

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**SETOR CIÊNCIAS DA TERRA**

**CURSO DE GEOLOGIA**

**BRUNO HENRIQUE DE MOURA MERSS**

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DA MINA DOIS IRMÃOS, SÃO MATEUS DO  
SUL – PARANÁ**

**CURITIBA**

**2016**

**BRUNO HENRIQUE DE MOURA MERSS**

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DA MINA DOIS IRMÃOS, SÃO MATEUS DO  
SUL – PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Geologia da Universidade Federal do  
Paraná como requisito parcial à obtenção do  
grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Professor Mestre Fernando Mancini

Coorientador: Engenheiro de Minas  
Gianfrancesco Orso Cerutti

**CURITIBA**

**2016**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Fernando “Da Lata” Mancini pelas discussões e orientações essenciais para a conclusão deste trabalho.

Ao meu coorientador Gianfrancesco “Ceruttão” Orso Cerutti pelo acompanhamento em campo e discussões.

A comissão de TCC do ano que 2016 do Departamento de Geologia da UFPR.

Aos Engenheiros de Minas Sosinski e Leandro pelo acompanhamento em campo e discussões.

A Petrobras – SIX pelo fornecimento dos dados e liberação do acesso à mina.

Aos meus amigos e familiares pelo incentivo e cobrança.

A Kristin Brunsell pelo apoio e incentivo.

A todos que de forma direta ou indiretamente colaboraram com este trabalho.

## RESUMO

A Mina Dois Irmãos é uma frente de exploração de folhelho betuminoso no interior do Paraná que pertence a empresa Petrobras. A integração de dados de superfície, falhas e dobras, com mapas de contorno estrutural, foi o método utilizado para determinar a direção dos lineamentos presentes na mina. A formação desses lineamentos é relacionada com a reativação da Falha da Lancinha, no final do Permiano, devido a colisões na borda oeste do Gondwana. A reativação sinistral da falha gerou um sistema de dobras e falhas, que são um reflexo das estruturas sintéticas e antitéticas de Riedel. Essa estruturação controla as camadas econômicas de folhelho e geram instabilidade de taludes.

**Palavras-chave:** Geologia estrutural; Formação Irati; Folhelho betuminoso; Tectônica.

## **ABSTRACT**

The Dois Irmãos Mine is a shale-oil exploration site located in rural Paraná. An integration between surface analysis, folds and faults, and structural contour maps was the method used to define the main lineaments at the mine. The origin of these lineaments is related to the reactivation of the Lancinha Fault at the end of the Permian Period as a product of collisions that happened at western Gondwana border. The reactivation generated a fold-fault system related to Riedel's synthetic and antithetic. This structural framework controls the economic layers and creates slope instability.

**Keywords:** Structural Geology; Irati Formation; Bituminous shale; Tectonics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização.....	9
Figura 2. Mapa de localização das sondagens.....	11
Figura 3. Seção geológica da Bacia do Paraná.....	12
Figura 4. Carta estratigráfica Carbonífero-Permiana da Bacia do Paraná.....	13
Figura 5. Seção esquemática da Mina Dois Irmãos.....	14
Figura 6. Modelo “bolo de argila”.....	15
Figura 7. Prolongamento de lineamentos na Bacia do Paraná.....	16
Figura 8. Dobra-falha com carácter reverso.....	17
Figura 9. Dobra sinclinal.....	18
Figura 10. Dobra anticlinal.....	18
Figura 11. Dobra fechada.....	19
Figura 12. Falha com preenchimento de calcita.....	20
Figura 13. Fratura.....	20
Figura 14. Fraturas conjugadas.....	21
Figura 15. Mapa de contorno estrutural do topo do “xisto inferior” e interpretação.....	22
Figura 16. Mapa de contorno estrutural do topo do “xisto intermediário e interpretação.....	23
Figura 17. Modelo de Riedel com movimentação sinistral.....	24
Figura 18. Níveis da Mina Dois Irmãos.....	25
Figura 19. Modelo de Ridel com movimentação sinistral e elipsoides.....	25
Figura 20. Áreas de risco da Mina Dois Irmãos.....	26

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1. LOCALIZAÇÃO.....	8
1.2. OBJETIVO.....	8
1.3. JUSTIFICATIVA.....	9
2. MATERIAS E MÉTODOS.....	10
2.2. ANÁLISE ESTRUTURAL.....	10
2.3. MAPAS DE CONTORNO ESTRURAL.....	10
3. GEOLOGIA REGIONAL.....	11
3.1. BACIA DO PARANÁ.....	11
3.2. FORMAÇÃO IRATI.....	12
3.3. MINA DOIS IRMÃOS.....	13
3.4. REATIVAÇÕES DE FALHAS.....	14
3.5. REATIVAÇÕES PERMO-TRIÁSSICO DE FALHAS NA BACIA DO PARANÁ.....	15
4. RESULTADOS.....	17
4.1. DADOS DE SUPERFÍCIE.....	17
4.1.1. DOBRAS.....	17
4.1.2. FALHAS E FRATURAS.....	19
4.2. MAPAS DE CONTORNO ESTRUTURAL.....	21
4.2.1. MAPA DE CONTORNO ESTRUTURAL DO TOPO DA CAMADA DE XISTO INFERIOR.....	22
4.2.2. MAPA DE CONTORNO ESTRUTURAL DO TOPO DA CAMADA DE XISTO INTERMEDIÁRIA.....	22
5. DISCUSSÃO.....	23
6. CONCLUSÕES.....	26
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

## 1. INTRODUÇÃO

A presente monografia refere-se ao Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharel em Geologia junto a Universidade Federal do Paraná, realizado no ano de 2016. As atividades mineiras, com objetivo de explorar folhelhos pirobetuminosos na cidade de São Mateus do Sul, começaram na década de 70, primeiramente como uma usina piloto e a partir de 1991 como uma unidade industrial. A Unidade de Industrialização de Xisto (SIX) está atualmente extraindo minério da Mina Dois Irmãos, alvo desta monografia. O estudo foi baseado em informações estruturais de campo e de mapas de contorno estrutural, visando caracterizar as estruturas presentes e relacionando-as com a atividade tectônica que as geraram. O evento tectônico em si está relacionado com a reativação de falhas do embasamento da Bacia do Paraná, que gerou estruturas nas camadas sedimentares na bacia (Tankard *et al.*, 1996). Esse evento reativou a Falha da Lancinha e gerou estruturas na região da mina, com direções relacionadas às P, R, X e R', do modelo de Riedel.

### 1.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada no município de São Mateus do Sul, Paraná, aproximadamente 150km a oeste de Curitiba. A unidade de Superintendência de Industrialização do Xisto (SIX) está situada na Rodovia do Xisto, BR 476, km 153 (Figura 1). A mina é designada de Dois Irmãos e o acesso é controlado pela empresa. Trata-se de uma frente de exploração de folhelho betuminoso, uma alternativa à exploração convencional de petróleo.

### 1.2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal caracterizar as direções preferenciais das estruturas presentes na mina e relaciona-las com responsável pela geração da mina e a relação de reativação de estruturas do embasamento. Como objetivos secundários há a construção de dois mapas de contorno estrutural, sendo um deles do topo da camada de “xisto inferior” e outro do topo da camada de “xisto intermediária”. Também ocorreu a confecção de um mapa indicando as possíveis zonas de instabilidade da mina.

