de Kerbey 2011).

Quadro 1 - Ocorrências de quartzitos flexíveis ao redor do mundo (modificado de Kerbey 2011). Localizado em Figuras 02,03 e 04.

	CHAVE	LOCALIDADE	REFERÊNCIA
BRASIL	01	Ouro Preto e Pico do Itacolomi	Klaproth (1801); Eschwege (1822); Suzuki e Shimizu (2003)
	02	São João Del Rei	Derby (1884)
	03	São Tomé das Letras	Derby (1884)
	04	Jumerin	Derby (1884;1898)
	05	João Monlevade	Heusser e Claraz (1861)
EUA (Estados Unidos da América)	06	Lee County	Beste (2005)
	07	Meriwether County: Manchester - Warm Springs district	Grant (1950)
	08	Gwinnett County: N E Dacula, SW Dacula	Grant (1950)
	09	Hall County	Grant (1950); Beste (2005)
	10	Oconee County: Oconee Mountain	Tuomey (1848)
	11	Pickens County	Tuomey (1848)
	12	Spartenburg County	Lieber (1858)
	13	Limestone Springs	Tuomey (1848)
	14	York County	Lieber (1858)
	15	Cleveland County and Gaston County	Stuckey (1958)
	16	Burke County	Stuckey (1958); Beste (2005)
	17	Mc Dowell County	Bannister <i>et al.</i> (1869)
	18	Wilkes County: Bending Rock Mountain	Beste (2005)
	19	Stokes County	Foushee (1954); Beste (2005); Hawkins (1951); Stuckey (1958); Wetherill (1867)
ÍNDIA	20	Penganga River, Chadrapur, Maharashtra	Fedden (1877); Oldham (1889)
	21	Rāj Nāndgaon, Chhattisgarh	Fedden (1877)
	22	Jabalpur, Madhya Pradesh	Balfour (1885)
	23	Alwar, Rajasthan	Balfour (1885)
	24	Kaliana, nr. Charkhi Dadri, Haryana	Hacket (1868); Fedden (1877); Suzuki e Shimizu (1993)
	25	Jhajjar	Traill (1870)
	26	Jind, Haryana	Balfour (1885)

CAPÍTULO 3

GÊNESE

Quartzitos com características flexíveis têm despertado o interesse de muitos cientistas ao redor do mundo, sendo comumente utilizados como base de estudos que buscam descobrir a origem de sua flexibilidade.

Wetherill (1867) associa a flexibilidade desses espécimes a numerosas articulações de pequenos grãos esféricos pertencentes a rocha. A partir de análises microscópicas, Wetherill concluiu que a presença das micas nesse tipo de rocha não contribui de forma efetiva para sua flexão. As partículas possibilitam a rocha movimentar preferencialmente em uma direção. Esta ação não é verificada em amostras com espessuras superiores à poucos centímetros. Wetherill percebeu que onde há pequenos fissuramentos, que pode ser entendido como pequenas fraturas na rocha, há maior movimento de flexão.

Como observado por Foushee (1954), as micas possuem predominância nas amostras de quartzito flexível da Carolina do Norte, USA. Em seu estudo ele percebeu que a estrutura rochosa é sustentada pelas micas, e estas possuem papel predominante na união do agregado. Foushee concluiu que havia, primeiramente, uma quantidade superior de micas e estas foram removidas por intemperismo, o que permitiu a sobreposição de grãos de quartzo uns sobre os outros intercalados a camadas de mica que sustentam a rocha.

Devries (1968) relaciona o carácter dúctil dos quartzitos flexíveis a irregularidades nos limites dos grãos de quartzo, resultando em um arranjo onde os grãos não estão intimamente ligados. Os espaços entre os grãos de quartzo comumente apresentam vazios e micas, ainda que frequentemente encontram-se também feldspato, argila ou carbonato. Uma interpretação para a flexibilidade desta rocha seria uma analogia de quebra-cabeça, onde os grãos possuem certo movimento entre os espaços. O quebra-cabeça, como o quartzito flexível, atinge um ponto final definido como rigidez súbita, sendo este o limite máximo de deformação da rocha.

Segundo Siegesmund *et al.* (2002) as características morfológicas dos grãos de quartzo possuem influência direta das micas. Propriedades migratórias dos limites entre os grãos são respostas a deformações sob temperaturas aproximadas de 500 °C. De forma direta, a flexibilidade da rocha está associada a uma rede de penetração entre as fronteiras dos grãos de quartzo que torna possível a rotação do corpo de grãos. De acordo com Siegesmund *et al.* (2002) pode também relacionar-se a uma dependência direcional de forma de grãos e o espaçamento dos poros entre as fronteiras entre grãos. Faixas ininterruptas de mica branca expressam indicadores de deformação indicativos de cisalhamento nos planos de clivagem de camada paralela. Conforme avaliações quantitativas, a anisotropia da flexão possivelmente é explicada pela rotação de grãos de quartzo separados entre faixas de mica que operam como superfícies de deslizamento de flexão.

Susuki & Shimizu (2003) perceberam, utilizando métodos analíticos, que a alteração do quartzito não flexível para o flexível ocorre concomitante a redução na quantidade de quartzo e muscovita, diminuição do tamanho do grão de quartzo e aumento da porosidade. A resposta as análises indica claramente a origem do quartzito flexível como sendo resultado da dissolução química do limite de grão de quartzo em quartzitos não flexíveis. As amostras de quartzito flexível usadas neste estudo possuem cianita em sua composição, mineral que ocorre a pressões elevadas, e foram coletadas a nordeste da cidade de Ouro Preto em Minas Gerais, Brasil.

Suzuki *et al.* (2011) descreveu quartzitos com propriedades flexíveis encontrados em localidades de Madagascar. As regiões de ocorrência desta formação pertencem ao Grupo Itremo, caracterizados como sendo do Mesoproterozóico. As amostras analisadas são compostas de grãos grosseiros adjacentes à grãos finos e médios. Os quartzitos flexíveis de Madagascar possuem extensa exposição, o que contribui para hipótese de que esta formação foi gerada como resultado de intemperismo químico.

...

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi decomposta em etapas, sendo: pesquisa bibliográfica, coleta e preparação das amostras, análise em laboratório, tratamento e interpretação dos dados e elaboração do texto final.

4.1 AMOSTRAS

As amostras investigadas referem-se ao quartzito da Formação Moeda e foram coletadas na região de Ouro Preto (ver Figura 1 em Localização e Vias de Acesso). Dois tipos de amostras foram investigadas: as com característica flexível e as com característica rígida. Ambas as amostras, flexível e rígida, foram analisadas ao microscópio óptico bem como submetidas ao ensaio de flexão.

As amostras para análise ao microscópio óptico foram coletadas orientadas segundo a foliação. Posteriormente, a orientação da rocha coletada no campo foi transferida para a seção delgada para efeito de interpretação.

As amostras para o ensaio de flexão foram cortadas orientadas segundo o lineamento mineral. Foram coletadas 24 amostras, sendo 12 com característica flexível e 12 com característica rígida. Cada grupo de doze amostras é representado por dois grupos de seis, sendo: seis paralelas ao lineamento mineral e seis perpendiculares ao lineamento mineral. A Figura 5 ilustra dois blocos diagrama com a orientação dos cortes feitos nas amostras.

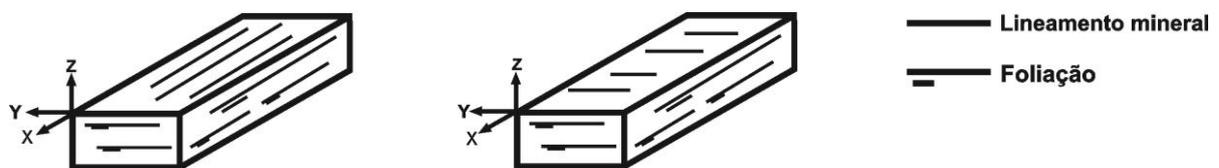


Figura 5 – Desenho com a ilustração das seções ZY e ZX das amostras de quartzito.

4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para análise ao microscópio óptico, foram feitas quatro seções delgadas polidas orientadas segundo a foliação, sendo: uma seção delgada no plano ZY e uma seção delgada no plano ZX no quartzito flexível, uma seção delgada no plano ZY e uma seção delgada no plano ZX no quartzito rígido. Para o ensaio de resistência à flexão as amostras devem atender as dimensões do equipamento. O estudo leva em consideração as direções do lineamento dos minerais constituintes da rocha. Para tal, foi feito o corte de vinte e quatro amostras que foram separadas em dois grupos de doze, sendo: doze flexíveis e doze rígidas. Cada grupo de doze amostras representa dois grupos orientados em função do lineamento mineral. Seis amostras com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral e seis amostras com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral. As amostras foram seccionadas no disco de corte do laboratório de laminação do Departamento de Gemologia da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO - UFOP).

4.3 MICROSCÓPIO ÓPTICO

Foi feita a caracterização das fases minerais e registradas as direções dos contatos lineares entre os grãos de quartzo, tendo obtido a composição, morfologia dos grãos de quartzo e a orientação preferencial dos minerais essenciais da rocha. A composição das fases minerais foi obtida por análise descritiva por meio de microscopia óptica. Com base na combinação de imagens, foi proposto a morfologia dos grãos de quartzo a partir das seções ZY e ZX. A combinação de imagens também foi utilizada na identificação dos contatos lineares entre os grãos de quartzo. Para identificação dos contatos lineares, foi utilizado uma área padrão de 400 mm x 400 mm, sendo registrado todos os contatos lineares identificados. Além disso, por meio da centralização de cada contato linear, em um ponto comum, foi gerada uma roseta de densidade para cada seção, ZY e ZX, para as duas porções, flexível e rígida.

Para a realização do presente estudo, foi utilizado o modelo de microscópio *Leica DMLP*, lâmpadas halógenas 12V 100W. Para captura de imagens, usou-se uma câmera acoplada *Zeiss AxioCam MRc5*, controlada pelo programa de aquisição de imagens *ZEN lite 2012*. O tratamento e interpretação das imagens foi feito manualmente por meio do software *Corew Draw X8*.

