

Quando fazemos uso da espectroscopia (LWD ou *wireline*) na maioria das rochas carbonáticas ao redor do mundo que são rochas-reservatório, com presença do elemento magnésio (Mg) em sua estrutura, sempre este elemento está associado à presença de Dolomita.

No entanto, no pré-sal devido à possível presença da Estevensita, mineral também rico em magnésio, esta associação não pode ser feita à Dolomita diretamente através somente das medições de espectroscopia induzida.

A metodologia desenvolvida neste trabalho de doutorado tem por objetivo resolver o problema da complexa litologia do pré-sal através da utilização de registros elétricos, para capacitar o intérprete na determinação de complexas litologias (Dolomita, Calcita, Estevensita) possibilitando principalmente a diferenciação entre Dolomita e Estevensita. Atualmente, não há forma de fazer esta diferenciação através dos registros elétricos, devido ao fato de ambos minerais terem alto conteúdo de magnésio.

A espectroscopia induzida, como mencionado anteriormente, tem aplicação prática de derivar litologia por meio de registros elétricos. Esta medição tem a vantagem de prover uma litologia completa e contínua em todo o poço sem a necessidade de testemunhagem de poço, seja o testemunho de poço contínuo, chamado em inglês de *core barrel* ou através das amostras de parede, em inglês *core plugs*. A seguir detalharemos cinco métodos de determinação litológica, sendo três definidos por análise de rochas em laboratório e dois através dos registros elétricos.

2.5.1 Testemunho de poço

Os testemunhos de poço são a forma mais efetiva e precisa de entendimento litológico de determinada seção do poço. No entanto, observamos algumas desvantagens com esta técnica. Os testemunhos são tomados em pequenos intervalos ao longo do poço (algumas dezenas de metros apenas), são operações normalmente lentas, os custos das operações em si são altos, além dos custos da sonda associados à lenta operação de testemunhagem e dificilmente estas operações são feitas em todos os poços, dificultando o entendimento da litologia com mais detalhes de uma maneira global no campo em exploração. Outro inconveniente, quando se fala em rochas do pré-sal, ou até mesmo dos carbonatos em geral, é

de que estas rochas são altamente heterogêneas o que torna praticamente impossível derivar propriedades de rocha para o poço inteiro com apenas dezenas de metros de seções de testemunho.

Estas considerações ilustram a importância de uma metodologia para derivar a litologia no pré-sal brasileiro de forma contínua através dos registros elétricos.

2.5.2 Amostras de parede

As amostras de parede feitas com ferramentas de registros elétricos (a cabo ou em inglês *wireline*) podem ser uma opção para obter uma estatística melhor da litologia da formação em diversas seções do reservatório. As desvantagens neste caso ocorrem devido ao fato de serem testemunhos de tamanho reduzido (duas polegadas de comprimento por uma polegada de diâmetro), as vezes menores devido às condições operacionais e do tipo de formação amostrada. Pode haver contaminação das amostras com o fluido do poço (lama). Devido ao reduzido tamanho das amostras, nem todas as medições podem ser feitas posteriormente no laboratório.

2.5.3 Análise de calha

Uma outra maneira de determinar litologia sem a utilização de registros elétricos é a técnica de análise de calha. A medida em que o poço é perfurado, os cortes da rocha são carregados do fundo até a superfície pelo fluido de perfuração (lama) até a calha de separação, em inglês *shale shakers*, para fazer a separação dos sólidos (cortes da rocha) e fase líquida (lama). Estes cortes das rochas são analisados por geólogos no poço a fim de entender a litologia das rochas que estão sendo perfuradas. Alguns inconvenientes desta técnica são de que os cortes são misturados à medida que sobem à superfície, carregados pela lama de perfuração, e se torna difícil ter uma precisão quanto aos cortes (em inglês denominado *cuttings*) obtidos e suas respectivas profundidades onde estes cortes foram gerados, assim

como, a informação volumétrica destes cortes passa a não ser tão precisa e portanto esta técnica provê informação muito mais qualitativa do que quantitativa, com respeito às porcentagens em volume de cada rocha.

2.5.4 Análise de registros elétricos

No passado, anterior a 1981; a litologia era derivada através de registros elétricos usando especialmente uma curva chamada de efeito fotoelétrico (PEF; “Photo Electric Factor”), conjuntamente com todos os outros registros que apresentassem alguma sensibilidade às rochas, essencialmente as curvas com informação de densidade. Esta metodologia é usada ainda hoje em poços que não têm dados de espectroscopia induzida disponíveis, mas certamente não deve ser o método preferido escolhido especialmente para poços exploratórios. Alguns inconvenientes com o uso desta técnica são:

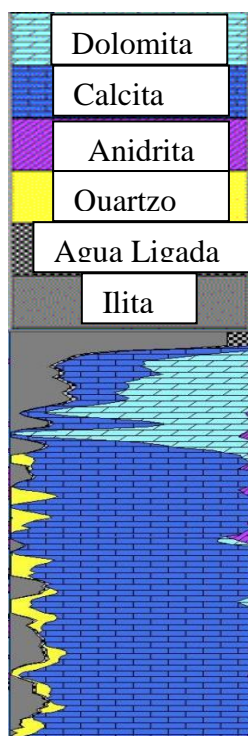
- a) As medições de PEF e outras não respondem somente aos efeitos da litologia;
- b) A resposta do PEF fica comprometida quando há barita na lama;
- c) Para litologias complexas como é o caso do pré-sal, PEF e outros registros elétricos não são suficientes para inequivocamente derivar as corretas quantidades de cada mineral presente na formação.

2.5.5 Análise de Registros Elétricos com Espectroscopia Induzida

A metodologia de espectroscopia induzida tem sido usada ao redor do mundo com grande sucesso para determinação de várias litologias com a utilização dos registros a cabo (“wireline”), especialmente a partir de 1996 quando a ferramenta ECS (Schlumberger trademark) entrou ao mercado. Em 2005 a ferramenta EcoScope (Schlumberger trademark) tornou disponível a medição de espectroscopia induzida também enquanto se perfura (LWD).

A cadeia completa de medições, desde a medida mais elementar (*Yields*) até as medidas dos pesos secos dos elementos e suas rochas respectivas é utilizada em todo o mundo para rochas siliciclásticas e carbonatos. A figura 15 mostra a visualização da metodologia em sua etapa final com as diversas rochas presentes na formação. Nesta figura, a Calcita (CaCO_3); Dolomita ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) e Anidrita (CaSO_4) aparecem como os principais grupos de rochas conjuntamente com os minerais aluminossilicatos. Uma vez que a espectroscopia induzida responde diretamente à composição mineral, a mesma é uma metodologia muito precisa de determinação de litologia que não se compara com nenhum outro método com exceção do testemunho contínuo de poço .

Figura 15 – Litologias (Carbonatos)



Fonte: GRIFFITHS, 2010

Dentre os cinco métodos descritos para obter litologias para a indústria do petróleo, destacamos a seguinte ordem de importância:

- a) Espectroscopia induzida;
 - Intervalo completo e contínuo;
 - Registros a cabo ou em LWD;
 - Alta precisão;
 - Quantitativo;
- b) Testemunho de Poço;

- Intervalo limitado;
 - Alto custo;
 - Não é feito em todos os poços;
 - Alta precisão;
 - Quantitativo;
 - Permite estudo laboratorial;
- c) Amostras de Parede;
- Amostras de tamanho reduzido;
 - Possível contaminação com lama;
 - Melhor estatística, pois é obtida em várias seções do poço e em vários poços;
 - Preciso;
 - Quantitativo;
 - Permite estudo laboratorial;
- d) PEF e combinações de outros Registros Elétricos;
- Não respondem diretamente à litologia;
 - Presença de barita na lama pode comprometer leituras;
 - Pode ser utilizado em litologias simples como areias;
 - Não recomendado para litologias complexas como primeira opção;
- e) Amostra de Calha;
- Qualitativo;
 - Difícil controle da profundidade;
 - Pouco estudo laboratorial pode ser feito devido aos tamanhos reduzidos das amostras e contaminação.

A ordem acima descrita poderia ser alterada dependendo da aplicação que se deseje. A mesma atende aos seguintes critérios:

- a) Obtenção da maior quantidade de dados quantitativos e mantendo uma alta confiabilidade destes dados;
- b) A praticidade na obtenção dos dados numa campanha exploratória.