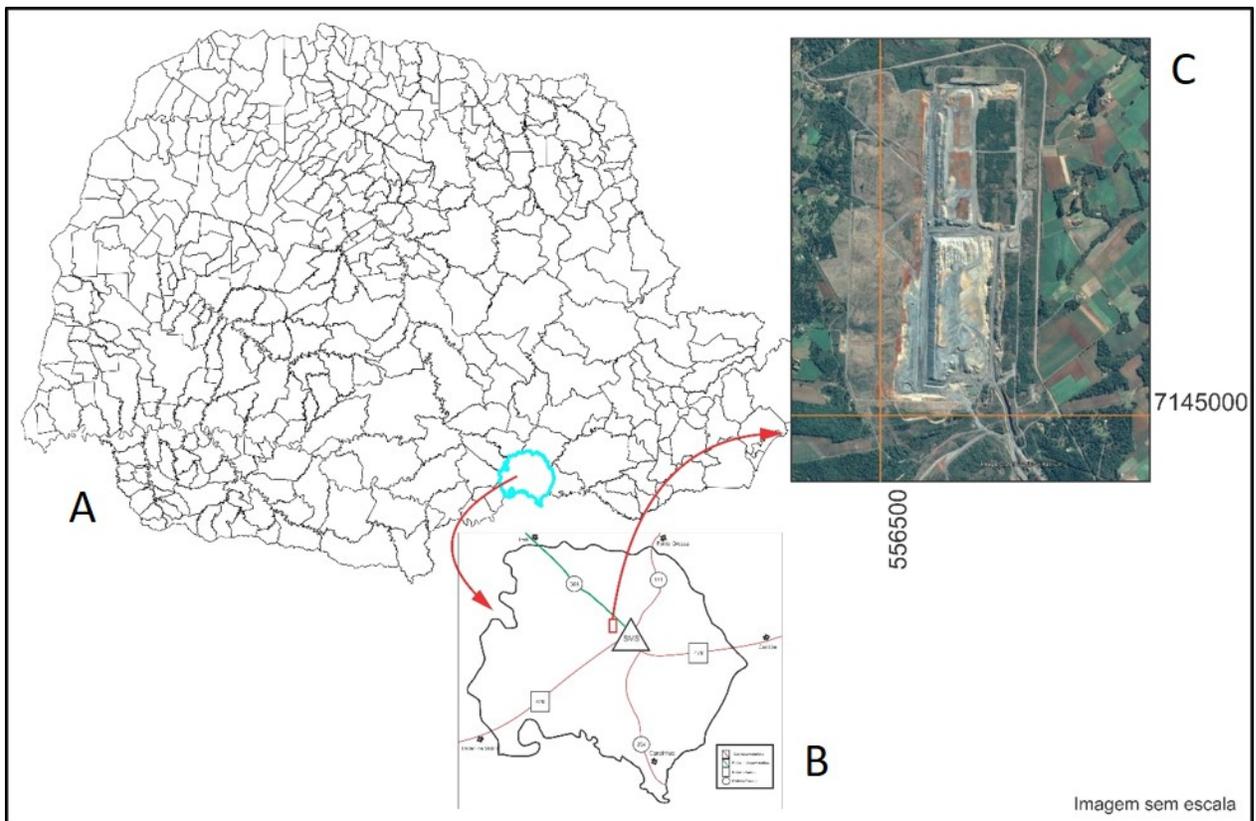


Figura 1. Mapa de localização da Mina Dois Irmãos com coordenadas. A) Mapa do Paraná sem escala. Fonte: ITCG, (2014); b) Município São Mateus do Sul sem escala. Fonte: São Mateus do Sul, (2015); c) Figura da Mina Dois Irmãos com aproximadamente 2,5 km na direção norte-sul e 1,5 km na direção leste-oeste. O pit da mina tem aproximadamente 200 metros de largura. Fonte: adaptado de Google Earth, (2016).

### 1.3. JUSTIFICATIVA

O trabalho visa ampliar o conhecimento sobre as estruturas tectônicas da Formação Irati na porção leste da Bacia do Paraná, mais precisamente na área da Mina Dois Irmãos. A interpretação da evolução tectônica da área e as relações com reativações de estruturas regionais do embasamento durante a evolução tectônica da Bacia do Paraná são importantes para entender o contexto tectônico e estrutural nos quais a região da mina está inserida. As estruturas relacionadas com essas reativações têm influência na distribuição da camada de folhelho com interesse econômico e no desmonte durante a fase de extração, assim como na estabilidade das frentes de lavra.

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado através de análises e interpretações de dados de sondagens, construção de mapas de contorno estruturais e atividades de campo. Bem como revisão bibliográfica para compreender as reativações de falhas do embasamento da Bacia do Paraná.

### 2.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Durante a realização deste trabalho foram feitas pesquisas bibliográficas, em uma primeira etapa, com o objetivo de entender a importância da Formação Irati, tanto econômica, quanto geológica. Foram usados, principalmente, os artigos de Milani *et al.* (2007) e Milani *et al.* (1998). A segunda etapa foi realizada com o intuito de compreender os reflexos das reativações das estruturas do embasamento nas rochas da Bacia do Paraná, principalmente com o foco na Falha da Lancinha e sua zona de interferência (*e.g.* Rostirolla *et al.*, 2000; Rostirolla *et al.*, 2003; Freitas *et al.*, 2006 e Castro *et al.*, 2014).

### 2.2. ANÁLISE ESTRUTURAL

Foram realizadas quatro etapas de campo de um dia durante o período do trabalho, visando a coleta de dados visando a descrição de estruturas rúpteis que ocorrem na mina. Os dados foram analisados em diagramas estruturais Schmidt-Lambert, pelo *software* Steronet 9.8.3, visando a interpretação estrutural e cinemática, quando possível.

### 2.3. MAPAS DE CONTORNO ESTRUTURAL

Foram confeccionados dois mapas de contorno estrutural do topo das camadas informalmente designadas de “xisto inferior” e “xisto intermediário”, com base em 120 dados de sondagens distribuídos em malha homogênea dentro da mina (Figura 2). Os dados foram cedidos pela empresa e estão em coordenadas UTM e datum SAD69. Foi usado o *software* Surfer 8.0 da *Golden Software INC.* Para a construção dos mapas foi usado o método da krigagem linear, que consiste num método geoestatístico de interpolação de dados.

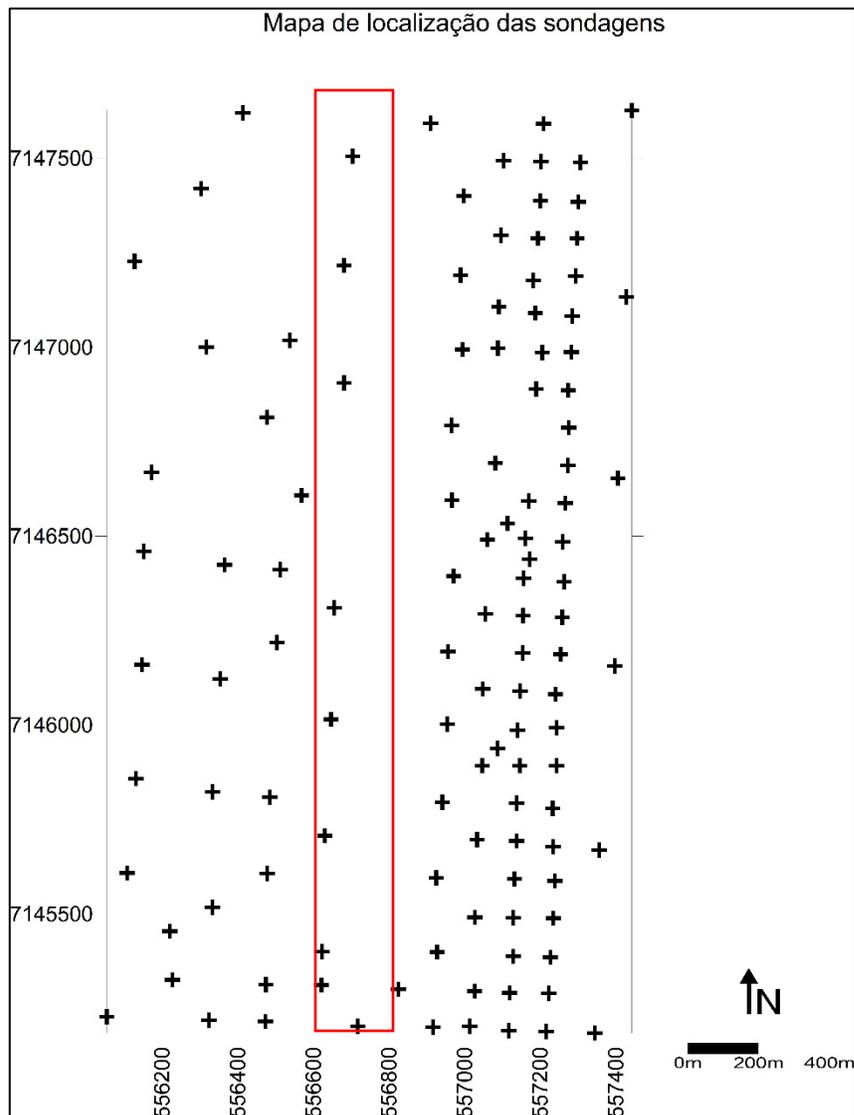


Figura 2. Mapa de localização das sondagens dentro da região da Mina Dois Irmãos. Em vermelho a aproximada posição atual do *pit* da mina.