4.4 ENSAIO DE REISTÊNCIA À FLEXÃO

A elasticidade de um material expressa a sua resistência à ruptura quando sujeito a compressão e tração. A ruptura do corpo-de-prova (CP) é caracterizada pelo momento no qual a força de compressão e tração atinge seu valor máximo. A Figura 6 ilustra a sequência de realização e as forças no qual o CP é exposto durante o ensaio de flexão.

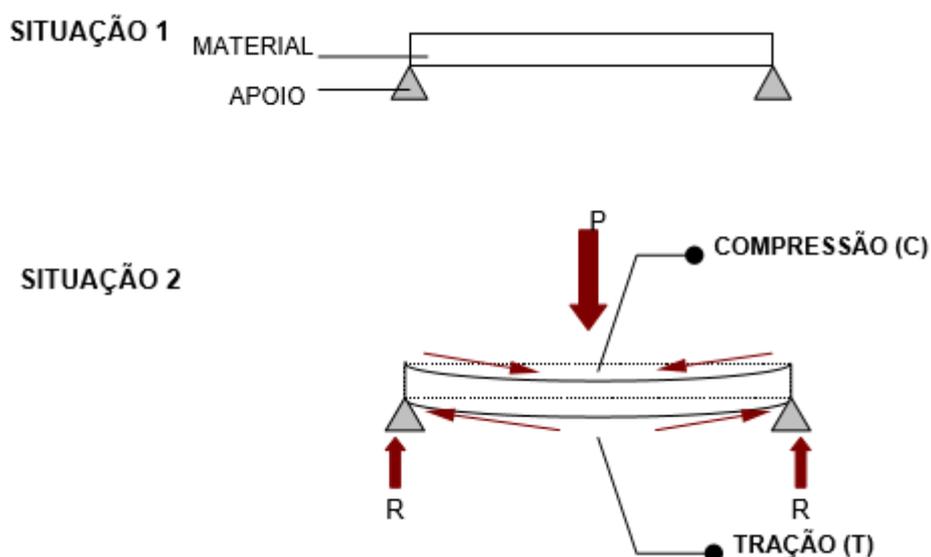


Figura 6 - Ensaio de flexão por carregamento em três pontos. Material com dois apoios em resposta a carga (P), mostram-se as reações (R), esforços de compressão (C) na parte superior do material e esforços de tração (T) na parte inferior (Iamaguti 2001).

Para a realização do ensaio de resistência a flexão, foi utilizado uma Prensa Hidráulica Universal EMIC DL 20000, e como base para as análises o módulo de ruptura (Flexão em placas de rochas) – ABNT NBR 15845: 2010 Anexo F, que define a resistência a força fletora em placas de rochas com dimensões estabelecidas. O ensaio foi realizado com dois pontos de apoio e um de emprego de carga, sendo o centro o local de máxima tensão (Daniel e Castro 2013).

Ensaio de flexão por carregamento em três pontos, procedimento:

- Colocar o CP nos apoios do equipamento de maneira que a face arrasada não esteja em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga;
- Empregar carga de (50 + 10) N/s até a ruptura do corpo-de-prova.

A resistência à tração na flexão é calculada de acordo com a equação (1) (Figura 7):

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{V} \quad (1)$$

Onde:

R_f = resistência à tração na flexão;

F_f = carga empregada verticalmente no centro do CP;

L = distância entre os apoios;

V = volume do CP.

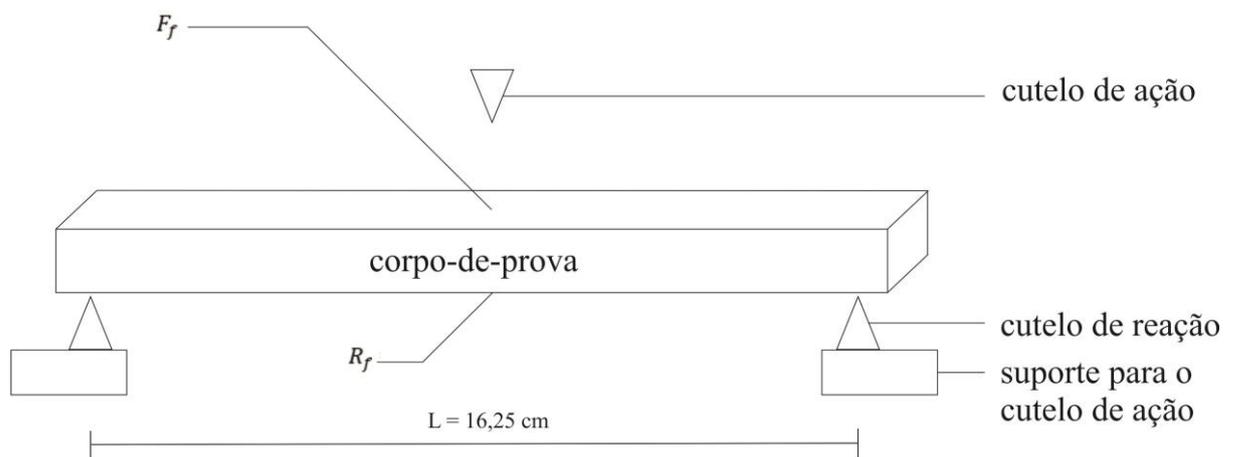


Figura 7 – ilustração do CP com a identificação dos componentes utilizados na equação (1) para o cálculo da resistência a tração na flexão.

CAPÍTULO 5

CONTEXTO GEOLÓGICO

5.1 QUADRILÁTERO FERRÍFERO

O Quadrilátero Ferrífero encontra-se dentro do estado de Minas Gérias, no extremo sudeste do Cráton São Francisco (Almeida 1997). É composto em sua maioria por terrenos granito gnáissicos arqueanos e transamazônicos, *greenstone belts* arqueanos, sequências supracrustais do Proterozóico Inferior, Médio e Superior (Chemale 1994). De acordo com a divisão esboçada por Herz (1970), os terrenos granito gnáissicos integram-se pelos complexos Caeté, Bonfim, Bação e Belo Horizonte. Os contatos com unidades supracrustais adjacentes possuem origem tectônica. Zonas onde unidades supracrustais adjacentes estão em contato são estruturalmente formadas por sinformes e homoclinais do Supergrupo Minas (Noce 1995).

Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas, anteriormente denominado de “Série Minas” por Derby (1906) foi identificado em muitas regiões do Quadrilátero Ferrífero (Figura 8). Segundo Dorr (1969), sua organização estratigráfica é formada por quatro grupos: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará. O grupo Caraça é composto pelas formações Moeda e Batatal. Datações realizadas em amostras de zircão coletadas do quartzito da Formação Moeda registraram idades de 2.713 à 3.010 Ma na base e 2.584 Ma à 2.708 Ma no topo (Hartmann 2006). A Formação Moeda é composta por quartzitos com intercalações de filitos e níveis conglomeráticos.

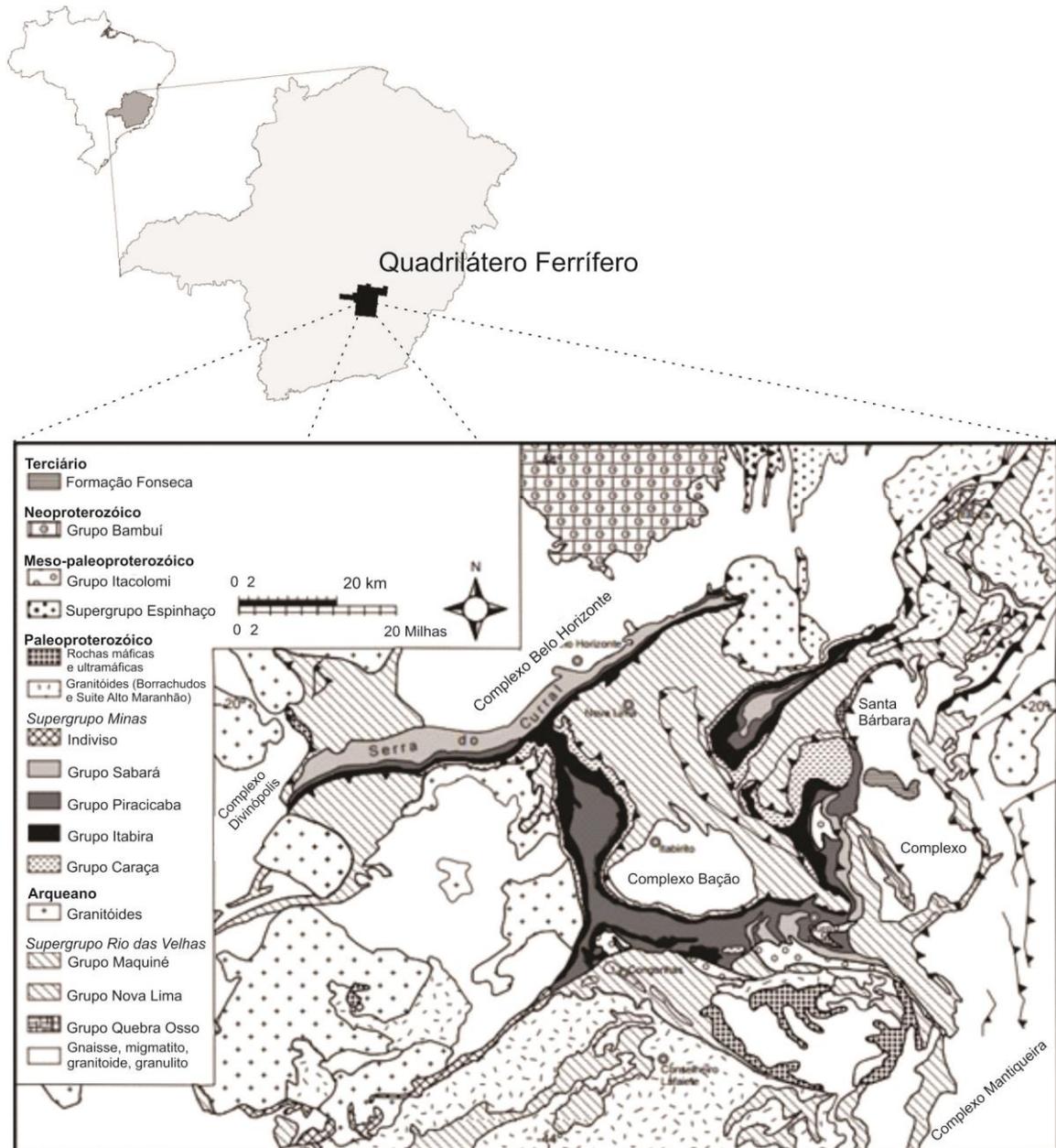


Figura 8 - Mapa do quadrilátero Ferrífero (Bizzi *et al.* 2001).