A testemunhagem de poço é muito importante para correlacionar com dados de registros elétricos de poço, especialmente com a informação litológica proveniente da espectroscopia induzida; e também para possibilitar análises laboratoriais em escalas que não são possíveis com as informações dos registros elétricos. Em Capítulos posteriores se discutirá em mais detalhe estas técnicas e análises de laboratório empregadas neste trabalho .

2.6 Teoria da espectroscopia induzida

Documentos originais e precursores com respeito às medições de espectroscopia induzida serão comentados em detalhe nesta seção, são eles os trabalhos de Flaum e Prie (1981)¹¹ e Grau et al (1989)¹². O modelo original foi desenvolvido e destinado para sedimentos clásticos e também faz utilização das medições de espectroscopia natural (Th, U, K) e medições tardias de ativação. A física nuclear e os dados geoquímicos são necessários para a análise do espectro de captura, para a determinação da concentração de alumínio e para a determinação das constantes necessárias para determinar elementos que não podem ser medidos. O documento original também discute a espectroscopia natural, ou seja, as medições de energias naturais de raios gama que ocorrem provenientes do tório, urânio e potássio.

A discussão será direcionada para as medições usando espectroscopia induzida, onde a formação é bombardeada com nêutrons e os elementos da formação respondem a este bombardeio de nêutrons. Os elementos medidos foram: silício, cálcio, ferro, enxofre, titânio, gadolínio e alumínio. Esta combinação de elementos se mostrou importante para fornecer informações valiosas sobre a natureza da matriz da rocha (litologia), que anteriormente só poderia ser obtida através da análise direta de testemunho. Hoje em dia, outros elementos são medidos incluindo um de bastante importância que é o magnésio. Na experiência descrita no trabalho de Grau et al (1989), três espectrômetros de raios gama foram utilizados; um para medir os raios gama naturais (tório, urânio, potássio); chamado espectroscopia natural, outro espectrômetro para medir a atividade retardada induzida por captura de neutrões térmicos para determinar as concentrações de alumínio e o terceiro espectrômetro para fazer medições de raios gama emitidos (em inglês podemos nos referir como *Prompt Gamma Rays*) após captura térmica dos nêutrons para a determinação de: silício, cálcio, ferro, enxofre, gadolínio e titânio (espectroscopia induzida). O modelo é chamado modelo de óxido-fechado (*Oxide Closure Model*) e será detalhado em seguida. O mesmo é destinado para uso em sedimentos clásticos e é uma combinação de representações de óxidos e carbonatos, que relaciona as concentrações dos elementos não medidos com a concentração dos elementos medidos. Apenas os elementos que estão contidos na matriz da rocha são incluídos na análise, excluindo aqueles que podem

¹¹ FLAUM, C.; PIRIE, G. Determination of Lithology from Induced Gamma-Ray Spectroscopy. In: SPWLA ANNUAL LOGGING SYMPOSIUM, 22., 1981, México. *Presented...* México: SPWLA, 1981. p. 23-26.

¹² GRAU, J.A. et al. A Geological Model for Gamma-Ray Spectroscopy Logging measurements. *Nuclear Geophysics*, v. 3, n. 4, p. 351-359, 1989.

estar presentes nos fluidos contidos nos poros da rocha e excluindo aqueles elementos que possam estar presentes na lama (fluido do poço). O modelo é mais aplicável para condições de poço aberto, onde não há nenhuma necessidade de lidar com ferro extra, cálcio e silício, que seriam provenientes do revestimento e da cimentação. Sendo este, uma relação de fechamento simples podendo ser expresso matematicamente pela fórmula (3):

$$F \left\{ \sum_i X_i \frac{Y_i}{S_i} \right\} + X_K W_K + X_{Al} W_{Al} = 1, \dots\dots\dots(3)$$

Em que;

F= Fator de calibração para ser determinado em cada profundidade a partir da equação acima;

Y_i= Fração das medidas de raios gama “prompt” (“prompt gamma-rays”) que são atribuídas ao elemento i;

S_i= Sensibilidade da detecção da fração de peso relativo para o elemento i;

X_i= Relação entre o peso do óxido associado ou carbonato para o peso do elemento i;

W_{Al}= Fração do peso de alumínio determinada a partir da medição de ativação;

W_k= Fração do peso de potássio determinado a partir da atividade natural;

As sensibilidades, S_i, são medidas em laboratório e contêm a maioria da teoria de física nuclear envolvida na relação entre os *Yields* de raios gama, Y_i, que são as respectivas concentrações elementares. Os *yields* são determinados usando o ajuste de mínimos quadrados (em inglês, *least-squares fit*) do espectro medido com espectros padrão elementares. Assim, se nós de fato estamos medindo os elementos necessários para descrever 100% dos minerais da rocha, então a única variável desconhecida, F, pode ser determinada trivialmente da equação acima.

2.6.1 Análise crítica do processo de utilização da espectroscopia induzida

Esta análise crítica será dividida em três partes relacionadas aos projetos de ferramentas de espectroscopia induzida, manipulação dos dados (realizada com a utilização de um software) e o ambiente onde ocorre a medição.

2.6.1.1 Desenho das ferramentas de espectroscopia induzida

Existem duas possibilidades para a produção de nêutrons para bombardear a formação; uma é usando fontes químicas e a outra é usando uma fonte eletrônica (denominada minitron); também chamado em inglês de PNG (*Pulsed Neutron Generator*). O uso de fontes químicas tem a desvantagem de:

- a) Segurança (caso a ferramenta fique presa dentro do poço);
- b) Mais fraca que o minitron (“PNG; Pulsed Neutron Generator”);
- c) Não tem a possibilidade de ligar e desligar o fluxo de nêutrons;
- d) Não tem um fluxo constante de nêutrons.

O projeto da ferramenta preferencial é usar um minitron como fonte de nêutrons.

2.6.1.2 Manipulação dos dados de espectroscopia induzida (com a utilização de software)

Como mencionado anteriormente, existe uma técnica para trazer as medições de “Yields” para elementos chamada de fechamento dos óxidos (*Oxides-closure Model*). O modelo de fechamento de óxidos como indicado é um modelo com suas próprias limitações (Grau et al, 1989):

Por outro lado, não há nenhuma ferramenta que possa medir todos os componentes na formação, assim uma decisão tem que ser tomada para decidir por quais elementos há a necessidade de decompor o espectro (“spectral stripping”) recebido no detector de raios gama da ferramenta. Alguns elementos minoritários serão incorporados aos mais abundantes para fazer a soma dos “Yields” igual a 100% da formação.

Existe uma limitação também ao trazer os elementos na formação e convertê-los em minerais, para isso se utiliza um banco de dados obtido em formações encontradas em todo o mundo para este propósito, como destacado por Grau et al (1989) e Flaum e Pirie (1981) em seus trabalhos.

No estudo em particular do pré-sal, pode-se antecipar e entender que o banco de dados mundial não é suficiente para fazer a conversão de elementos em minerais, pois obviamente, como não se encontra a presença de Estevensita em outras rochas no mundo e sim a Dolomita

em abundância; ao elemento magnésio o banco de dados encontrará como mineral sempre a Dolomita e não o mineral Estevensita.

2.6.1.3 Ambiente onde ocorre a medição de espectroscopia induzida

Medidas de espectroscopia induzida são usadas extensivamente em todo o mundo, incluindo o pré-sal no Brasil e na África. Diversas litologias foram determinadas inequivocamente ao longo dos anos, usando esta metodologia desde os carbonatos na Arábia Saudita até os arenitos no Cinturão do Orinoco. No entanto, alguns lugares no pré-sal nas Bacias de Campos e Santos têm demonstrado a presença de minerais inicialmente entendidos como de origem “vulcânica”. Neste trabalho vamos propor outras teorias, como mencionado em seções anteriores, que a Estevensita para se formar pode não necessitar necessariamente de uma fonte térmica. No caso do pré-sal, a metodologia de espectroscopia induzida certamente funcionará bem com respeito às medidas de *Yields* e também funcionará sobre o modelo de encerramento de óxidos (*Oxide-Closure Model*) para a conversão de *Yields* para o peso seco de elementos, no entanto, não vai funcionar na conversão (transformada) de elementos para minerais com base no banco de dados mundial. Isso ocorre porque o banco de dados da maioria das formações não inclui a Estevensita e a correspondência dos ricos minerais de magnésio é feita com a Dolomita. Portanto, é necessário que, no pré-sal, seja realizada a diferenciação entre os minerais ricos em magnésio; tais como a Dolomita e Estevensita.