### 3. GEOLOGIA REGIONAL

#### 3.1. BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná é uma grande área sedimentar com aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros quadrados. É constituída por um registro ígneo-sedimentar de cerca de 7000 metros de espessura nas suas partes mais profundas. A Bacia tem um formato elíptico na direção NE-SW, seu depocentro está localizado no eixo do Rio Paraná (Figura 3). Suas bordas são definidas por limites erosivos relacionados em grande parte à história geotectônica meso-cenozóica do continente (Milani *et al*, 2007).

A Bacia do Paraná, de acordo com os trabalhos de Milani *et al.* (1998) e Milani *et al.* (2007), é dividida em seis super sequências: Rio Ivaí; Paraná; Gondwana I; Gondwana II; Gondwana III e Bauru. A super sequência Gondwana I inclui os conjuntos litoestratigráficos que caracterizam individualmente o Grupo Itararé e Formação Aquiaúana, Grupo Guatá, Grupo Passa Dois e formações Pirambóia e Sanga do Cabral. Essas unidades posicionam-se temporalmente entre o Moscoviano (Neocarbonífero) e o Scythino (Eotriássico). Engloba o maior volume sedimentar da bacia, com uma espessura total máxima de 2500 metros e é muito estudada devido a existência de carvão e ocorrências de urânio na Formação Rio Bonito e potencial petrolífero, pela presença de rochas geradoras e reservatórios.

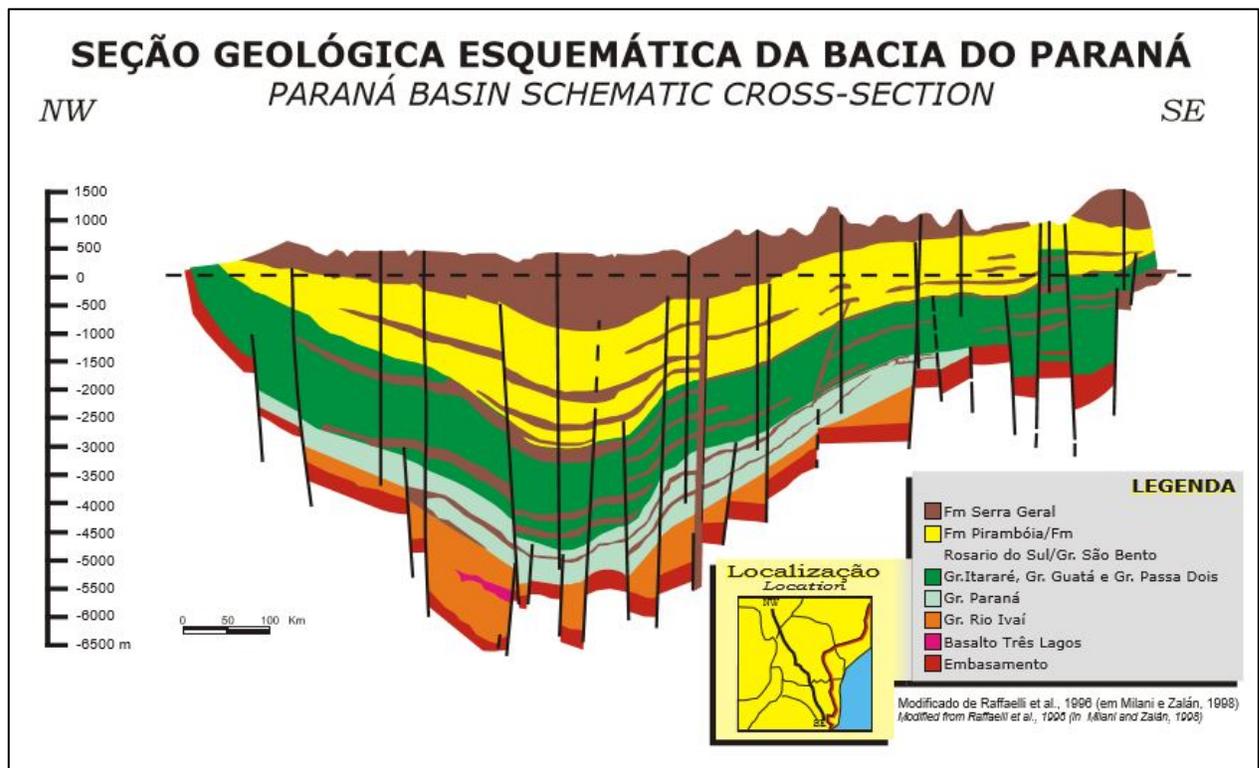


Figura 3. Seção geológica esquemática da Bacia do Paraná. Fonte: Milani & Zalán, 1998 – Modificado de Raffaelli et al., 1996.

### 3.2. FORMAÇÃO IRATI

A Formação Irati tem grande importância econômica, por ser uma das maiores reservas mundiais de folhelho betuminoso: 600 milhões de barris de óleo (Dyner, 2005).

Além da importância econômica, a Formação Irati é um marco cronoestratigráfico e paleoambiental da Bacia do Paraná, destacando-se pela presença de fósseis de mesossaurídeos (répteis aquáticos primitivos) que permitiram correlações estratigráficas com unidades do sul da África (Wegener, 1929). Segundo Lavina (1991), o paleoambiente para a época de deposição da Formação Irati era representado por um grande mar interior, que ocupava grandes porções do sul da América do Sul e da África. A Formação Irati corresponde a unidade basal do Grupo Passa Dois da Bacia do Paraná (Figura 4) e é dividida em dois membros: Taquaral (base) e Assistência (topo). É composta por uma sucessão de folhelhos pretos síltico argilosos e folhelhos pretos betuminosos, podendo apresentar nódulos de sílex e intercalações de rochas carbonáticas (Lages, 2004).

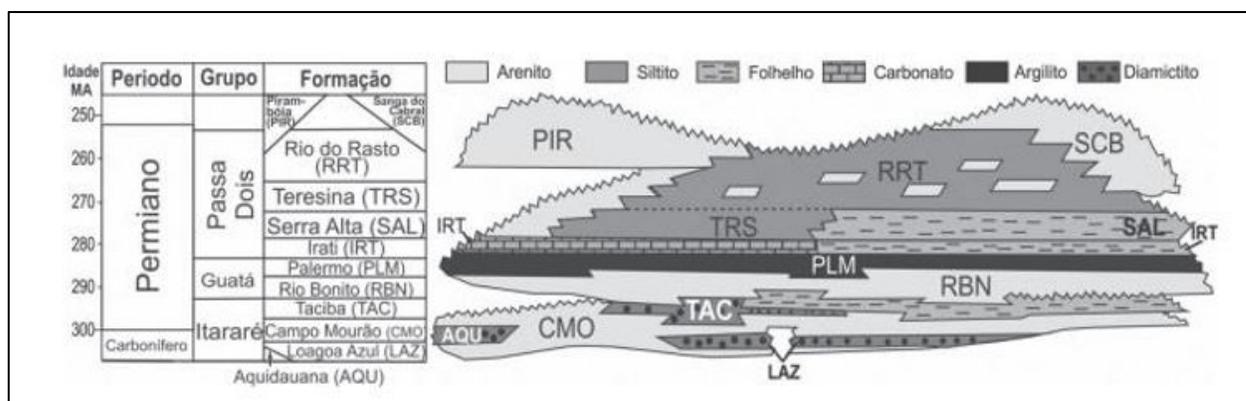


Figura 4. Carta estratigráfica da Super Sequência Carbonífera-Permiana da Bacia do Paraná. Fonte: Sowec et al., 2013 – Adaptado de Milani et al., 2007.