Formação Moeda

Representado comumente por quartzitos com pouca mica intercalados de quartzitos mais micáceos, os quartzitos da Formação Moeda apresentam dobras de escala regional, no interior de sinclinais e ao redor de domos granito-gnáissicos do Quadrilátero Ferrífero (Chemale *et al.* 1994). O contato entre as rochas que constituem os domos gnáissicos e as unidades metassedimentares comumente apresentam indícios de processos de milonitização. A transferência de sílica das zonas de cisalhamento causou enriquecimento de mica nestas áreas (Hippertt 1994). As zonas de cisalhamento estão relacionadas a dobras em escala de milímetros e decímetros em rochas supracrustais de áreas onde há pouca tensão ou em áreas adjacentes sob fácies Xisto Verde. Além disso, elas ocorrem junto à fluidos por meio de processos deformacionais indicados por grãos de feldspato apresentando fraturas, transferência de solução e deformação dúctil em grãos de quartzo (Hippertt 1998).

Dobras abertas e isoclinais ocorrem com frequência em zonas de contato nos quartzitos da Formação Moeda. As dobras mostram-se mais desenvolvidas em áreas onde foi verificado uma sequência alternada regular de quartzo e camadas ricas em mica. A tensão favorece a deformação das camadas ricas em quartzo onde a movimentação em planos basais de mica pode acomodar o cisalhamento nas camadas ricas em mica, desta forma, é prejudicado o aparecimento de dobras nestas áreas (Hippertt *et al.* 2001).

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é uma exposição e discussão dos dados obtidos das porções flexível e rígida do quartzito da Formação Moeda. Serão apresentados os resultados obtidos da composição mineralógica e da morfologia dos grãos de quartzo para cada uma das seções, ZY e ZX. Será apresentado, também, as orientações dos contatos lineares nos grãos de quartzo nas seções ZY e ZX. Além disso, serão registrados os resultados obtidos a partir do ensaio de flexão segundo as direções paralela e perpendicular ao lineamento mineral nas duas porções, flexível e rígida.

6.1 CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA DO QUARTZITO FLEXÍVEL

As fases minerais essenciais do quartzito flexível são quartzo, muscovita e cianita (Figuras 9). Os minerais acessórios compreendem opacos e rutilo (Figura 10). Os percentuais de quartzo e muscovita, obtidos a partir de *electron backscatter difracion* (EBSD) encontram-se registrados na tabela 1.

Tabela 1 - Percentual de quartzo e muscovita obtidos a partir de EBSD (Barbosa 2017).

Mapa de fases	Quartzo (%)	Muscovita (%)	Solução zero (%)
Flexível a)	73,78	20,71	5,502
Flexível b)	83,35	5,534	11,11

A morfologia dos grãos de quartzo caracteriza-se pela predominância dos contornos irregulares, no entanto, contatos lineares também são observados. É possível identificar um predomínio de grãos granulares em ZY se comparado com ZX (Figuras 11a e 11b). Por outro lado, observa-se com mais frequência grãos de quartzo mais alongados na seção ZX. O alongamento desses grãos ocorre segundo a direção do eixo X, conforme orientação utilizada para as amostras (ver Figura 5 em Materiais e Métodos). A muscovita pode ser observada envolvendo quase a totalidade dos grãos de quartzo em ambas as seções investigadas, ZY e ZX (Figuras 11c e 11d). A cianita está distribuída como pórfiros orientados segundo o eixo X. Os minerais acessórios estão presentes com morfologia granular e acompanham a foliação.

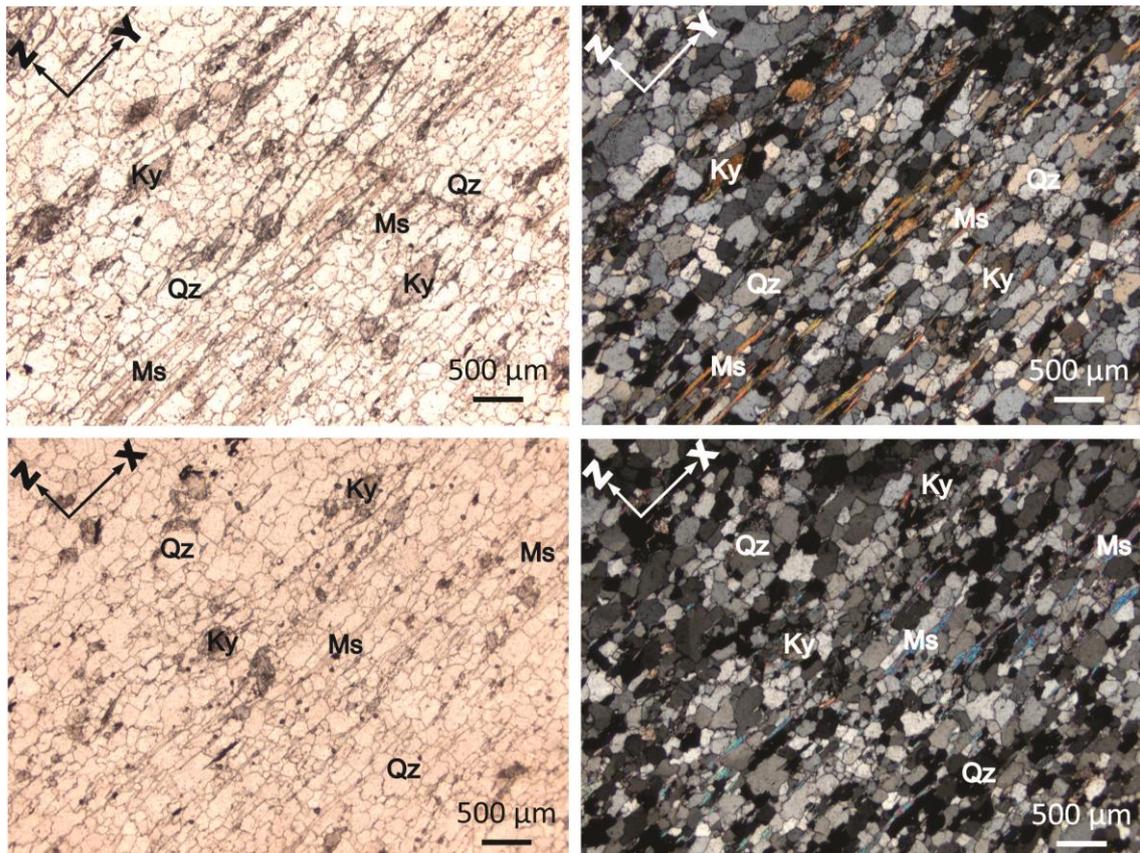


Figura 9 - Seções ZY e ZX do quartzito flexível com a identificação das fases minerais essenciais. Quartzo (Qz), muscovita (Ms) e cianita (Ky).

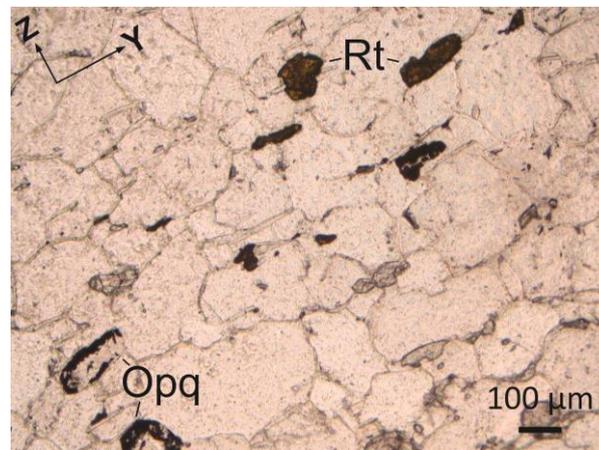


Figura 10 - Seção ZY do quartzito flexível com a identificação dos minerais acessórios. Mineral opaco (Opq), rutilo (Rt).