A solução que existe hoje, quando da perfuração dessas formações, é usar as informações de *Yields* e elementos das medidas de espectroscopia induzida para detectar intervalos com alta presença de magnésio. Como algumas áreas têm sido testemunhadas e trabalhos de laboratório foram feitos para determinação destas formações para identificação de Dolomita ou Estevensita, esta experiência é usada em outras áreas da Bacia para ter uma compreensão se o alto conteúdo de magnésio observado em determinadas áreas específicas, através das medições de espectroscopia induzida, tem mais chance de se originar da Dolomita ou da Estevensita. No entanto, esta é uma abordagem muito precária, porque muitos dos intervalos estudados no laboratório apresentam a coexistência entre esses dois minerais. A nível de campo, olhando as amostras de calha, é possível determinar grandes quantidades de

Estevensita por sua coloração branca que aparece na calha. Isto é muito útil, no entanto, há muitas incertezas associadas com a metodologia, principalmente porque ela só detecta altas concentrações e também há a incerteza de profundidade desde que os cortes de rocha mudam de lugar de acordo com suas densidades à medida que são carregados pela lama até chegarem às calhas. O outro problema desta determinação baseada em coloração é o fato de que outras esmectitas não magnesianas também apresentam coloração brancas no separador de cascalhos. Há uma necessidade premente de encontrar uma forma quantitativa de fazer a interpretação de registros elétricos a fim de separar os minerais Estevensita e Dolomita no pré-sal brasileiro.

2.6.2 Espectroscopia Induzida no Pré-Sal

Deve-se entender que a espectroscopia induzida é importante e amplamente utilizada na indústria petroleira, no entanto, esta medição por si só apresenta alguns obstáculos de utilização em áreas do pré-sal no Brasil. A dificuldade advém do fato de medir intervalos ricos em magnésio mas, não realmente sabendo quais minerais estão presentes: Dolomita, Estevensita ou uma combinação destes.

Existem algumas possibilidades para tentar resolver estes obstáculos apresentados por essas rochas complexas observadas em áreas das Bacias de Campos e Santos. Uma delas seria, no lado da medição da espectroscopia induzida propriamente dita, buscar encontrar elementos que estejam presentes no mineral Estevensita e não na Dolomita e fazer a separação (em inglês, *stripping*) destes elementos. No entanto, ao se fazer análises de laboratório com rochas que tem presença de Estevensita, se observa que esta normalmente não se apresenta em grandes quantidades, o que torna complexo fazer a medição de minerais em quantidades volumétricas insignificantes para o todo da medição de espectroscopia induzida. Outro fator que nos indica bastante difícil este caminho é o fato que ao observarmos a fórmula da Estevensita, não há elementos mais significativos que o próprio magnésio e portanto não nos ajuda fazer esta diferenciação em termos de outros elementos.

Uma outra possibilidade seria, utilizar a medição dos elementos provenientes da espectroscopia induzida conjuntamente com outras medidas de registros elétricos, a fim de diferenciar os dois minerais, Estevensita e Dolomita. Para isso, se faz necessário uma análise

em laboratório de rochas análogas ao pré-sal e principalmente uma análise em laboratório do mineral puro Estevensita, para obter as medições padrão em registros deste mineral. Esta tabulação padrão para a Estevensita dos valores lidos em registros, não existe atualmente pois o mineral Estevensita nunca foi de importância na indústria petroleira, até o aparecimento do pré-sal brasileiro. Este será o caminho a ser seguido nesta dissertação de doutorado a fim de abordar a solução do problema com uma visão holística.

A importância do pré-sal e suas especificidades em relação a outras formações em todo o mundo traz um desafio para a indústria do petróleo como um todo para abordar os vários aspectos da questão. Muitas empresas estão estudando possíveis soluções para o problema abordado aqui. Muito embora a tecnologia de espectroscopia induzida esteja disponível, ela precisa de algum refinamento, ou a combinação com outros registros para resolver o problema e eliminar a ambigüidade discutida neste capítulo.

3 NOVA METODOLOGIA - ANÁLISE PETROFÍSICA NO PRÉ-SAL

3.1 Introdução ao método desenvolvido

Após uma análise extensa da bibliografia disponível sobre as ferramentas disponíveis de registros, programas de petrofísica e os desafios do pré-sal, com respeito a gerar um modelo petrofísico o mais fidedigno com a petrofísica encontrada nas rochas do pré-sal, que é marcada pela presença da Estevensita e de considerar diversas possibilidades para resolver através de registros elétricos a complexa litologia do pré-sal, foi possível chegar a algumas conclusões:

- a) Espectroscopia induzida por si só não resolverá o problema, devido a que esta tecnologia diferencia os diversos minerais através da presença de seus constituintes elementares, os elementos constituintes destes minerais. Uma vez que o magnésio vai estar presente tanto na Estevensita como na Dolomita, tentar utilizar apenas espectroscopia induzida não é factível para quantificar ambos minerais. Sódio é exclusivo da Estevensita e se tentou utilizar esta medição sem sucesso pois, a quantidade de sódio no mineral Estevensita é pequena, além do fato de que o ambiente deposicional destas rochas tem a presença do sódio que está associado à Halita como vimos nas análises laboratoriais realizadas para a Formação Lagoa Feia, análoga ao pré-sal na seção rifte (coquinas), onde se observa uma correlação um a um com o cloro, formando a Halita (NaCl).
- b) Deve-se adotar uma visão holística do problema, a fim de identificar através de uma gama de registros elétricos a complexa litologia do pré-sal, utilizando a informação de espectroscopia induzida para definir os elementos presentes na rocha, fator fotoelétrico, porosidade neutrônica para identificação da Estevensita, já que esta tem porosidades neutrônicas da ordem de dez vezes a porosidade neutrônica da Montmorilonita, dependendo da quantidade de água presente na Estevensita. Obter informação de ressonância magnética a fim de detectar a Estevensita que tem tempos curtos de relaxamento semelhante às argilas.

- c) Fazer uma análise laboratorial de rochas possivelmente análogas ao pré-sal verificando a presença ou ausência do mineral Estevensita e possíveis implicações com respeito às leituras de registros elétricos. Esta análise foi feita com a Formação Lagoa Feia onde no Capítulo 4, identificamos tratar-se de um análogo do pré-sal para a seção rifte.
- d) Fazer todas as medições possíveis em laboratório para a Estevensita em seu estado mais puro e gerar uma tabulação de todos os dados que dizem respeito aos registros elétricos. As duas amostras de Estevensita que foram analisadas estão contaminadas com o mineral Pectolita que coexiste com a Estevensita. De fato, a Estevensita vem da Pectolita com a adição de magnésio em sua estrutura, ferro e moléculas de água.
- e) De posse da tabela gerada no item 4 com todas as medições da Estevensita em sua forma mais pura, utilizar os dados tabulados para poder considerar o volume de Estevensita em um programa de interpretação petrofísica probabilístico utilizando a maior gama de dados disponíveis em um poço do pré-sal, aonde exista a ocorrência comprovada de Estevensita, a fim de verificar e validar a metodologia desenvolvida para o pré-sal do Brasil.

3.2 Métodos de interpretação petrofísica probabilísticos

Se utilizará um programa de interpretação petrofísica que usa modelos estatísticos (também chamados modelos probabilísticos ou estocásticos), a fim de fazer uso de todas as medições e resolver para as várias incógnitas do modelo petrofísico que são todos os volumes na formação incluindo os volumes de Estevensita e Dolomita. Esta metodologia resolve simultaneamente todas as equações que são, basicamente, um conjunto linear de equações relacionadas com as respostas obtidas das medidas tomadas com registros elétricos, incluindo a medição de espectroscopia induzida, e resolve para as incógnitas que são os volumes que se quer conhecer (volumes de fluidos e minerais). Para ter resultados significativos com este método, é preciso conhecer os valores de leitura do mineral puro com respeito à cada leitura obtida com determinado registro elétrico. O mesmo ocorre com os fluidos incluídos no modelo estocástico. No caso da Estevensita, é preciso conhecer a resposta de cada medição

elétrica com respeito a este mineral, daí a necessidade do estudo laboratorial com o mineral na forma mais pura para definir os pontos extremos do mesmo.

Todos os minerais e fluidos comuns encontrados em rochas reservatório têm seus pontos extremos bem definidos. Isso não ocorre com a Estevensita pois é um mineral incomum na indústria petroleira.

3.3 Dados tabulados da Estevensita para modelos petrofísicos

No Capítulo 4 iremos tabular todas as informações obtidas em laboratório (UERJ-Universidade do Estado do Rio de Janeiro e BRGC-Laboratório Schlumberger) com respeito às medições da Estevensita pura.