### 3.3. MINA DOIS IRMÃOS

A Mina Dois Irmãos pertence a empresa SIX-Petrobras, a qual visa obter produtos derivados de petróleo não-convencional, principalmente GLP, Nafta, óleo e gás combustíveis. A mina é dividida em 4 camadas, do topo para a base: capeamento, xisto superior, xisto intermediário e xisto inferior (Figura 5). É uma mina a céu aberto com cerca de 2,5 quilômetros de comprimento e 1,5 quilômetros de largura, seu *pit* tem cerca de 100 metros de largura, as camadas exploradas têm espessura, no geral, constante na área da mina. A unidade da Petrobras explora as camadas de “xisto superior” e “xisto inferior”, após a mineração há a blendagem e o transporte do material à retorta, esse é

onde ocorre a liberação do óleo e gás através do aumento da pressão e temperatura. Após o processo de mineração, começa a fase de recuperação ambiental.

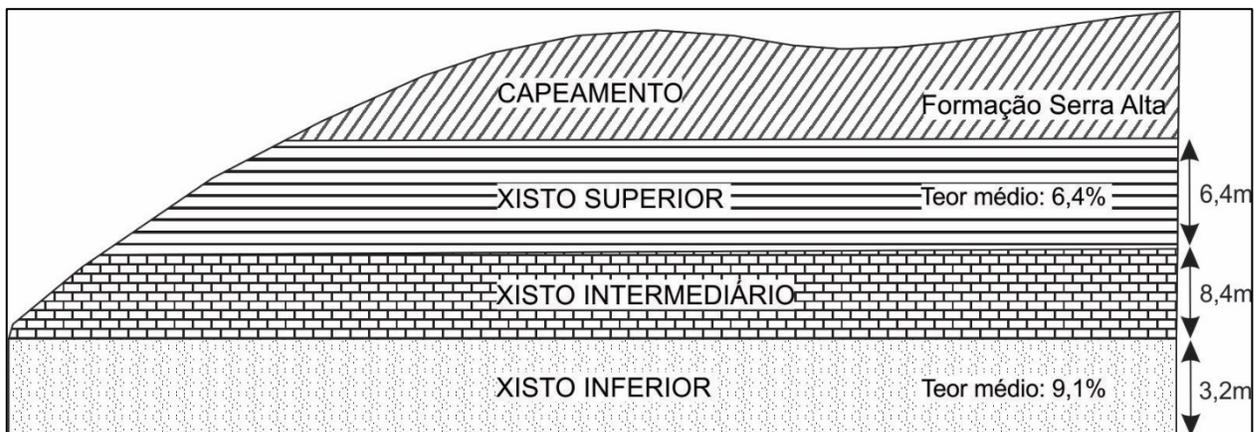


Figura 5. Seção esquemática da mina, com teor médio e espessura média. Fonte: Modificado de Bruni & Paluda, 1973.

### 3.4. REATIVAÇÕES DE FALHAS

As reativações de falhas são produtos do *stress* gerado numa placa continental, a reativação de uma falha dependerá da sua localização em relação a orientação com o campo de *stress* gerado e sua capacidade de acomodar o *strain* resultante. Se “corretamente” orientadas, as falhas são os planos de fraqueza que irão servir de planos preferenciais de reativação (White *et al.*, 1986).

Davis *et al.* (2000) sintetizou que zonas de cisalhamento “tipo Riedel” são interpretadas pela relação das rochas que estão acima da falha. Este modelo foi observado e interpretado por Cloos (1928) e Riedel (1929) e é chamado de modelo “bolo de argila”. O experimento relaciona um bloco na base (embasamento) com uma falha longitudinal (*Principal Displacement Zone* - PDZ) que é forçada a movimentar-se lateralmente. A camada acima dessa falha, representa uma cobertura sedimentar e é nela que as feições de Riedel ficam impressas (Figura 6). A evolução desta falha “PDZ” foi observada por Tchalenko (1970) que através de experimentos constatou que a evolução da falha, com base no seu deslocamento em resposta a um *strain*, tem três características. A primeira é um pico de máxima resistência ao cisalhamento, no qual as estruturas e conjugadas de Riedel são formadas. Um segundo estágio, pós-pico máximo,

que diminui a resistência ao cisalhamento e que forma a estrutura “P”, simétrica com o movimento da falha. Uma terceira fase, residual, que gera diversas falhas transcorrentes paralelas ao principal movimento da falha.

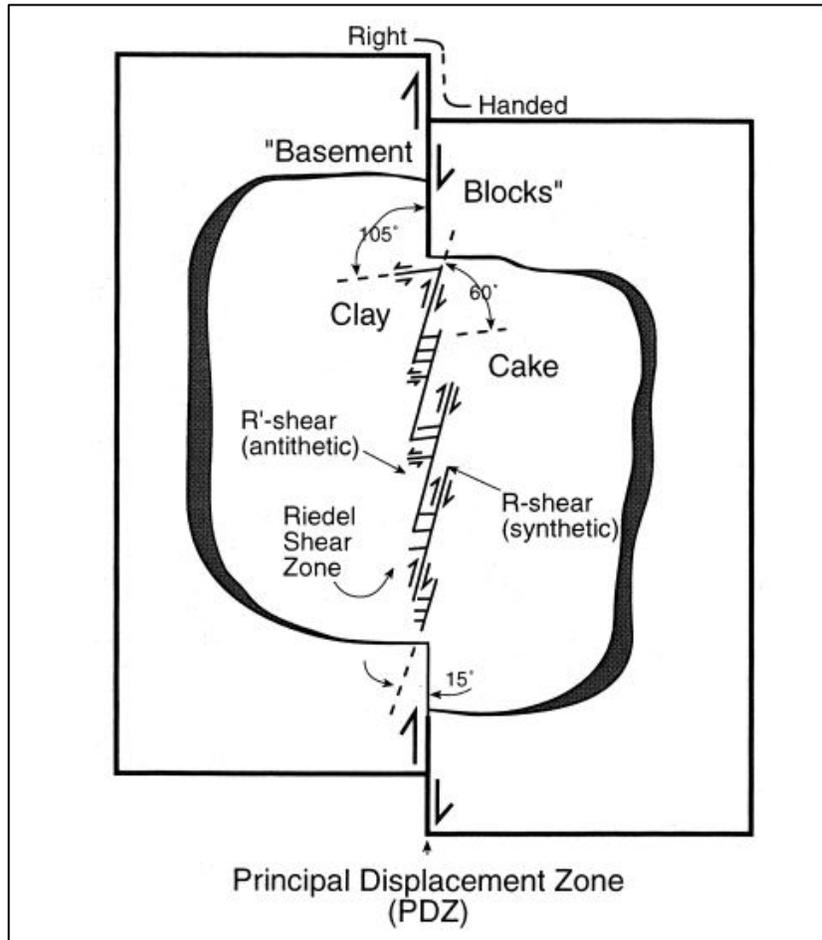


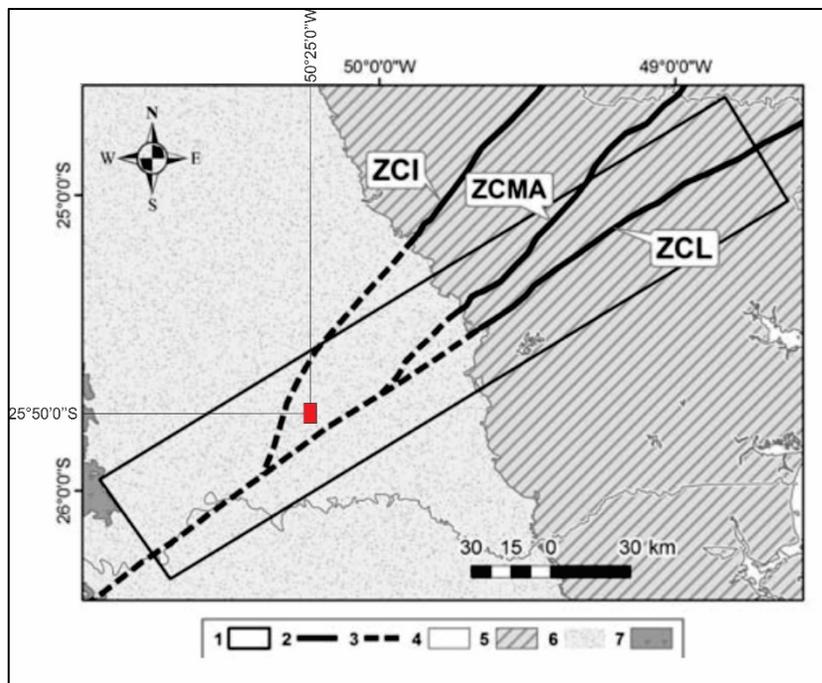
Figura 6. Modelo “bolo de argila” indicando as estruturas do tipo Riedel quando uma falha transcorrente (PDZ) movimenta-se dextralmente. Fonte: Davis et al., 2000