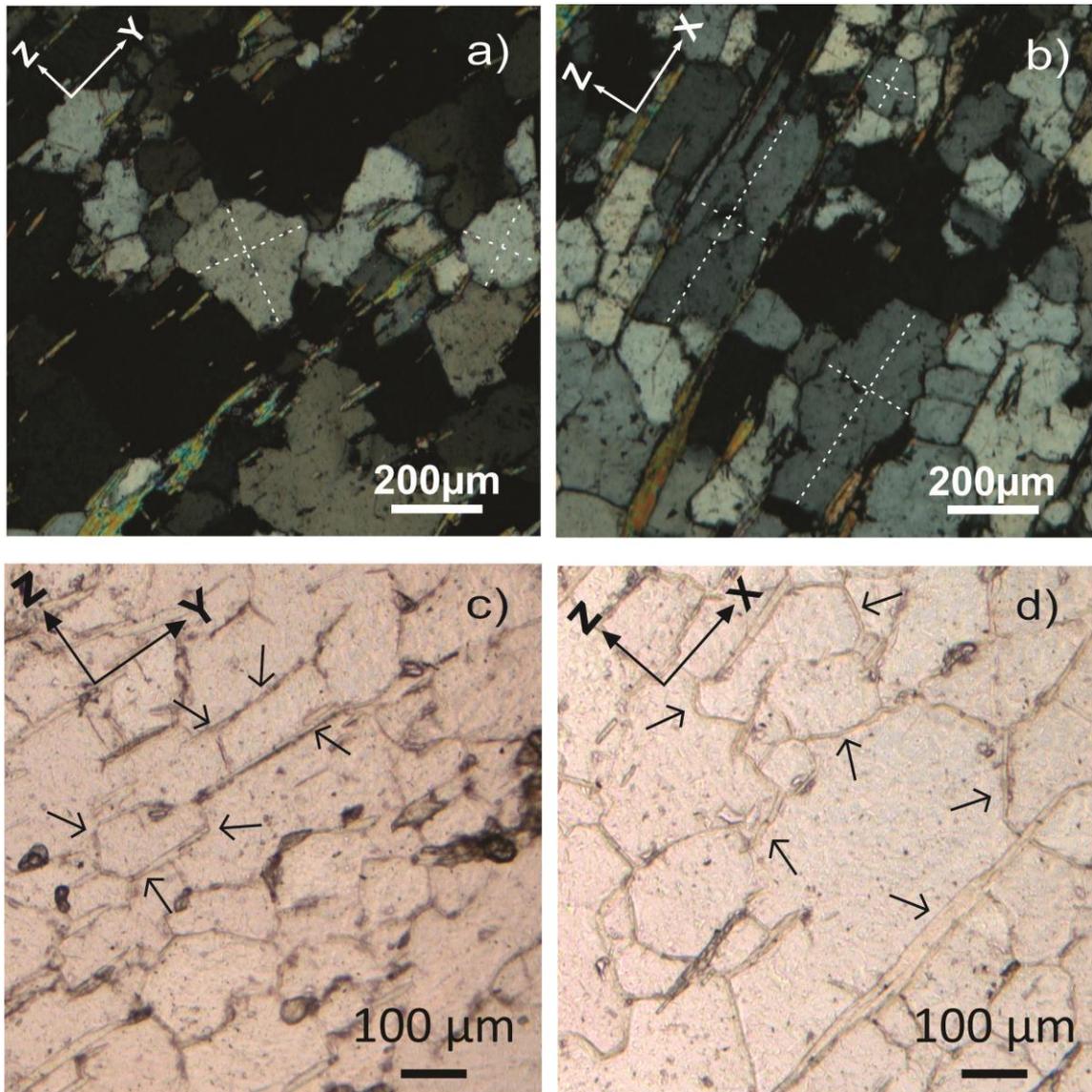


Figura 11 – Características gerais do quartzito flexível. a) Grão de quartzo granular; b) Grão de quartzo granular e alongado; c) Muscovita contornando o grão de quartzo na seção ZY; d) Muscovita contornando o grão de quartzo na seção ZX.

As rosetas de densidade dos contatos lineares entre os grãos de quartzo indicam uma orientação principal paralela ao eixo Y na seção ZY e paralela ao eixo X na seção ZX (Figura 12). A área utilizada para análise, bem como a quantidade de contatos lineares identificados também estão expressos na Figura 12. O quartzito possui, na seção ZY, orientação menos evidente em comparação a seção ZX como é sugerido pelas rosetas de densidade.

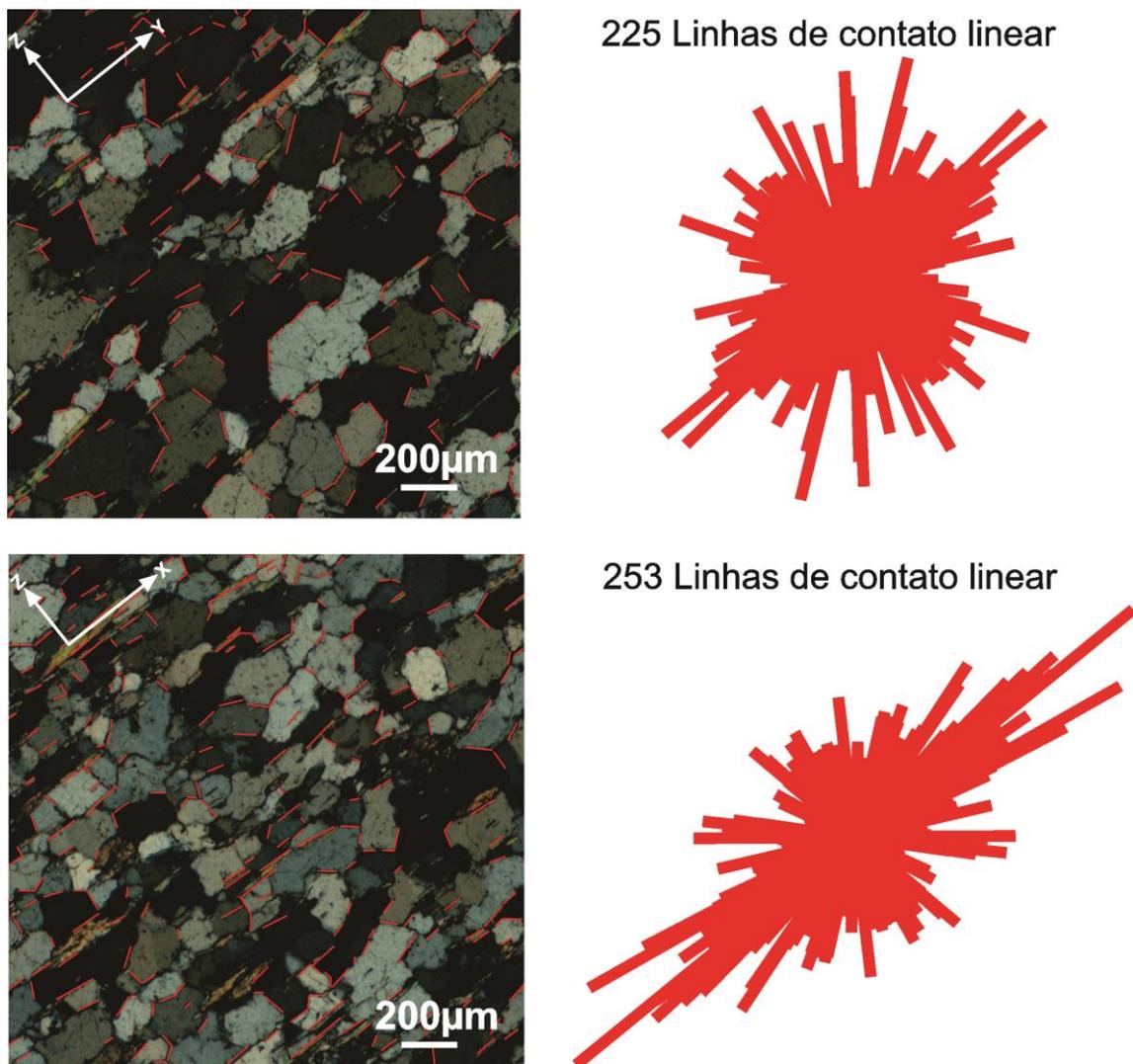


Figura 12 - Rosetas de densidade das linhas de contato linear entre os grãos de quartzo no quartzito flexível.

6.2 CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA DO QUARTZITO RÍGIDO

As fases minerais essenciais do quartzito rígido são quartzo, muscovita e cianita (Figura 13). Os minerais acessórios compreendem opacos e rutilo (Figura 14). Os percentuais de quartzo e muscovita, obtidos a partir de *electron backscatter difraction* (EBSD) encontram-se registrados na tabela 2.

Tabela 2 - Percentual de quartzo e muscovita obtidos a partir de EBSD (Barbosa 2017).

Mapa de fases	Quartzo (%)	Muscovita (%)	Solução (%)
Rígido a)	88,09	2,09	5,502
Rígido b)	89,87	2,141	7,985

Os grãos de quartzo são caracterizados morfologicamente por contornos irregulares e contatos lineares. É possível observar um predomínio de grãos granulares na seção ZY se comparado com a seção ZX (Figura 15a). Por outro lado, observa-se com mais frequência grãos de quartzo mais alongados na seção ZX (Figura 15b). O alongamento desses grãos ocorre segundo a direção do eixo X, conforme orientação utilizada para as amostras (ver Figura 5 em Materiais e Métodos). A muscovita pode ser verificada em lamelas paralelas ao plano de foliação para as duas seções, ZY e ZX (Figura 15c e 15d). A cianita está distribuída como pórfiros orientados segundo o eixo X. Os minerais acessórios estão presentes com morfologia granular e acompanham a foliação.