Mineral Estevensita:

Fórmula Química $(\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2)$(4)

Fórmula Empírica $\text{Ca}_{0.15} \text{Na}_{0.33} \text{Mg}_{2.8} \text{Fe}^{2+}_{0.2} \text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$(5)

Peso Molecular: 471.23 gramas

Os dados disponíveis na literatura serão comparados com os obtidos no laboratório, a fim de verificar a validação dos mesmos e possíveis variações dependendo da procedência da amostra. No caso em estudo, a Estevensita é proveniente da região de Nova Jersey, nos Estados Unidos.

Tabela 3 – Porcentual por Elementos no Mineral Estevensita

Elementos		
Oxigenio	O	54.32%
Silica	Si	23.84%
Magnésio	Mg	14.44%
Ferro	Fe	2.37%
Hidrogenio	H	2.14%
Sódio	Na	1.61%
Cálcio	Ca	1.28%
		100.00%

Fonte: O Autor, 2014

Tabela 4 – Porcentual por Óxidos no Mineral Estevensita

Oxidos	
SiO ₂	51%
MgO	23.95%
FeO	3.05%
H ₂ O	19.12%
Na ₂ O	2.17%
CaO	1.79%
	101.08%

Fonte: O Autor, 2014

O mineral Estevensita pode aparecer com outros nomes tais como: a Hanusita, onde ocorre a mistura Estevensita e Pectolita, que foi o obtido com as amostras de Nova Jersey, e a Ghassoulita, também chamada Hectorita. Na literatura já existem disponíveis alguns dados tabelados com respeito a informação necessária para análise petrofísica estatística que se propõe neste trabalho. Informação esta que, foi utilizada no mesmo em conjunto com os dados obtidos de laboratório para as ferramentas de registros, onde ainda não há dados tabulados para a Estevensita. Os resultados disponíveis na literatura para a Estevensita são:

- a) Densidade do mineral = 2.15 até 2.75; Média=2.45 gramas/cc.
 - A variação em densidade existe pois, há diversas Estevensitas de acordo com a maior ou menor presença de água na matriz do mineral. Neste trabalho recomendamos usar a densidade média para a Estevensita (2.45 g/cc) ou usar o valor obtido por registros abaixo (2.49 g/cc). O ideal é usar o valor obtido de densidade da Estevensita através de amostras de testemunho do pré-sal que não estavam disponíveis na data deste trabalho;
- b) “Bulk Density” / “Elétron Density” / RHOB = 2.49 g/cc.
 - A densidade através de registros elétricos, também chamada em inglês de *bulk density* ou *elétron density* ou mesmo pelo mnemônico RHOB, é obtida através de registros elétricos com cabo (ou *wireline*) ou enquanto se perfura (LWD) o poço. Pode-se usar esta densidade de 2.49 g/cc ou a densidade média acima de 2.45 g/cc. No futuro no entanto, quando houver dados de densidade da Estevensita obtidos diretamente das rochas do pré-sal dever-se-á utilizar esta informação;
- c) PEF (Fator Fotoelétrico) em registros elétricos = 2.14 barns/elétron.

- O PEF utilizado deve ser usado no valor médio de 2.14 barns/elétron dentro da variável U abaixo, já que o PEF por ser uma grandeza não volumétrica, não deve ser utilizado diretamente nos programas estocásticos para definir quantidades volumétricas;

d) $U = \text{RHOB} * \text{PEF} = 5.33 \text{ barns/cc}$.

- Em programas de petrofísica estocásticos, as entradas são as respostas de registros que em sua grande maioria são volumétricas, i.é., o registro varia linearmente com o volume. Outra forma de entender este conceito de grandeza volumétrica, é saber que a mesma é assim mencionada quando esta pode ser escrita como medida da soma dos diversos volumes numa equação de primeiro grau, tal qual observamos com a resposta de densidade mencionada no Capítulo 2 Fórmula (1). U, chamada de fator volumétrico como o nome indica, é uma grandeza volumétrica enquanto a quantidade PEF não o é, i.é., PEF lido pela ferramenta não pode ser escrito como uma soma dos volumes de rochas e fluidos tal qual a Fórmula (1) escrita para densidade e outras medidas de registros. No entanto, se há desejo de incluir a informação de PEF na análise petrofísica se deve utilizar a variável U que é a variável PEF multiplicada pela densidade. Neste caso, o valor de densidade utilizado foi o de RHOB no valor de 2.49 g/cc e PEF 2.14 barns/elétron para se obter o valor de U de 5.33 barns/cc referente à Estevensita pura;

e) $\text{GR} = 0 \text{ GAPI}$.

- A variável GR (“Gamma Ray”) é obtida através de registros pelos raios gama emitidos naturalmente das formações registradas. Emissores de raios gama naturais são os elementos: Tório, Uranio e Potássio. Como a Estevensita não apresenta nenhum destes elementos em seu estado puro o valor é de zero para esta.

3.4 Estevensita no mundo para considerar em modelos petrofísicos

Na literatura após a virada do século XXI, a América do Sul não aparece como uma área onde ocorre o mineral Estevensita. O mapa abaixo exibido na figura 16 foi modificado para refletir estas mudanças colocando Estevensita na região de Neuquén, Argentina e no pré-sal brasileiro, Bacias de Santos e de Campos, como vemos abaixo na figura 16.

Figura 16 – Mapa Estevensita Mundo Modificado



Fonte: MINDAT,2014¹³

3.5 Análise crítica da nova metodologia

A metodologia proposta para diferenciar através de registros Dolomita e Estevensita têm algumas dificuldades teóricas que deverão ser comprovadas ou refutadas a partir das comparações feitas no Capítulo 5 com dados de poço. Abaixo a análise crítica da nova metodologia:

- a) A Estevensita aparece em grandes quantidades nas rochas carbonáticas do pré-sal seção sag em forma laminar (deposicional) onde apresenta

¹³ O mindat. Org é o maior banco de dados público de informações acerca de minerais e suas propriedades. Conteúdo disponível em <<http://www.mindat.org/min-3770>>

problemas ao reservatório. Esta Estevensita possivelmente será detectada pela metodologia proposta. No entanto, a Estevensita que aparece nas rochas carbonáticas do pré-sal na seção rifte em pequenas quantidades em forma nodular e em termos volumétricos numa quantidade pequena com respeito à rocha reservatório, possivelmente haverá uma limitação quanto ao mínimo possível para poder fazer uma detecção sem ambiguidades nestas condições na seção rifte;

- b) Os pontos do material puro Estevensita definidos em laboratório podem diferir dependendo do tipo deste mineral e aquele encontrado nas rochas do pré-sal. Para isso, uma vez que os dados obtidos com a Estevensita retirada das rochas do pré-sal para análise esteja disponível, deve-se utilizar os mesmos ao invés dos apresentados neste trabalho, para os pontos do material puro Estevensita usados nos programas estocásticos de interpretação petrofísica;
- c) Os pontos tabulados atualmente vem de rochas Estevensita encontradas na Europa e Estados Unidos em condições possivelmente diferentes daquelas encontradas no pré-sal brasileiro, especialmente no que diz respeito à quantidade de água na matriz da Estevensita e ou conteúdo ou não de alumínio;
- d) Possivelmente haverá medidas de registros mais afetadas pela Estevensita que outras. A importância em quantificar as variações nas medidas com este respeito a fim de definir pesos no programa de interpretação probabilístico, para levar em conta diferenças estatísticas importantes e dar preferência às leituras das ferramentas de registros que tem maior sensibilidade à Estevensita, em detrimento daquelas com menor sensibilidade à mesma. Esse procedimento será parte importante no tratamento do programa petrofísico.

4 ANÁLISE LABORATORIAL

4.1 Introdução

Foram utilizados os laboratórios da UERJ e do BRGC para todas as análises de rocha da Formação Lagoa Feia e para as amostras de rocha Estevensita provenientes de Nova Jersey, nos Estados Unidos. Foram feitas análises de testemunhos convencionais (“CCAL-Conventional Core Analysis”) e utilizados os seguintes aparelhos abaixo descritos:

- a) MEV – Microscópico Eletrônico de Varredura (SEM - *Scanning Electron Microscope*, em Inglês); UERJ
- b) EDX – Energia Dispersiva de Raios X (EDS - *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*, em Inglês); utilizado em conjunto com o MEV; UERJ
- c) DRX – Difração de Raios X (XRD-*X Ray Diffraction*, em Inglês); BRGC

Outras possíveis medições de laboratório devem ser consideradas no futuro e estão disponíveis na UERJ e BRGC.