### 3.5. REATIVAÇÕES PERMO-TRIÁSSICO DE FALHAS NA BACIA DO PARANÁ

As reativações de falhas do embasamento da Bacia do Paraná foram citadas pelos autores Milani *et al.* (1997), Tankard *et al.* (1996) e Rostirolla *et al.* (2003). Os trabalhos ilustram a propagação de esforços de sul para norte relacionados com campos de tensões compressivas intraplaca, produto de reativações de antigas falhas do embasamento da Bacia do Paraná (Trzaskos *et al.*, 2006). Os esforços gerados durante o final do Permiano ocorreram devido a colisões no ciclo orogênico gondwânico, as

deformações ocorreram sob grau metamórfico muito baixo a não metamórfico. Suas principais estruturas são falhas de empurrão e falhas associadas ao redobramento da anticlinal *Cordillera del Viento* (Giacosa *et al.*, 2014). Exemplo relacionado este evento é a reativação sinistral da Zona de Falha Perimbó, Santa Catarina. Rostirolla *et al.* (2003) mostraram que os padrões estruturais presentes na zona de influência da zona de falha servem para compreender a tectônica deformadora.

A área de estudo da Mina Dois Irmãos está na zona de influência da Zona de Cisalhamento da Lancinha. Castro *et al.* (2014) discorreram sobre o prolongamento das zonas de cisalhamento Lancinha, Morro Agudo e Itapirapuã e comprovam que há continuação dessas falhas sob a cobertura sedimentar da bacia. Indicando que as estruturas do embasamento condicionam outras dentro da Bacia do Paraná (Figura 7).



*Figura 7.* Interpretação do prolongamento da ZCL e estruturas associadas sob a Bacia do Paraná. 1- Área de estudo de Castro *et al.*, 2014; 2- Zonas de Cisalhamento; 3- Prolongamento das zonas de cisalhamento; 4- Limites estaduais; 5- Embasamento; 6- Bacia do Paraná; 7- Formação Serra Geral. Em vermelho – área de estudo do presente trabalho. ZCL- Zona cisalhamento Lancinha; ZCMA- Zona cisalhamento Morro Agudo; ZCI- Zona cisalhamento Itapirapuã. Fonte: Modificado de Castro *et al.*, 2014.

## 4. RESULTADOS

A partir dos dados de superfície e das interpretações dos mapas de contorno estrutural, obtiveram-se os seguintes resultados.

### 4.1. DADOS DE SUPERFÍCIE

#### 4.1.1. DOBRAS

As dobras descritas em campo são estruturas de médio a grande porte, há estruturas com eixo de dobra variando de N30W a N40E, também há dobras com eixo praticamente N-S. A dobra com eixo N30W (Figura 8) é uma dobra-falha com carácter reverso, ocorre na camada de “xisto superior”.



Figura 8. Dobra-falha com carácter reverso. Eixo construído N30W, plano de falha N30W/50SW paralelo ao eixo da dobra. Coordenada 556735/7146400.

As dobras com eixo aproximado N-S também ocorrem na camada de “xisto superior”, a primeira (Figura 9) é uma sinclinal com eixo construído N05W e a segunda (Figura 10) é uma anticlinal com eixo construído N02E.



Figura 9. Dobra sinclinal com eixo construído N05W/85SW. Localizada na camada de “xisto superior”. Coordenada 556735/7146425.



Figura 10. Dobra anticlinal com eixo construído N02E/90. Localizada na camada de “xisto superior”. Coordenada 556735/7146430.

A última dobra descrita é a dobra com eixo construído N40E (Figura 11), é uma dobra fechada que ocorre na camada de “xisto intermediário”. Importante salientar que

esta estrutura ocorre apenas na camada de siltito, acima da dobra há uma fratura que ocorre na camada de folhelho.



Figura 11. Dobra fechada com eixo construído N40E/70SE. Coordenada 556718/7145307.

#### 4.1.2. FALHAS E FRATURAS

As falhas e fraturas presentes na mina compõem basicamente duas famílias de direções, a primeira tem direção aproximada N60W, a segunda N40E. O primeiro grupo contém uma falha com preenchimento de calcita com direção N60W/88SW e estria 120/01, indicando movimentação lateral (Figura 12). Também há uma fratura com direção N70W/85SW, que ocorre acima de uma dobra (Figura 11 e 13), mostrando a diferença reológica das rochas.

O segundo grupo, com direção N40E, engloba fraturas que fazem parte de um sistema de fraturas conjugadas. Esse sistema ocorre próximo do contato “xisto inferior – intermediário” (Figura 14) e também ocorre no chão de alguns locais da camada “xisto superior”. O ângulo entre as duas direções é de aproximadamente 65 graus.



Figura 12. Falha com preenchimento de calcita e óleo. Direção N60W/85SW e estria 120/01 indicando movimentação lateral. Coordenada 556733/7145254.



Figura 13. Fratura com direção N70W/85SW. Coordenada 556718/7145307.



Figura 14. Fraturas conjugadas localizadas próximas ao contato “xisto intermediário – xisto inferior”. Coordenada 556740/7145304.

#### 4.2. MAPAS DE CONTORNO ESTRUTURAL

Utilizando os dados de 120 sondagens (Figura 2) foram construídos dois mapas de contorno estrutural, o primeiro mapa a ser apresentado é o do topo da camada de xisto inferior. Essa camada é bem representativa, já que todas as 120 sondagens apresentam a cota deste estrato. Já o segundo mapa apresenta quase 300m a menos, pois, no eixo E-W está entre as coordenadas 556100 a 557100. Essa diferença ocorre porque nas sondagens cedidas pela empresa não há esses dados.

Os mapas usam dados que representam toda a região da mina, sendo assim, são muito importantes para ilustrar as principais direções das estruturas, já que a exposição delas na superfície é rara.

A interpretação levou em conta a proximidade das curvas, quanto maior o gradiente ou o desnível, maior a possibilidade de a área representar uma anomalia.

#### 4.2.1. MAPA DE CONTORNO ESTRUTURAL DO TOPO DA CAMADA DE XISTO INFERIOR

O mapa de contorno estrutural do topo da camada de xisto inferior apresenta cotas que variam de 792m a 838m em relação ao nível do mar. Apresenta duas famílias de lineamentos, a primeira e mais notável, é a que tem direção N30W. A segunda tem direção N60E e ocorre de forma mais localizada (Figura 15). Essa distribuição sugere que as N60E interceptam as N30W.