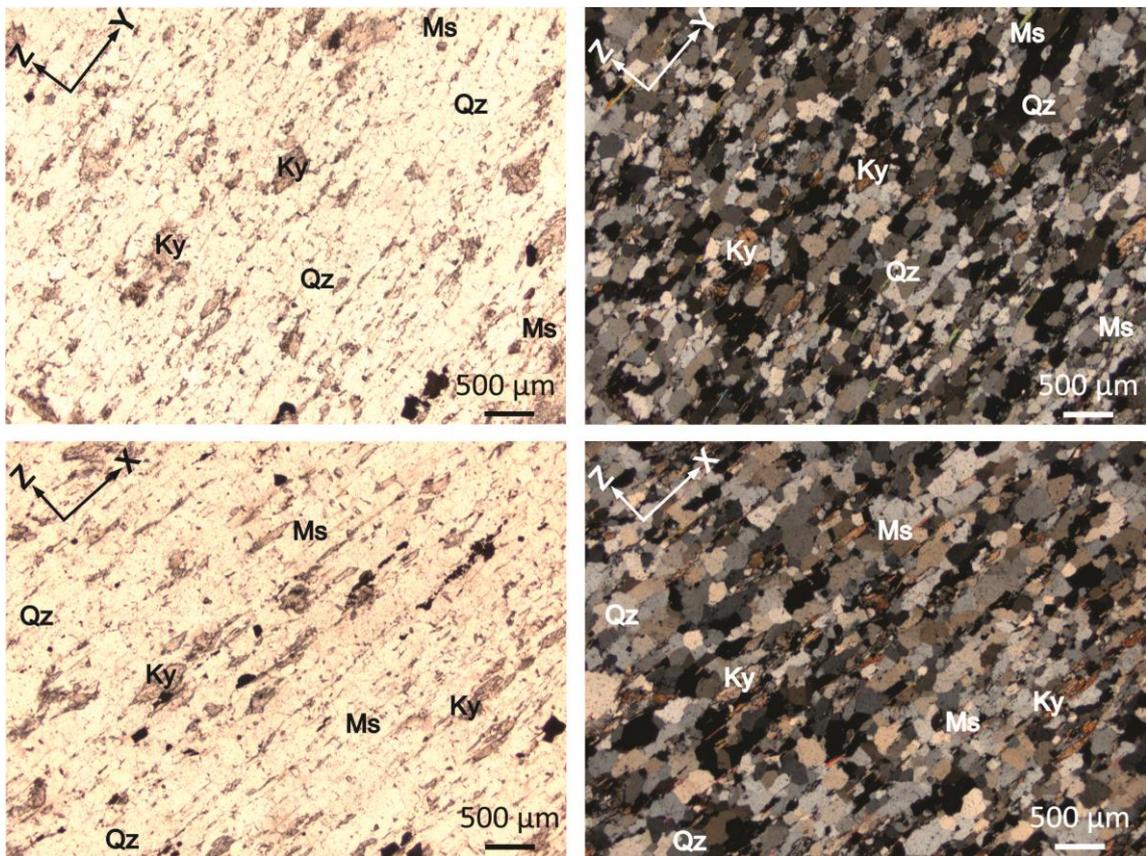


Figura 13 - Seções ZY e ZX do quartzito rígido com a identificação das fases minerais essenciais. Quartzo (Qz), muscovita (Ms) e cianita (Ky).

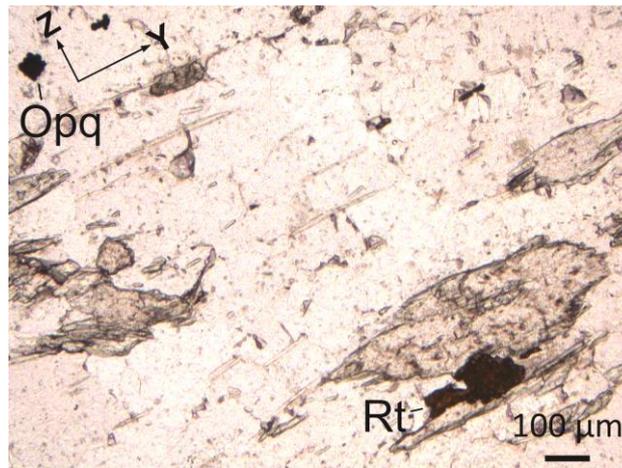


Figura 14 - Seção ZY do quartzito flexível com a identificação dos minerais acessórios. Mineral opaco (Opq), rutilo (Rt).

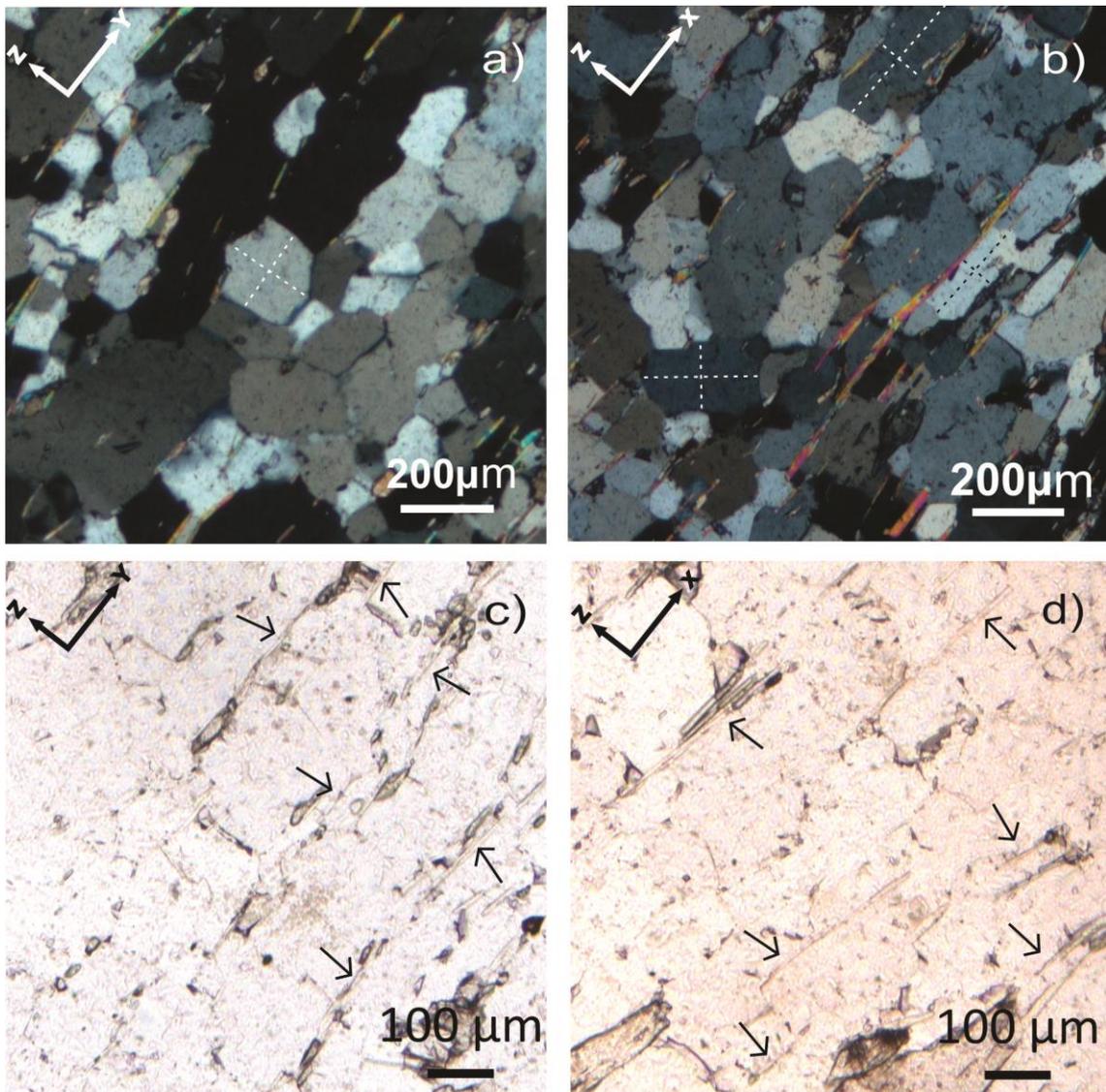


Figura 15 - Características gerais do quartzito rígido. a) Grão de quartzo granular; b) Grão de quartzo granular e alongado; c) Muscovita paralela à foliação na seção ZY; d) Muscovita paralela à foliação na seção ZX.

As rosetas de densidade dos contatos lineares entre os grãos de quartzo indicam uma orientação principal paralela ao eixo Y na seção ZY e paralela ao eixo X na seção ZX (Figura 16). A área utilizada para análise, bem como a quantidade de contatos lineares identificados também estão expressos na Figura 16. Não observa-se discrepâncias evidentes entre as seções ZY e ZX se comparadas as suas orientações preferenciais, como observado em Figura 12, porém, o quartzito possui, na seção ZY, ~ 19 % mais linhas de contato linear em comparação a seção ZX.

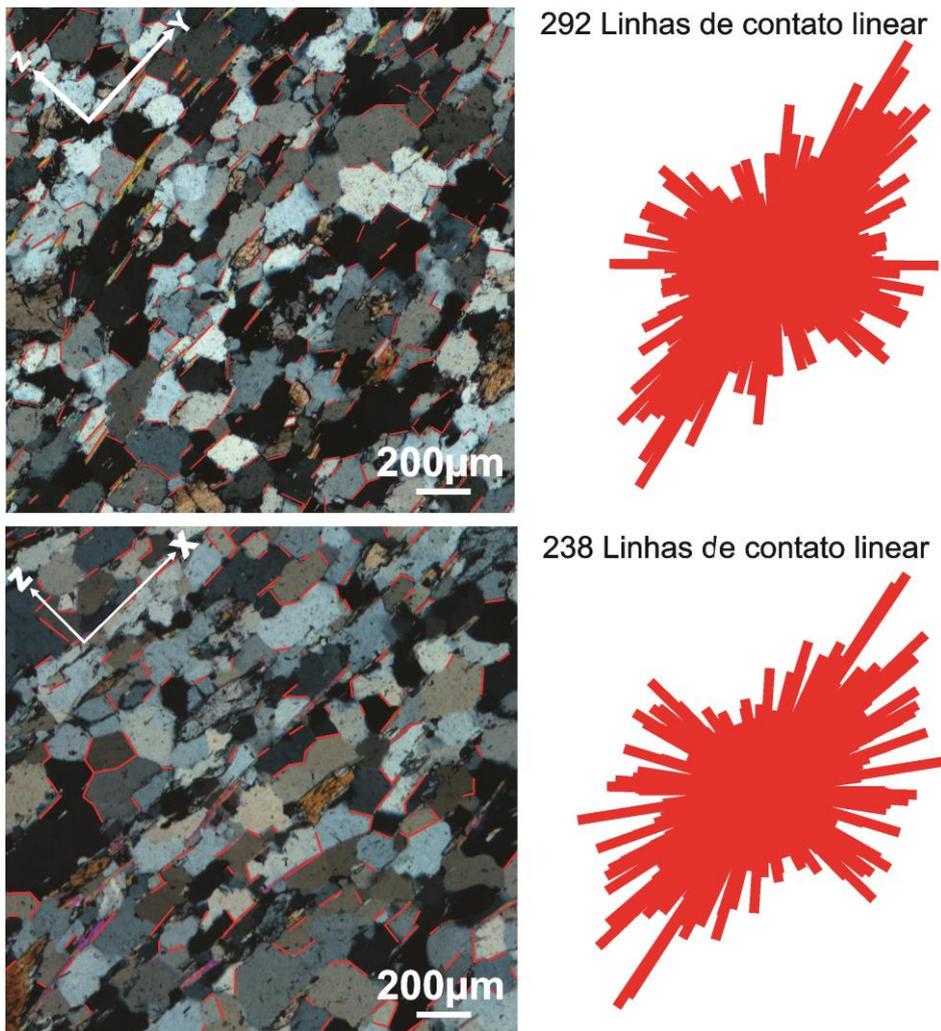


Figura 16 - Rosetas de densidade das linhas de contato linear entre os grãos de quartzo no quartzito rígido.