- a) IPM – Injeção de Pressão com Mercúrio (MPI - *Mercury Pressure Injection*, em Inglês); BRGC
- b) CAT Scanners – Para medir Fator Fotoelétrico (PEF); BRGC
- c) ETR – Elementos Terras Raras; UERJ
- d) Ressonância Magnética – *NMR Analysis*; BRGC

4.2 Objetivos da análise laboratorial

Na imagem do testemunho que foi analisado (Figura 17) da Formação Lagoa Feia utilizou-se o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e verificação de elementos com o EDS acoplado ao MEV. A seguir apresentamos os resultados das diferentes amostras. Cada uma foi dividida em 12 partes para análise mais detalhada como se observa na Figura 19. Todas as amostras de 1 a 5 foram utilizadas neste estudo. No entanto, as figuras e análises apresentadas de MEV e EDS são das amostras 1 e 3 pois eram as com maior conteúdo do mineral Estevensita.

Figura 17 – Testemunho Lagoa Feia



Fonte: O autor, 2014

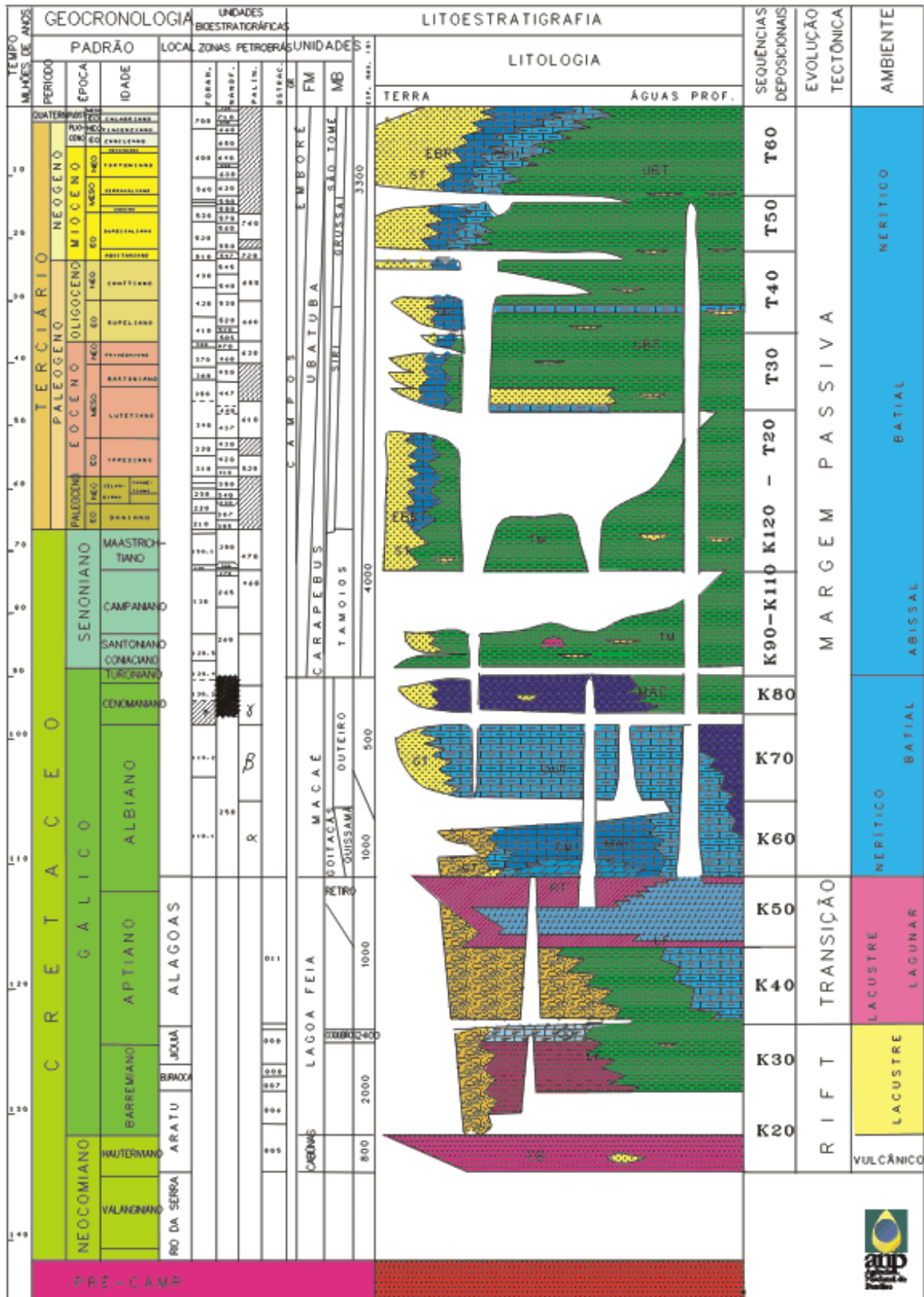
Os objetivos destas medições são: comprovar a existência da Estevensita nas amostras da Formação Lagoa Feia, entender como esta esmectita magnésiana (Estevensita) está distribuída na rocha, e se é possível notar a presença de Dolomita nas mesmas. Estas medições tem importância para definição de um possível análogo para o pré-sal, já que muito se especula sobre a possibilidade do mesmo e entendemos que podemos encontrá-lo na Formação Lagoa Feia.

4.3 Introdução à Formação Lagoa Feia

Baseado nos trabalhos consultados para a elaboração da presente dissertação como os de Brice et al (1982); Teisseren e Villemin (1990); Doust e Omatsola (1990); Guardado e Gamboa (1990) e Faust e Hathaway (1959), podemos levar em consideração que a separação entre América do Sul e África se deu na era mesozóica, há cerca de 120-140 milhões de anos atrás. Três estágios são considerados na formação do oceano Atlântico, pré-rift, rifteamento e espalhamento do fundo oceânico. O pré-rift consiste de distensões da crosta continental associadas a atividades vulcânicas. O rifteamento consiste na formação de falhas normais do tipo graben-horst. O espalhamento do fundo oceânico consiste de esforços tensionais que

separam a crosta oceânica com adição de nova crosta oceânica. A Bacia de Campos está situada em frente ao Rio de Janeiro com cerca de 115.800 Km² sendo que apenas 600 Km² estão emersos. Em águas profundas não há separação estrutural entre as Bacias de Campos, Santos e Espírito Santo. A Formação Lagoa Feia é constituída por folhelhos calcíferos (margas) depositados em ambientes salinos da fase rifte da Bacia. Sabemos que nesta fase havia vulcanismo associado. Esta rocha geradora é responsável pelos campos de Marlin, Albacora, Roncador, entre outros. Estes campos são compostos de areias turbidíticas. A Formação Macaé (carbonatos) também recebeu petróleo da Formação Lagoa Feia, podemos ver essas inforções na carta cronoestratigráfica da bacia de Campos (figura 18).