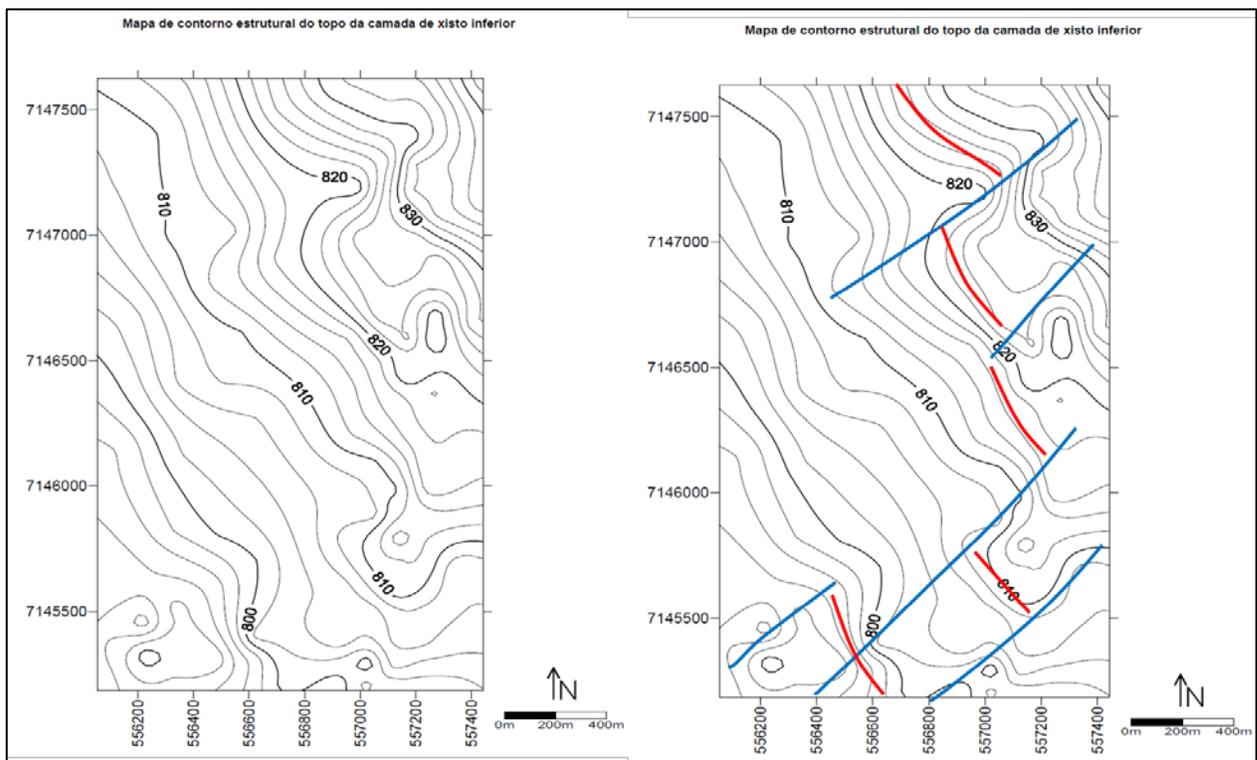


Figura 15. Mapa de contorno estrutural do topo do xisto inferior com interpretação. As linhas em vermelho representam os lineamentos N30W, as azuis representam lineamentos N60E.

#### 4.2.2. MAPA DE CONTORNO ESTRUTURAL DO TOPO DA CAMADA DE XISTO INTERMEDIÁRIA

O mapa de contorno estrutural do topo da camada de xisto intermediário apresenta cotas que variam de 800m a 838m em relação ao nível do mar. Apresenta duas famílias de lineamentos, assim como o mapa de contorno estrutural do topo da camada de xisto inferior, uma família N30W e a outra N60E (Figura 16). Notar que o mapa do topo do xisto intermediário apresenta menos dados, como já foi salientado anteriormente.

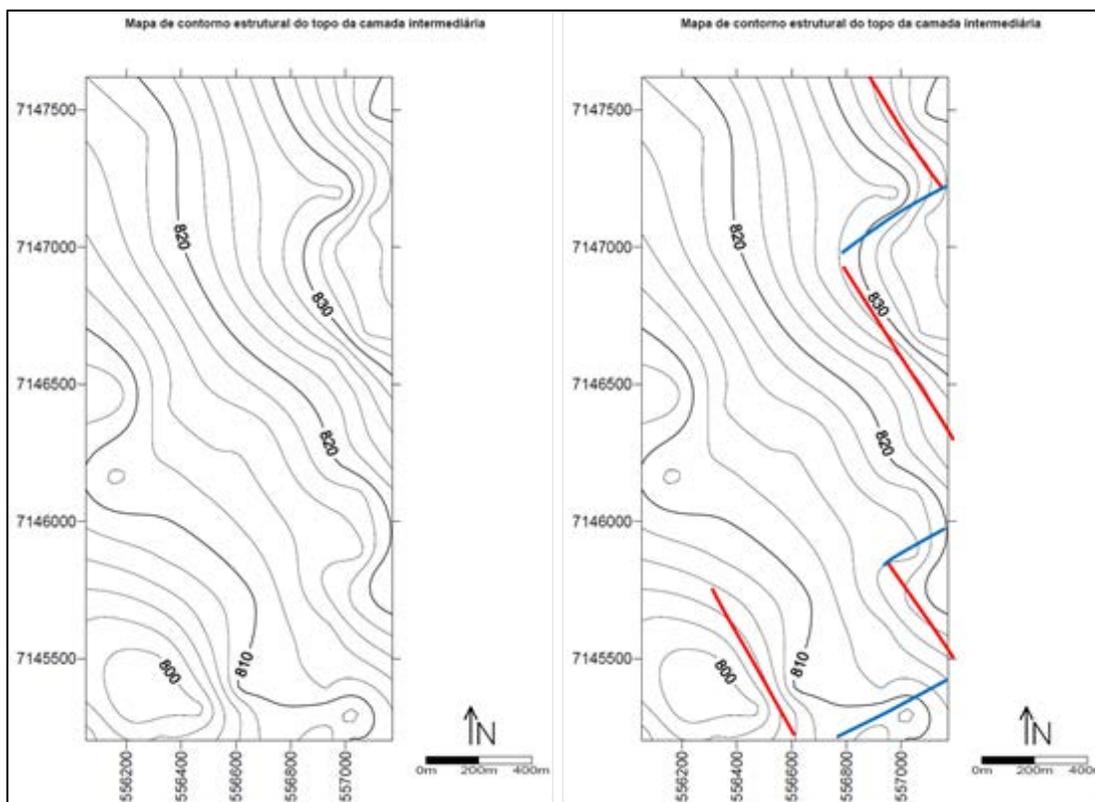


Figura 16. Mapa de contorno estrutural do topo da camada do xisto intermediário. As linhas em vermelho representam os lineamentos N30W, as azuis representam lineamentos N60E.

## 5. DISCUSSÃO

Com os dados de campo e os mapas de contorno estrutural é possível interpretar um arcabouço estrutural na Mina Dois Irmãos condicionado pela Zona de Falha da Lancinha e sua reativação ao final do Permiano, como registrado em outras feições semelhantes na Bacia do Paraná (e.g. Falha do Perimbó, Falha da Jacutinga) reflexo da tectônica colisional na borda do Gondwana durante a formação da Pangea (Tankard *et al*, 1996). Esta condicionante estrutural é marcada pela presença de falhas transcorrentes sinistrais de direção N60E, que atualmente ocorrem nas porções sul e nordeste do *pit* da Mina Dois Irmãos e por uma importante zona de dobra-falha de direção N30W. A primeira direção, N60E, é reflexo direto da Zona de Falha da Lancinha e suas falhas acessórias, conhecidas como sintéticas pelo Modelo no Riedel (P e R) (Figura 17). A segunda direção, N30W, provavelmente representa as estruturas conhecidas como antitéticas deste modelo (X e R') (Figura 17) e são representadas pelas principais estruturas em campo, as dobras e dobras-falhas (Figuras 8, 9, 10 e 12).

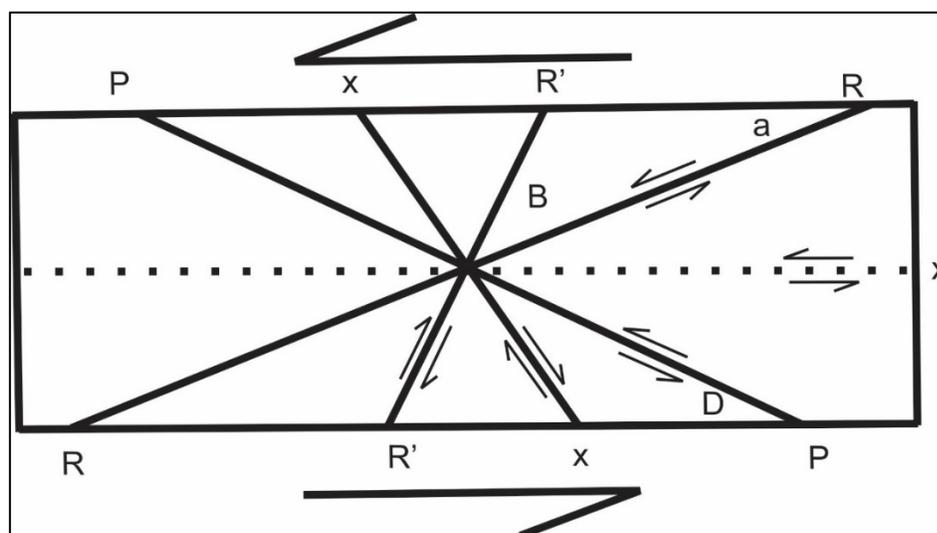


Figura 17. Modelo de Riedel com movimento sinistral.