Foi feito a individualização dos grãos de quartzo nas seções ZY e ZX, para as duas porções analisadas, flexível e rígida com intuito de apresentar uma sugestão para sua morfologia (Figura 17). Na porção flexível foram observados predominantemente contornos irregulares, enquanto na porção rígida contatos lineares ocorrem com mais frequência, sendo verificado 52 contatos lineares a mais se somadas as duas seções ZY e ZX, em cada porção, flexível e rígida (ver Figuras 12 e 16). Além disso, como é possível observar em Barbosa (2017), os grãos de quartzo apresentam-se menores na porção flexível se comparado à porção rígida.

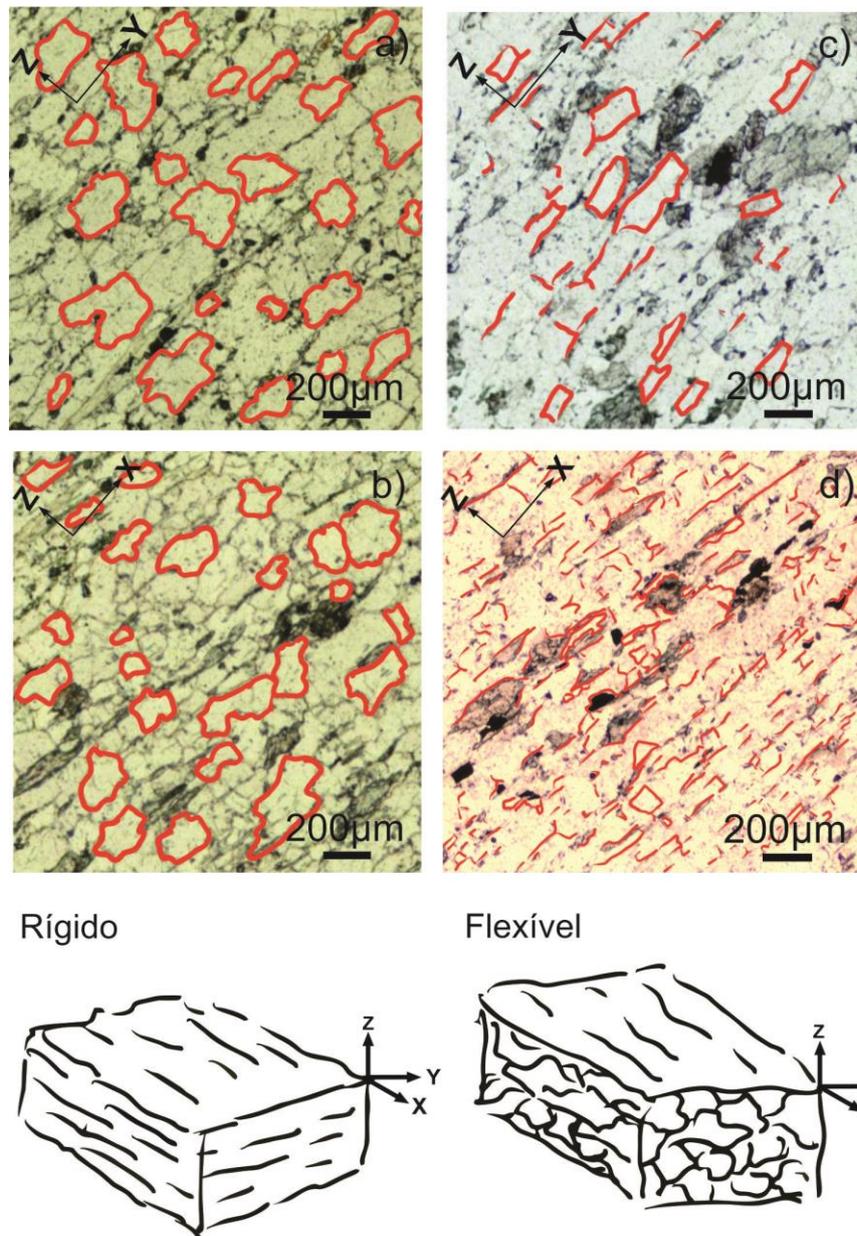


Figura 17 – Figura com a ilustração dos contornos nos grãos de quartzo e uma sugestão para a morfologia dos grãos nas duas porções, flexível e rígida: a) Porção flexível, seção ZY; b) Porção flexível, seção ZX; c) Porção rígida, seção ZY; d) Porção rígida, seção ZX.



Figura 18 - Histograma com a comparação do tamanho dos grãos de quartzito nas porções flexível e rígida do quartzito da Formação Moeda. O eixo das ordenadas (y) representa a quantidade de grãos, enquanto o eixo das abscissas (x) representa a área em μm^2 (Barbosa 2017).

6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO PARA O QUARTZITO FLEXÍVEL

O ensaio de flexão, para os CP com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral, registrou forças de compressão máximas entre 490,85 N e 582,01 N. A média dos valores máximos de compressão entre os CP foi de 545,55 N. Além disso, os valores médios de tempo de ensaio e tempo de ruptura foram respectivamente 27,08 s e 21,34 s (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados do ensaio de flexão dos quartzitos flexíveis cortados com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral.

Corpo de prova (CP)	Compressão máxima (N)	Tensão máxima (kPa)	Tempo de ensaio (s)	Tempo de ruptura (s)	Largura (mm)	Altura (mm)
CP1	546,95	2822,63	22,38	17,10	82,00	24,00
CP2	490,85	3051,85	25,82	19,78	81,00	22,00
CP3	532,92	2495,58	25,47	19,48	77,00	26,00
CP4	575,00	2669,63	30,27	25,40	84,00	25,00
CP5	582,01	2594,69	31,47	24,96	75,00	27,00
Média	545,55	2726,88	27,08	21,34	79,80	24,80

A seguir serão ilustradas as curvas geradas por meio dos resultados obtidos no ensaio de flexão para as amostras com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral (ver Anexo). Assim como observado em Tabela 3, as forças de compressão máximas registradas estão compreendidas no intervalo entre 400 N e 600 N. Além disso, o momento de ruptura das amostras, representado pelo ponto de inflexão nas curvas, está contido no intervalo de 10 s a 30 s (Figura 19).

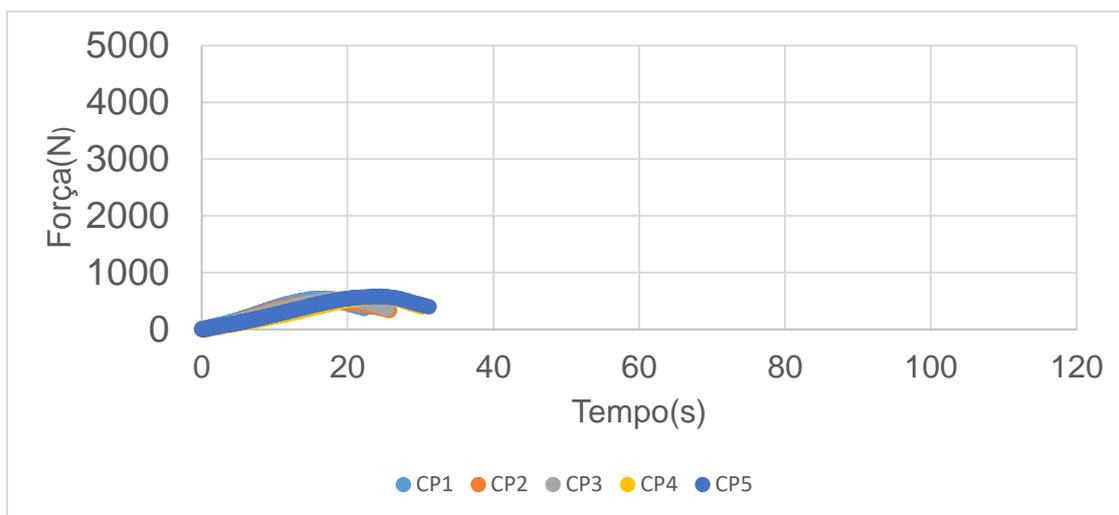


Figura 19 - Gráfico de dispersão de pontos dos quartzitos flexíveis cortados com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral, que mostra as curvas obtidas por meio dos resultados dos ensaios de flexão.

Para os CP com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral, o ensaio de flexão registrou forças de compressão máximas entre 224,39 N e 406,70 N. A média dos valores máximos de compressão entre os CP foi de 286,10 N. Além disso, os valores médios de tempo de ensaio e tempo de ruptura foram respectivamente 76,43 s e 24,78 s (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados do ensaio de flexão dos quartzitos flexíveis cortados com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral.