Figura 18 – Coluna Estratigráfica da Bacia de Campos

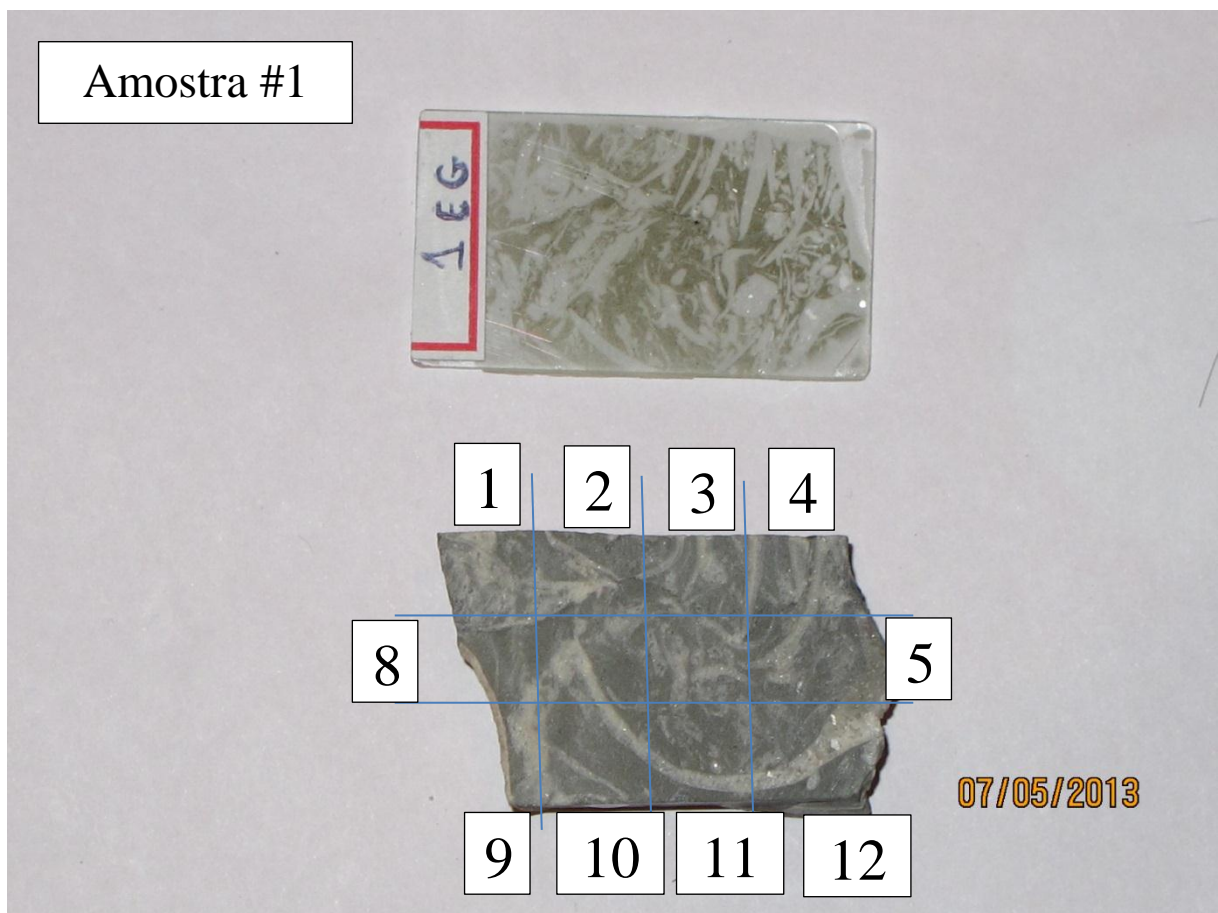


Fonte: RANGEL, 1993

4.4 Resultados MEV e EDS nos testemunhos da Formação Lagoa Feia

A Figura 19 mostra a primeira amostra analisada no MEV. Esta foi dividida em 12 áreas no MEV e EDS a fim de identificar em qual área da amostra apresenta alto conteúdo de magnésio, e se há imagem característica de Dolomita, caso um alto conteúdo de magnésio for identificado através do sensor EDS.

Figura 19 – Amostra #1 Lagoa Feia



Fonte: O autor, 2014

4.4.1 Resultados EDS amostra #1 Áreas #1 até #12

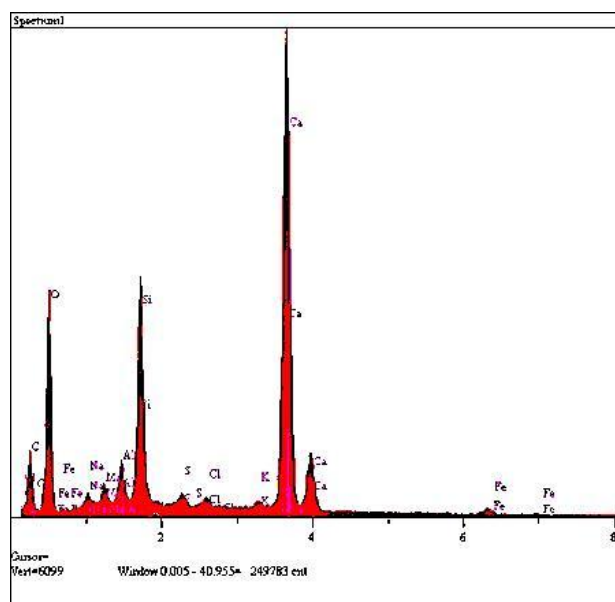
Tabela 5 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#1 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	59.16	1.986	0.0004
Na2O	2.013	O	324.09	4.648	38.465
MgO	2.663	Na	22.99	1.238	1.493
Al2O3	5.788	Mg	34.87	1.525	1.606
SiO2	33.085	Al	76.29	2.255	3.063
SO3	2.245	Si	425.39	5.325	15.465
Cl	0.696	Si	23.79	1.259	0.899
K2O	0.774	Cl	18.04	1.097	0.696
CaO	51.306	K	16.83	1.059	0.643
Fe2O3	1.430	Ca	885.47	7.683	36.669
Total	100.000	Fe	11.73	0.884	1.0004
				Total	100.000

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 20 – Amostra #1 Área #1 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

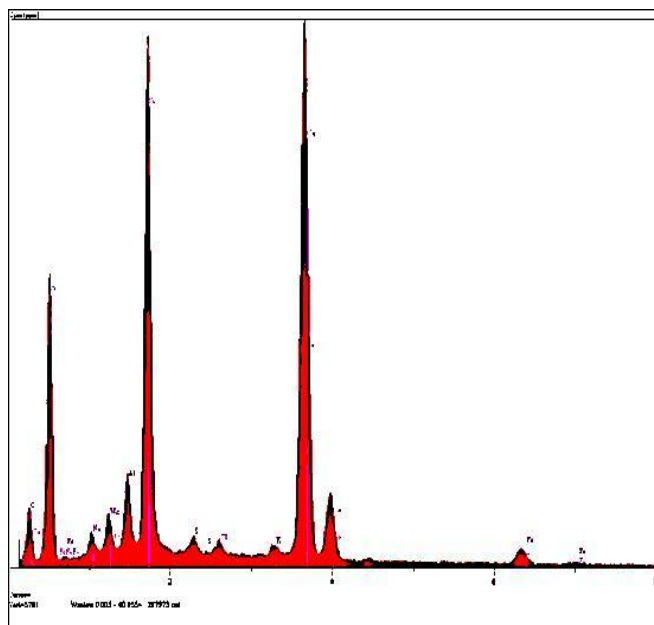
Tabela 6 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#2 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	42	1.673	0.000
Na2O	2.026	O	360.37	4.901	41.872
MgO	3.133	Na	32.5	1.472	1.503
Al2O3	6.860	Mg	57.22	1.953	1.889
SiO2	46.090	Al	124.97	2.886	3.631
SO3	1.979	Si	804.52	7.323	21.545
Cl	0.669	Si	27.1	1.344	0.793
K2O	0.770	Cl	22.53	1.226	0.669
CaO	36.030	K	21.59	1.2	0.639
Fe2O3	2.442	Ca	815.34	7.372	25.751
Total	100.000	Fe	27.37	1.351	1.708
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 21 – Amostra #1 Área #2 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

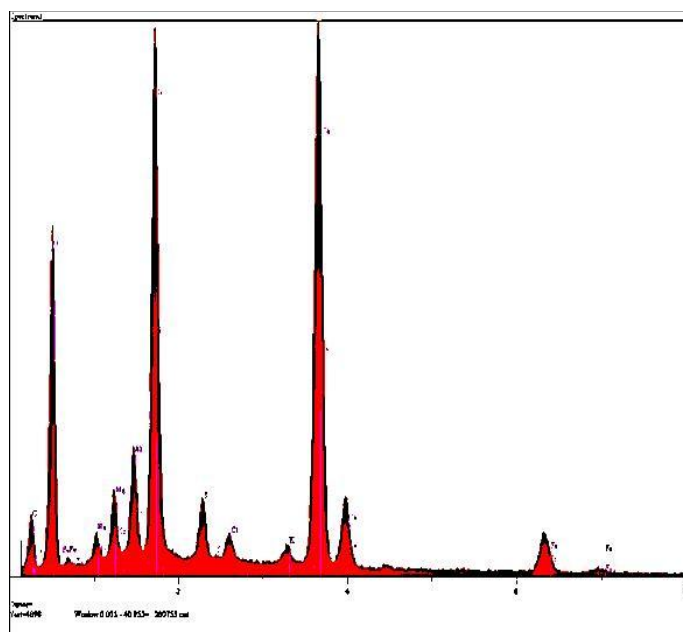
Tabela 7 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#3 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	30.8	1.433	0.0004
Na2O	2.230	O	345.96	4.802	42.265
MgO	4.592	Na	35.43	1.537	1.654
Al2O3	8.215	Mg	82.92	2.351	2.77
SiO2	41.267	Al	146.26	3.122	4.348
SO3	6.163	Si	700.93	6.836	19.29
Cl	1.134	Si	84.25	2.37	2.468
K2O	1.055	Cl	37.56	1.582	1.134
CaO	31.080	K	28.97	1.39	0.876
Fe2O3	4.264	Ca	693.09	6.797	22.213
Total	100.000	Fe	47.63	1.782	2.982
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 22 – Amostra #1 Área #3 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