A partir da interpretação dos mapas de contorno estrutural foram obtidos os lineamentos N30W e N60E que corroboram os dados de campo e com os da literatura. Uma feição observada nos mapas é a suavidade das curvas de contorno estrutural. No mapa do topo do xisto intermediário as curvas são mais suaves do que as do topo do xisto inferior, o que corrobora com o fato desta camada ter uma característica mais dúctil, provavelmente pela maior presença de argilo-minerais e intercalações de carbonatos dolomíticos e folhelhos, que impõem plasticidade as camadas (Figura 11). Já o mapa do xisto inferior tem curvas de contorno estrutural com quebras mais abruptas, ou seja, as estruturas são mais bem marcadas, mostrando um caráter mais rúptil, devido à presença de folhelhos com mais silte e níveis arenosos intercalados (Figura 18).

Outra informação importante é o provável sentido do paleo sigma-1. A partir da bibliografia (e.g. Trzaskos *et al.*, 2006 e Rostirolla *et al.*, 2003) e do sistema de fraturas conjugas na mina (Figura 14), é possível afirmar que o sigma-1 que ativou o sistema de falhas em resposta à reativação da Falha da Lancinha teve direção aproximada Norte-Sul. Outra informação que corrobora com esta afirmação pode ser obtida através do sistema de Riedel (Figura 19) que mostra que, quando orientando a zona de cisalhamento principal com a Zona de Falha da Lancinha é possível aproximar o sigma-1 e a direção das estruturas da mina, lembrando-se que a direção eixo das dobras podem variar cerca de 30° em relação ao sigma-1.

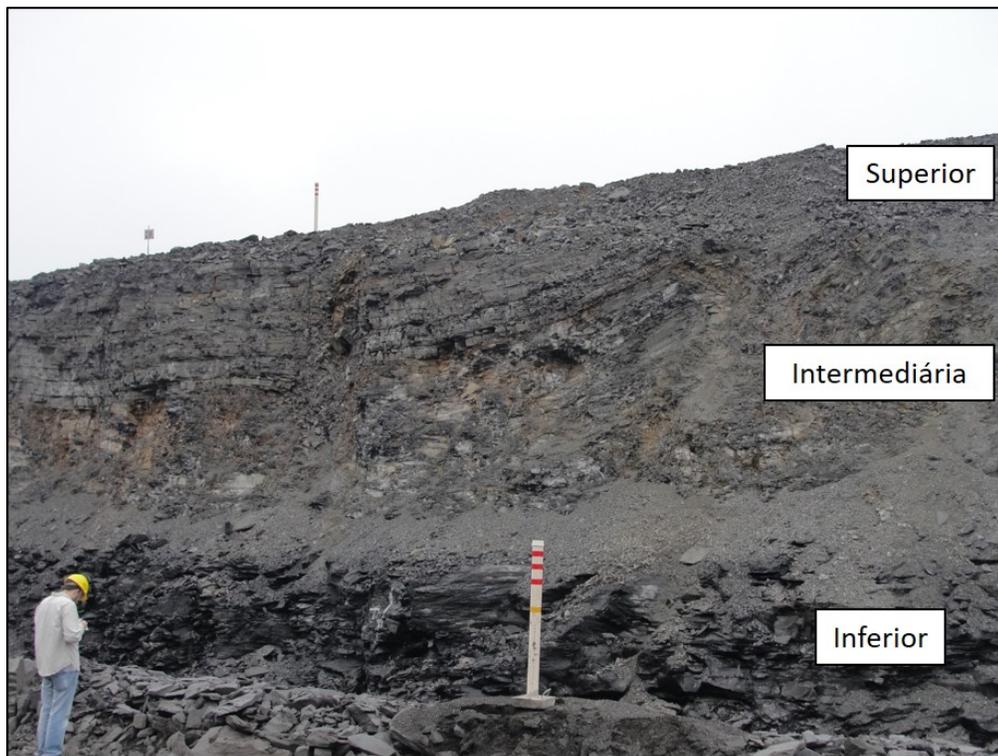


Figura 18. Foto ilustrando os níveis da mina.

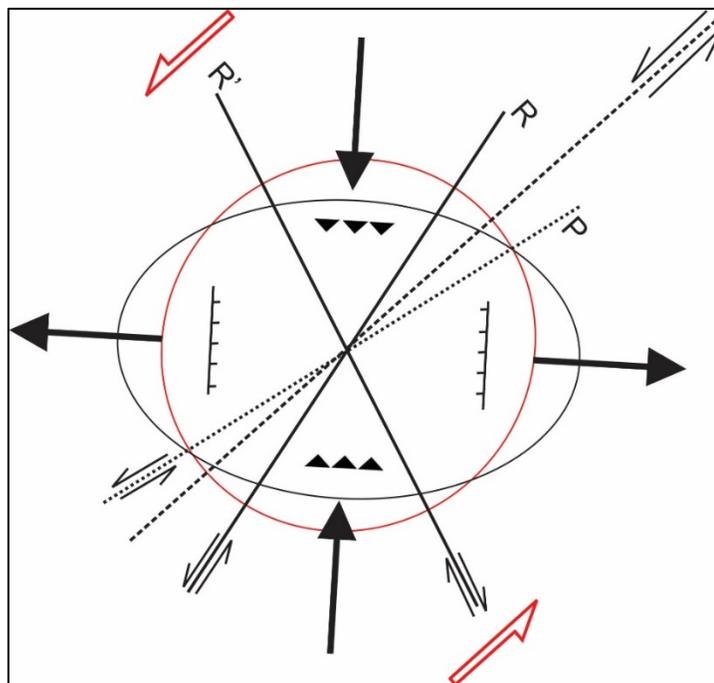


Figura 19. Diagrama de Riedel com movimentação sinistral mostrando vetores de compressão e relaxamento.

Uma das aplicações práticas para dia-a-dia da mina é a localização de possíveis áreas de risco para a mineração em relação à estabilidade de taludes. Essas áreas são representadas por regiões onde ocorre o encontro de lineamentos N30W e N60E pois a maior presença de fraturamento e falhamento pode possibilitar a maior infiltração de água pluvial. O mapa (Figura 20) a seguir mostra essas possíveis áreas de instabilidade. Outra aplicação é visando o futuro exploratório da mina, que pode ser feito com novos mapas de contorno estrutural do topo das camadas do folhelho inferior que podem ser somadas as sondagens já realizadas anteriormente pela empresa. Somado a estas duas possibilidades, também pode haver diferença na determinação dos fatores para desmonte de rocha, já que há maior presença de fraturamento nas regiões nas quais há presença de estruturas.

## 6. CONCLUSÕES

- O presente trabalho está de acordo com a tectônica regional proposta pela literatura (e.g. Trzaskos *et al.*, 2006, Rostirolla *et al.*, 2003, Rostirolla *et al.*, 2000, Tankard *et al.*, 1996 e Freitas *et al.*, 2006).
- A direção da paleo-compressão ( $\sigma_1$ ), obtida através das análises e interpretações dos dados contidos nesse trabalho, é aproximadamente Norte-Sul. Corroborando com os dados da literatura.
- A reativação da Falha da Lancinha, devido a orogenia São Rafaélica, foi a fonte que deformou as rochas presentes na mina durante o final do Permiano. A reativação causou estruturas N60E, sintéticas P e R, assim como estruturas N30W, antitéticas X e R', ambas baseadas nos modelos de Riedel.
- As possíveis áreas de risco, em relação à estabilidade de talude, são áreas onde há o encontro das estruturas N60E e N30W.
- Para uma nova área a ser explorada pela PETROBRAS, é indispensável a construção de novos mapas de contorno estrutural, para que haja uma previsão das direções das estruturas que serão encontradas na mina.