Corpo de prova (CP)	Compressão máxima (N)	Tensão máxima (kPa)	Tempo de ensaio (s)	Tempo de ruptura (s)	Largura (mm)	Altura (mm)
CP1	224,39	894,41	107,95	29,87	78,00	28,00
CP2	406,70	2592,70	20,60	16,80	79,00	22,00
CP3	259,45	1184,20	98,63	27,60	79,00	26,00
CP4	245,43	1869,45	66,73	25,70	80,00	20,00
CP5	294,51	2361,41	88,22	23,92	76,00	20,00
Média	286,10	1780,43	76,43	24,78	78,40	23,20

A seguir serão ilustradas as curvas geradas por meio dos resultados obtidos no ensaio de flexão para as amostras com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral (ver Anexo). Assim como observado em Tabela 4, as forças de compressão máximas registradas estão compreendidas no intervalo entre 200 N a 410 N. Além disso, o momento de ruptura das amostras está contido no intervalo de 10 s a 30 s (Figura 20).

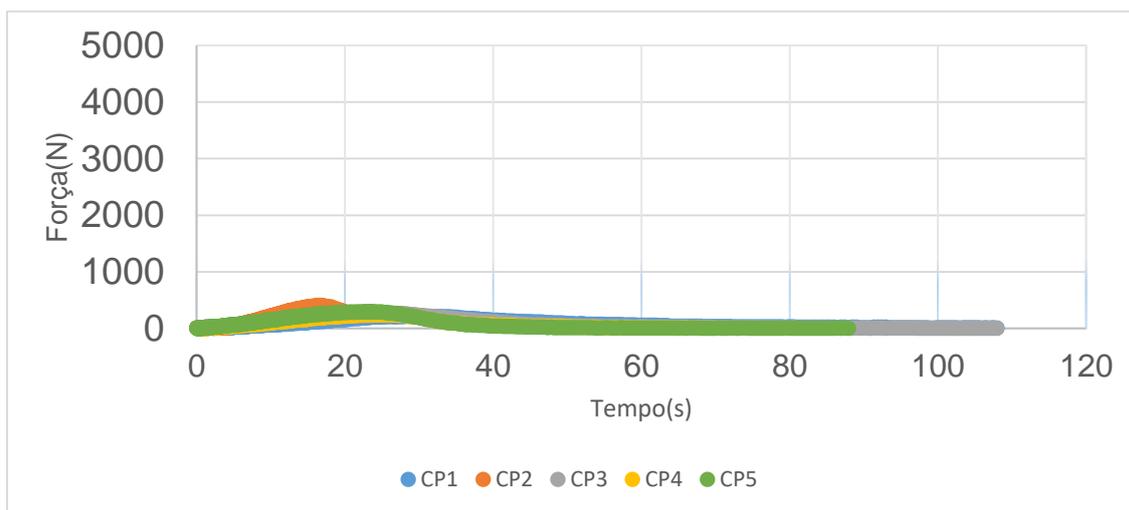


Figura 20 - Gráfico de dispersão de pontos dos quartzitos flexíveis cortados com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral, que mostra as curvas obtidas por meio dos resultados dos ensaios de flexão.

6.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO PARA O QUARTZITO RÍGIDO

O ensaio de flexão, para os CP com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral, registrou forças de compressão entre 455,79 N e 1072,86 N. A média dos valores máximos de compressão entre os CP foi de 894,75 N. Além disso, os valores médios de tempo de ensaio e tempo de ruptura foram respectivamente 19,67 s e 14,26 s (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultados do ensaio de flexão dos quartzitos rígidos cortados com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral.

Corpo de prova (CP)	Compressão máxima (N)	Tensão máxima (kPa)	Tempo de ensaio (s)	Tempo de ruptura (s)	Largura (mm)	Altura (mm)
CP1	1388,41	6765,23	21,28	17,05	74,00	26,00
CP2	995,73	7880,13	13,65	10,20	77,00	20,00
CP3	1072,86	5433,96	19,42	14,83	77,00	25,00
CP4	560,97	2700,98	20,90	14,25	81,00	25,00
CP5	455,79	2838,06	23,08	14,97	74,00	23,00
Média	894,75	5123,67	19,67	14,26	76,60	23,80

A seguir são ilustradas as curvas geradas por meio dos resultados obtidos no ensaio de flexão para as amostras com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral (ver Anexo). Assim como observado em Tabela 5, as forças de compressão máximas registradas estão compreendidas no intervalo entre 400 N e 1400 N. Além disso, o momento de ruptura das amostras está contido no intervalo de 10 s a 20 s (Figura 21).

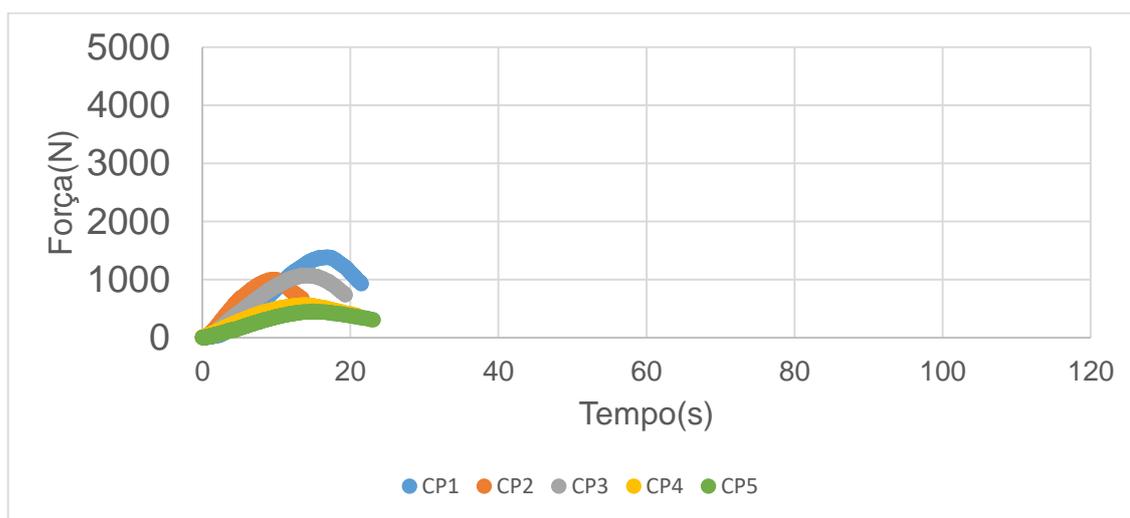


Figura 21 - Gráfico de dispersão de pontos dos quartzitos rígidos cortados com a dimensão maior paralela ao lineamento mineral, que mostra as curvas obtidas por meio dos resultados dos ensaios de flexão.

Para os CP com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral, o ensaio de flexão marcou forças de compressão entre 2117,67 N e 4578,94 N. A média dos valores máximos de compressão entre os CP foi de 3337,78 N. Além disso, os valores médios de tempo de ensaio e tempo de ruptura foram respectivamente 14,16 s e 12,95 s (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultados do ensaio de flexão dos quartzitos rígidos cortados com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral.

Corpo de prova (CP)	Compressão máxima (N)	Tensão máxima (kPa)	Tempo de ensaio (s)	Tempo de ruptura (s)	Largura (mm)	Altura (mm)
CP1	2117,67	6394,41	13,68	10,05	84,00	31,00
CP2	4046,01	15529,97	15,30	14,88	81,00	28,00
CP3	3618,27	16943,70	8,58	8,13	77,00	26,00
CP4	4578,94	21724,45	10,02	9,62	76,00	26,00
CP5	2328,03	13752,57	23,20	22,08	78,00	23,00
Média	3337,78	14869,02	14,16	12,95	79,20	26,80

A seguir serão ilustradas as curvas geradas por meio dos resultados obtidos no ensaio de flexão para as amostras com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral (ver Anexo). Assim como observado em Tabela 6, as forças de compressão máximas registradas estão compreendidas no intervalo entre 2000 N e 5000 N. Além disso, o momento de ruptura das amostras está contido no intervalo de 10 s a 25 s (Figura 22).

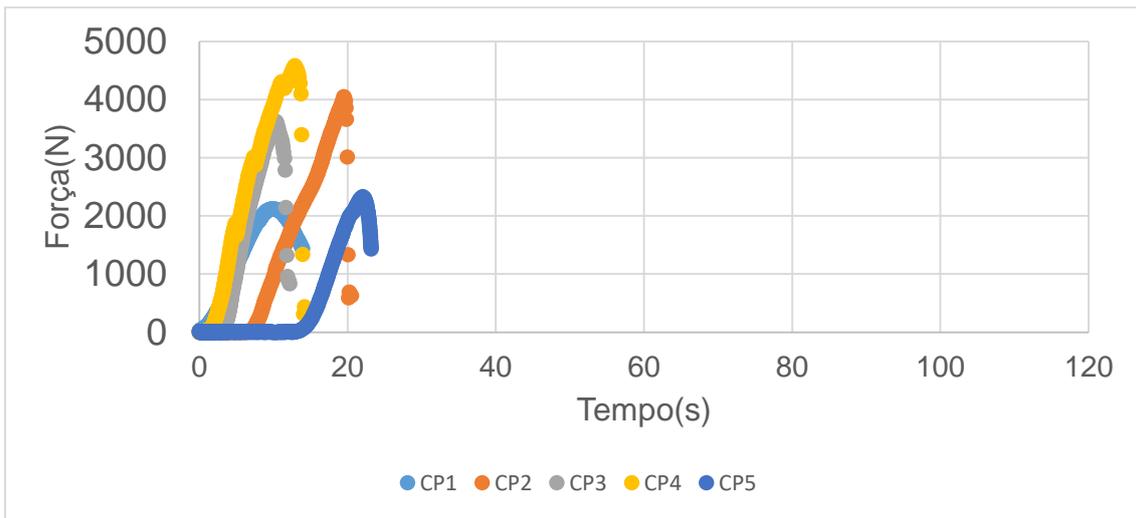


Figura 22 - Gráfico de dispersão de pontos dos quartzitos rígidos cortados com a dimensão maior perpendicular ao lineamento mineral, que mostra as curvas obtidas por meio dos resultados dos ensaios de flexão.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados e comparações feitas no presente estudo, foi percebido que a flexibilidade identificada nos quartzitos da Formação Moeda possui relação consoante com a quantidade e distribuição de muscovita ao redor dos grãos de quartzo, com a morfologia dos grãos de quartzo, além disso, com o tamanho dos grãos de quartzo.