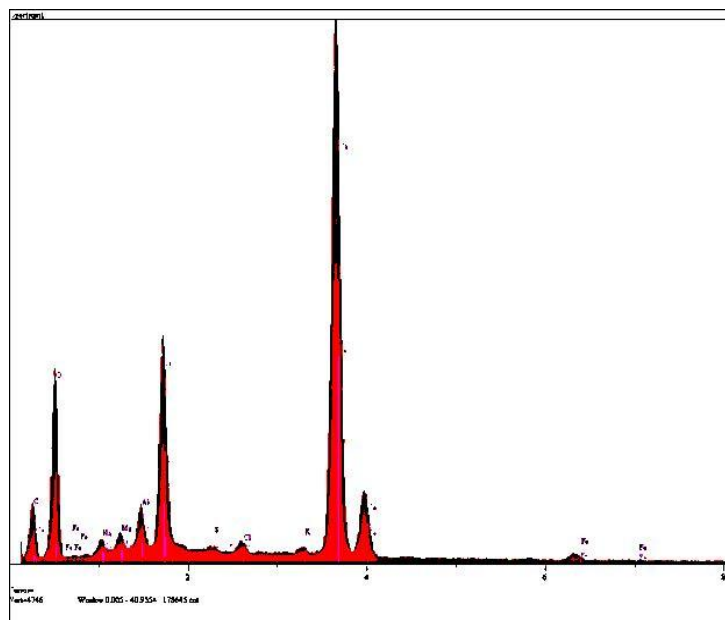
Tabela 8 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#4 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	41.94	1.672	0.000
Na2O	2.160	O	196.09	3.615	37.326
MgO	2.210	Na	17.02	1.065	1.603
Al2O3	5.908	Mg	19.96	1.153	1.333
SiO2	30.672	Al	53.99	1.897	3.127
SO3	0.745	Si	273.34	4.269	14.337
Cl	0.895	Si	5.54	0.608	0.298
K2O	0.649	Cl	16.37	1.045	0.895
CaO	55.116	K	9.97	0.815	0.539
Fe2O3	1.645	Ca	663.56	6.651	39.392
Total	100.000	Fe	9.38	0.791	1.151
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 23 – Amostra #1 Área #4 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: o autor, 2014

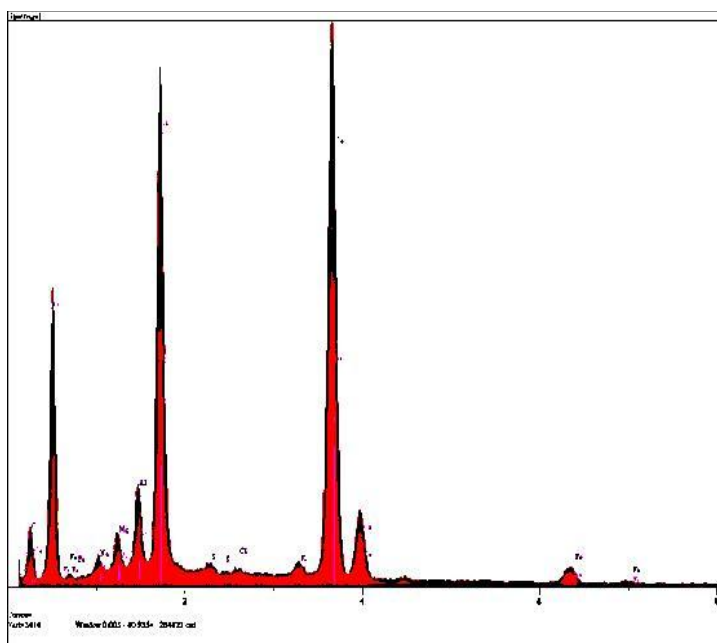
Tabela 9 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#5 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	38.12	1.594	0.000
Na2O	1.531	O	327.5	4.672	41.742
MgO	3.259	Na	22.52	1.225	1.136
Al2O3	7.687	Mg	54.9	1.913	1.965
SiO2	45.592	Al	128.92	2.932	4.068
SO3	1.034	Si	729	6.971	21.312
Cl	0.226	Si	13.03	0.932	0.414
K2O	0.920	Cl	7.05	0.685	0.226
CaO	37.269	K	23.9	1.262	0.763
Fe2O3	2.482	Ca	778.3	7.203	26.637
Total	100.000	Fe	25.60	1.306	1.736
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 24 – Amostra #1 Área #5 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

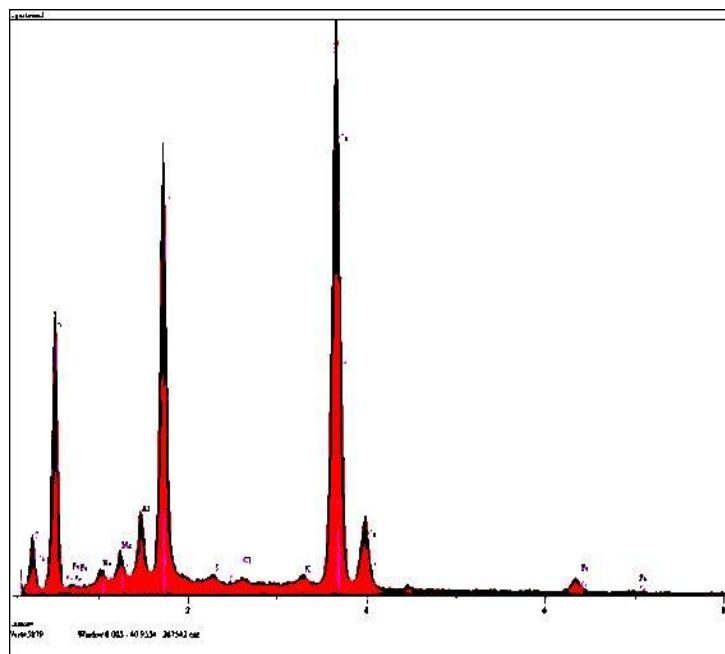
Tabela 10 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#6 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	75.28	2.24	0.000
Na2O	1.488	O	344.47	4.792	40.666
MgO	2.481	Na	20.33	1.164	1.104
Al2O3	6.267	Mg	38.95	1.611	1.496
SiO2	42.761	Al	98.89	2.568	3.317
SO3	0.961	Si	651.17	6.589	19.988
Cl	0.318	Si	11.6	0.88	0.385
K2O	0.709	Cl	9.46	0.794	0.318
CaO	42.718	K	17.67	1.085	0.589
Fe2O3	2.297	Ca	851.98	7.536	30.531
Total	100.000	Fe	22.3	1.219	1.607
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 25 – Amostra #1 Área #6 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

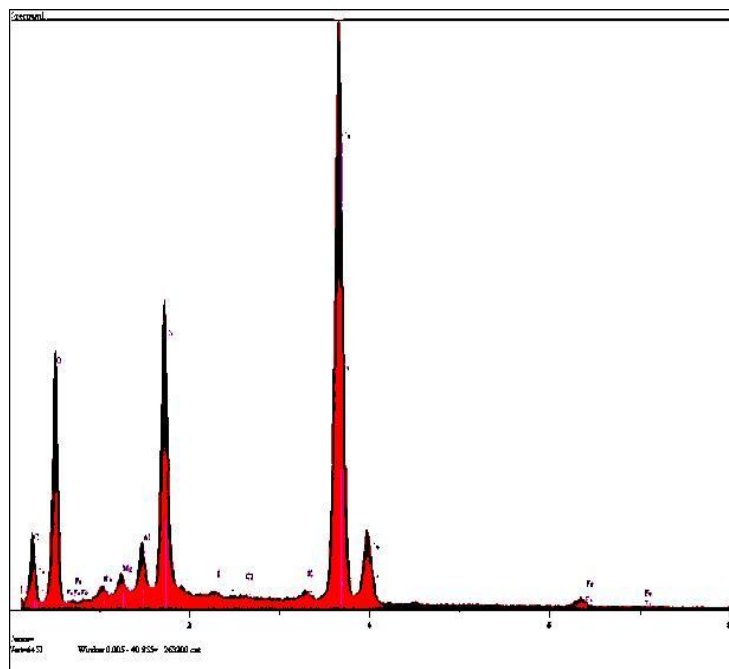
Tabela 11 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#7 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	63.13	2.051	0.000
Na2O	1.439	O	327.9	4.675	38.617
MgO	2.262	Na	17.22	1.071	1.067
Al2O3	5.579	Mg	31.24	1.443	1.365
SiO2	35.409	Al	77.79	2.277	2.953
SO3	0.649	Si	481.35	5.665	16.552
Cl	0.150	Si	7.2	0.693	0.260
K2O	0.904	Cl	4.12	2.524	0.150
CaO	51.804	K	20.81	1.178	0.750
Fe2O3	1.805	Ca	942.12	7.925	37.025
Total	100.000	Fe	15.6	1.02	1.262
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 26 – Amostra #1 Área #7 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