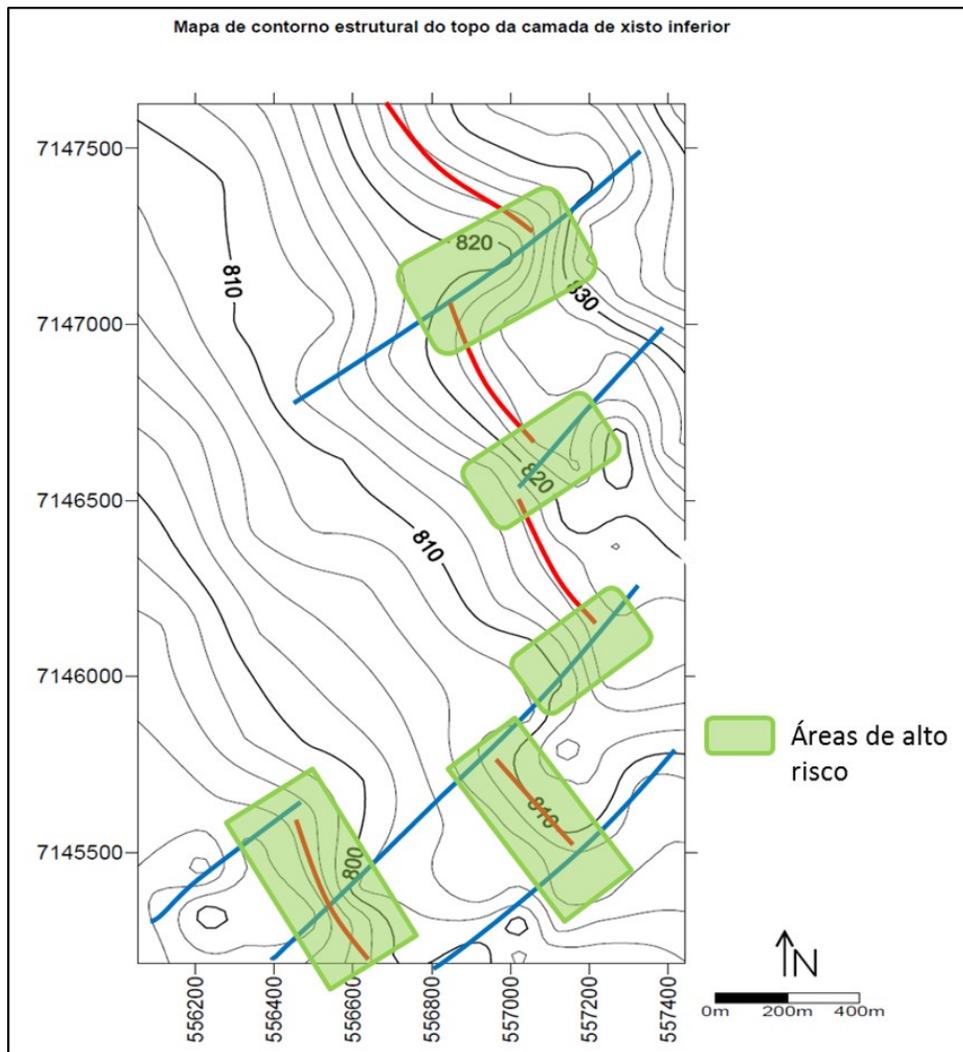


Figura 20. Mapa de contorno estrutural do topo da camada do xisto inferior com áreas de risco.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bruni C. E., Paluda V. T. 1973. O interesse mundial na exploração do xisto e o esforço brasileiro para sua industrialização. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. 103-119.

Castro L.G., Ferreira F.J.F., Cury L.F., Soares P.C., Lopes A.P., Oliveira M.J. 2014. Interpretação qualitativa e semiquantitativa dos dados aeromagnéticos sobre a Zona de Cisalhamento Lancinha, porção meridional do Cinturão Ribeirano estado do Paraná, sul do Brasil. Revista Geociências USP Série Científica. 14(4):3-18.

Charrier R., Ramos V. A., Tapia F., Sagripanti L. 2014. Tectono-Stratigraphic evolution of the Andean Orogen between 31 and 37S (Chile and Western Argentina). The Royal Society, London. 399:1-50.

Cloos H. 1928. Experimenten zur inneren Tektonik. Centralblatt fur Mineralogie and Paleontologie. 1928B, 609.

Davis G. H., Bump A. P., García P. E., Ahlgren S. G. 2000. Conjugate Riedel deformation band shear zones. Journal of Structural Geology. 22:169-190.

Dyni, J.R. 2006. Geology and resources of some world oil-shale deposits. USGS Scientific Investigations Report. 2005–5294:1-42.

Freitas R. C., Rostirolla S. P., Ferreira F. J. F. 2006. Geoprocessamento multitemático e análise estrutural no Sistema Petrolífero Irati – Rio Bonito, Bacia do Paraná. Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro. 14:71-93.

Giacosa R., Allard J., Foix N., Heredia N. 2014. Stratigraphy, structure and geodynamic evolution of the Paleozoic rocks in the Cordillera del Viento (37S latitude, Andes of Neuquén, Argentina). Journal of Iberian Geology. 40:331-348.

Google Earth. Google Earth for Windows 7 version 7.5.1.1557. 2015.

ITCG, (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências). Divisão político-administrativa do Paraná.

Lages L.C. 2004. A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro. 122pp.

Lavina, E. L. 1991. Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná. Dissertação de doutorado – Programa de pós-graduação em geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 333pp.

Milani E. J., Faccini U. F., Scherer C. M., Araújo L. M., Cupertino J. A. 1998. Sequências e hierarquia estratigráfica da bacia do Paraná (Ordoviciano ao Cretáceo), sul do Brasil. Boletim IG-USP, Série Científica. 29:125-173.

Milani E. J., Melo J. H. G., Souza P. A., Fernandes L. A., França A. B. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro. 15-2:265-287.

Milani E. J., Zalán P. V. 1998. Brazilian Geology part 1: The Geology of Paleozoic Cratonic Basins and Mesozoic Interior Rifts of Brazil. AAPG International conference and exhibition, Rio de Janeiro, short course notes.

Riedel W. 1929. Zur mechanik geologischer brucherscheinungen. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie. 1929B, 354.

Rostirolla S. P., Assine M. L., Fernandes L. A., Artur P. C. 2000. Reativações de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná – o exemplo do Alto Estrutural de Quatiguá. Revista Brasileira de Geociências. 30(4):639-648.

Rostirolla S. P., Mancini F., Rigoti A., Kraft R. P. 2003. Structural styles of the intracratonic reactivation of the Perimbó fault zone, Paraná Basin. Journal of South American Earth Sciences. 16:287-300

São Mateus do Sul. Mapa de localização de São Mateus do Sul. Disponível em: <<http://www.saomateusdosul.com/cidade/localizacao.php>> Acesso em: 14/06/2015.

Sowec G. A., Ferreira F. J. F., Vesely F. F., Berton F. 2013. Assinatura gamaespectométrica de depósitos fluviais: estudo de caso na Formação Rio do Rasto, Permiano Superior da Bacia do Paraná. *Geologia USP, Série Científica*, São Paulo, 13(2):83-98.

Tankard A. J., Uliana M. A., Welsink H. J., Ramos V. A., Turic M., França A. B., Milani E. J., Brito Neves B. B., Eyles N., Santa Ana H., Wiens E., Cirbian M., López Paulsen O., Germs G. J. B., De Wit M. J., Machacha T; Miller R. M. 1996. Tectonic controls of basin evolution in southwestern Gondwana. *AAPG Memoir*. 62:5-52.

Tchalenko J. S. 1970. Similarities between Shear zones of Different Magnitudes. *Imperial College of Science and Technology, London*, 81:1625-1640.

Trzaskos B., Vesely F. F., Rostirolla S. P. 2006. Eventos Tectônicos recorrentes impressos no arcabouço estratigráfico do Grupo Itararé na região de Vila Velha, Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*. 58:89-104.

Wegener, A. 1929. *The Origin of Continents and Oceans*. Tradução John Biram. 4. ed. Dover Publication.

White S. H., Bretan P. G., Rutter E. H. 1986. Fault-zone reactivation: kinematics and mechanisms. *The Royal Society, London*, 317:81-97.