Os resultados de microscopia óptica apontaram diferenças nas duas porções, flexível e rígida. Os limites entre os grãos de quartzo, na porção flexível, não ocorrem diretamente grão-a-grão, como observado na porção rígida. Os espaços entre os limites dos grãos de quartzo comumente apresentam-se preenchidos por muscovita. Além disso, como mencionado por Devries (1968), a morfologia dos grãos de quartzo, nos quartzitos flexíveis, favorece o movimento dos grãos entre os espaços. O aumento no espaçamento entre os grãos de quartzo ocorre concomitante ao aumento na quantidade de muscovita bem como ao aumento na quantidade de grãos granulares e à diminuição no tamanho relativo dos grãos. O somatório dessas características contribuem para a flexibilidade da rocha.

Os ensaios de flexão, como o esperado, confirmaram que a amostra flexível suporta um tempo, até a ruptura, superior em comparação a amostra rígida sob as mesmas condições de operação. Por outro lado, a amostra rígida necessitou de mais força de compressão para atingir o momento de ruptura se comparada à amostra flexível.

A partir das evidências composicionais mineralógicas entre a amostra flexível e rígida é proposto uma relação direta com a propriedade de flexão, já que o quartzito flexível foi o mais afetado pela deformação e este possui a proporção em micas superior em relação aos quartzitos rígidos. As muscovitas, no quartzito flexível, serviriam como suporte estrutural durante a deformação, não ocorrendo a ruptura imediata ao envergar a rocha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F. F., Marshak S. 1998. Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90(1): 29-58.
- Almeida F. D. 1977. O Cráton do São Francisco. *Brazilian Journal of Geology*, 7(4): 349-364.
- Balfour E. 1885. The Cyclopaedia of India and of Eastern and Southern Asia, 3rd ed. Morrison and Gibb, Edinburgh.
- Bannister, Cowan and Company 1869. Resources of North Carolina: Its natural wealth, condition, and advantages, as existing in 1869. Present to the Capitalists and People of the Central and Northern States. Bannister and Cowan, Wilmington, North Carolina.
- Barbosa P.D. 2017. Comportamento flexível-rígido dos quartzitos e suas propriedades mineralógicas, microestruturais e texturais a partir de EBSD. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).
- Beste R.C. 2005. A Location Guide for Rock Hounds in the US. 3rd ed. Hobbit Press, Missouri.
- Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Gonçalves J.H., Baars F.J., Delgado I.M., Abram M.B., Santos J.D. 2001. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas–SIG e mapas na escala 1: 2.500. 000. *Brasília, CRPM*, 4.
- Blake W.P. 1876. On itacolumite. In: Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 28:325-326.
- Chemale F., Rosière C. A., Endo I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, 65(1-4):25-54.
- Daniel V.M., Castro N. F. 2013. Apoio à normalização de rochas ornamentais.
- Derby O.A. 1882. Modes of occurrence of the diamond in Brazil. *American journal of Science* XXIV (139-144):34-42 Art III.
- Derby O.A. 1884. On the flexibility of itacolumite. *American journal of Science* XXVIII: 205-208.
- Derby O.A. 1898. On the accessory elements of itacolumite, and the secondary enlargement of Tourmaline. *American journal of Science* V: 187-192.
- Derby O.A. 1906. The Serra Do Espinhaço, Brazil. *Journal of Geology* XIV (V):374-401.
- Devries R.C., Juglet D. 1968. Structure-ProPerty Relation in Flexible Sandstone. *Journal of the American Ceramic Society*, 51(7):387-391.
- Dorr J.V.N. 1969. *Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*, 641-A: A1-A110. US Government Printing Office.

Eschwege W.L. 1822. Geognostisches Gemälde von Brasilien, und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten. Wiemar.

Eschwege W. V. 1823. Esquisse géognostique du Brésil, suivie d «une dissertation sur la gangue originaire du diamant; extrait traduit de l allemand par M. Combes. In *Annales des Mines*, 401-430.

Fedden F. 1877. Flexible sandstone. In: Hughes (Ed.) Wardha Valley Coal Field. Memoirs of the Geological Survey of India, XII Pt. 1:16.

Foushee E.D. 1954. A report of the flexible sandstone or itacolumite of Stokes County, North Carolina. *Compass (Sigma, Gamma, Epsilon)*, 31:78-80.

Grant W.H. 1950. Petrography of three Georgia Itacolumites. Georgia Department of Mines Mining and Geology, 56:91-96.

Hackett C.A. 1868. On the geology of the Arvali Region, Central and Eastern. Records of the Geological Survey of India XIV: 279-303.

Hartmann L.A., Endo I., Suita M.T.F., Santos J.O.S., Frantz J.C., Carneiro M.A., and Barley M.E. 2006. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U–Pb isotopes. *Journal of South American Earth Sciences*, 20(4):273-285.

Hawkins A.C. 1951. Flexible sandstone. *The Mineralogist* 19:34.

Herz N. 1970. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington, US Geol. Surv, 58:641-B.

Heusser C., Claraz G. 1861. Description of the rocks in which diamonds are found and the manner of working them in the province of Minas Gerais, Brazil. *The Geologist*, 163-168.

Hippertt J.F. 1994. Microstructures and c-axis fabrics indicative of quartz dissolution in sheared quartzites and phyllonites. *Tectonophysics*, 229(3-4):141-163.

Hippertt J.F. 1998. Breakdown of feldspar, volume gain and lateral mass transfer during mylonitization of granitoid in a low metamorphic grade shear zone. *Journal of Structural Geology*, 20(2-3):175-193.

Hippertt J., Rocha A., Lana C., Egydio-Silva M., Takeshita T. 2001. Quartz plastic segregation and ribbon development in high-grade striped gneisses. *Journal of Structural Geology*, 23(1):67-80.

Iamaguti A.P.S. 2001. Manual de Rochas Ornamentais para Arquitetos. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (IGCE-UNESP), Rio Claro, São Paulo, 205.

Klaproth M.H. 1801. Analytical Essays Towards Promoting the Chemical Knowledge of Mineral Substances. Cadell and Davies, London, Translated from German.

Kerbey H.C. 2011. Itacolumite, flexible sandstone and flexible quartzite—a review. *Proceedings of the Geologists' Association*, 122(1):16-24.

Lieber O.M. 1858. Report of the Survey of South Carolina. 2nd ed. R.W. Gibbes, Columbia, South Carolina.

Pires, O.J.C. 2017, Quartzito Moeda e sua relação com o ensaio de flexão

Maitland T., Sitzman S. 2006. Backscattering detector and EBSD in nanomaterials characterization. In *Scanning Microscopy for Nanotechnology*, 41-75. Springer New York.

Medlicott H.B. 1874. Note on the habitat in India of the elastic sandstone, or called itacolumyte. *Rec. Geol. Surv. India*, 7:30-31.

NBR – 15845, 2010. Anexo F (normativo) – Módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos) – Método de ensaio

Noce C.M. 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais (Dissertação de doutorado, Universidade de São Paulo).

Oldham R.D. 1889. On flexible sandstone or itacolumite, with special reference to its nature and mode of occurrence in India, and the cause of its flexibility. *Records of the Geological Survey of India*, XVII:51-56.

Pires P.F.R. 2005. Gênese dos depósitos auríferos em metaconglomerados da Formação Moeda, Quadrilátero Ferrífero, MG: O papel do metamorfismo e associação com a matéria carbonosa. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, SP, 209.

Renger F.E., Noce C. M., Romano A.W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do supergrupo minas: 500 ma. De registro geológico no quadrilátero ferrífero, minas gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1):1-11.

Sato I., Ichikawa Y., Sakanoue J., Mizutani M., Adachi N., Ota T. 2008. Flexible Ceramics in the System KZr₂(PO₄)₃-KAlSi₂O₆ Prepared by Mimicking the Microstructure of Itacolumite. *Journal of the American Ceramic Society*, 91(2):607-610.

Shepard C.U. 1845. On the occurrence of itacolumite and diamonds. In *Proceeding of Annual Meeting of Association of American Geologists and Naturalists*, 6:41-43.

Siegesmund S., Vollbrecht A., Hulka C. 2002. The anisotropy of itacolumite flexibility. *Geological Society, London, Special Publications*, 205(1):137-147.

Stewart K.G., Roberson M. 2007. Exploring the Geology of the Carolinas. Chapel Hill, North Carolina.

Stickey J.L. 1958. Itacolumite in North Carolina. *Rocks and Minerals*, 324-325.

Suzuki H., Shimizu D. 1993. Petrography of Indian, Brazilian and Appalachian itacolumites. *Journal of Geological Society of Japan*, 99:391-401.

Suzuki H., Shimizu D. 2003. Occurrence and porosity measurement of itacolumite newly found from Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. *Science and Engineering Review-Doshisha University*, 44(1):1-12.

Suzuki H., Kanie Y., Kanie Y., Rambelason R. A., Ramasiarinoro V. 2011. Discovery of itacolumites in the central highlands of Madagascar. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 106(6):299-305.

Traill G.W., 1870. An Elementary Treatise on Quartz and Opal, 2nd ed. Maclachlan and Stewart, Edinburgh.

Tuomey M. 1848. Report of the Geology of South Carolina. A.S. Johnson, Columbia, South Carolina.

Vieira F. S. 2008. "Introdução à Microscopia."

Wadia D.N. 1961. *Geology of India, 3rd. ed.*, MacMillan, London, 536.

Wetherill C.M. 1867. Experiment on Itacolumite (Articulite), with the explanation of its flexibility and its relation to the formation of the Diamond. *The American Journal of Science and Arts*, 44(30)