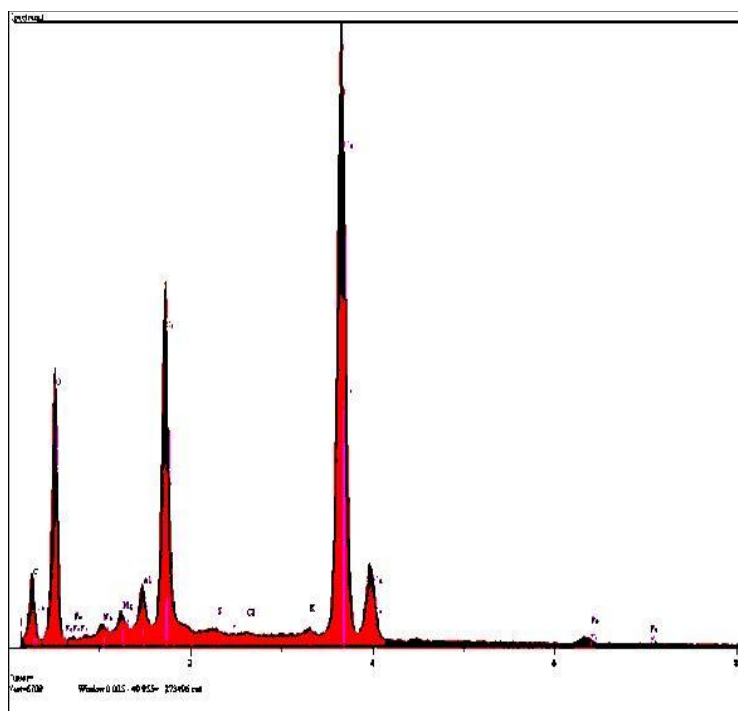
Tabela 12 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#8 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	57.01	1.949	0.000
Na2O	1.238	O	342.58	4.779	39.284
MgO	2.204	Na	15.84	1.028	0.918
Al2O3	3.120	Mg	32.57	1.473	1.329
SiO2	38.466	Al	76.37	2.256	2.710
SO3	2.546	Si	559.52	6.107	17.981
Cl	0.155	Si	6.38	0.652	0.219
K2O	0.574	Cl	4.49	0.547	0.155
CaO	50.319	K	13.93	0.964	0.476
Fe2O3	1.378	Ca	968.2	8.034	35.963
Total	100.000	Fe	12.66	0.9183	0.964
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 27 – Amostra #1 Área #8 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

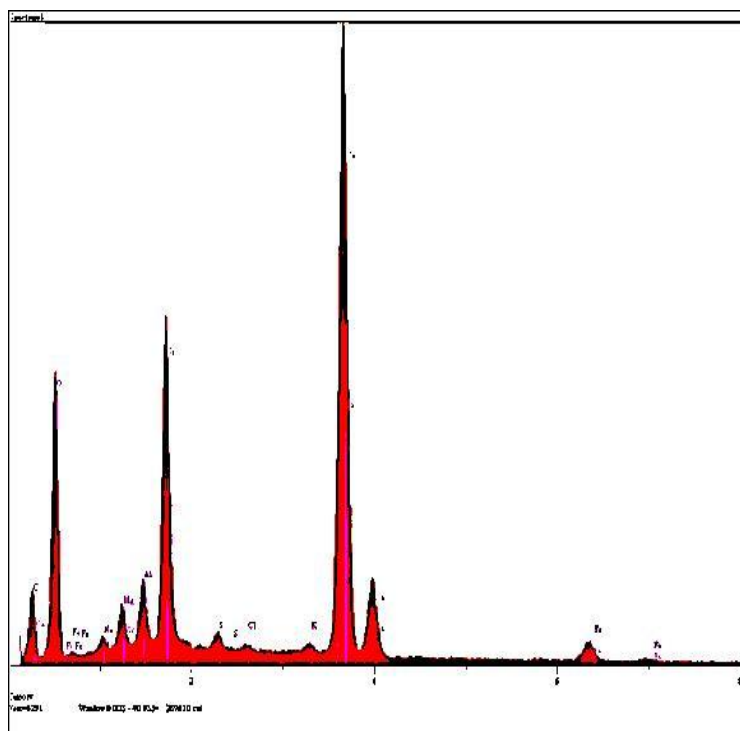
Tabela 13 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#9 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração		Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000		C	86.15	2.396	0.000
Na2O	1.556		O	347.57	4.814	39.360
MgO	4.301		Na	20.37	1.165	1.154
Al2O3	6.993		Mg	64.8	2.078	2.594
SiO2	34.653		Al	104.58	2.64	3.701
SO3	2.069		Si	502.14	5.786	16.199
Cl	0.324		Si	24.73	1.284	0.829
K2O	0.682		Cl	9.49	0.795	0.324
CaO	46.247		K	16.76	1.057	0.566
Fe2O3	3.176		Ca	905.62	7.77	33.053
Total	100.000		Fe	29.96	1.413	2.221
					Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 28 – Amostra #1 Área #10 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

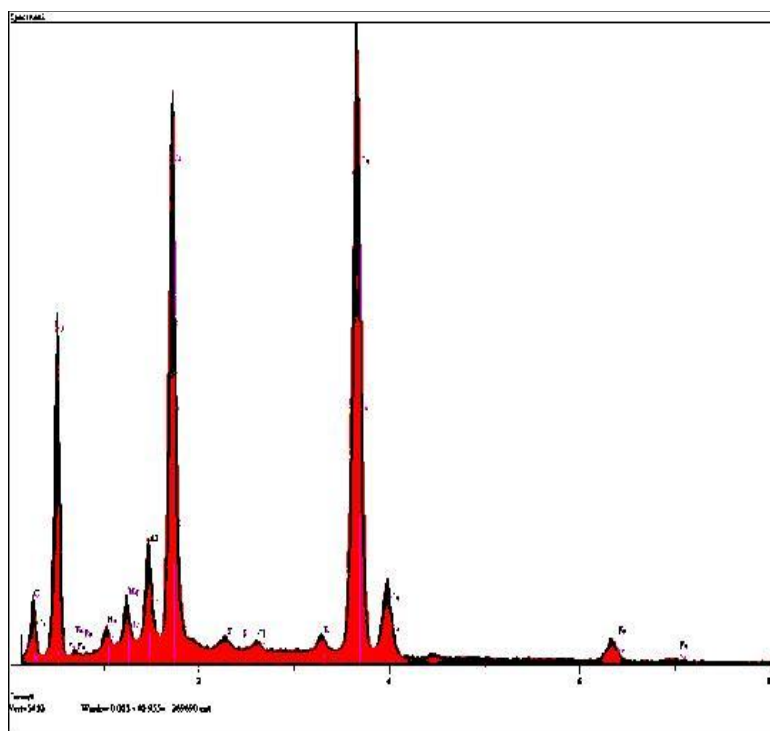
Tabela 14 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#10 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	38.3	1.598	0.000
Na2O	1.793	O	347.13	4.81	41.502
MgO	3.514	Na	26.3	1.324	1.330
Al2O3	8.041	Mg	58.87	1.981	2.119
SiO2	44.190	Al	133.93	2.988	4.256
SO3	1.287	Si	701.65	6.839	20.657
Cl	0.396	Si	16.21	1.04	0.516
K2O	1.040	Cl	12.29	0.905	0.396
CaO	37.115	K	26.93	1.34	0.863
Fe2O3	2.623	Ca	773.94	7.183	26.527
Total	100.000	Fe	26.99	1.341	1.835
		Total			100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 29 – Amostra #1 Área #10 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

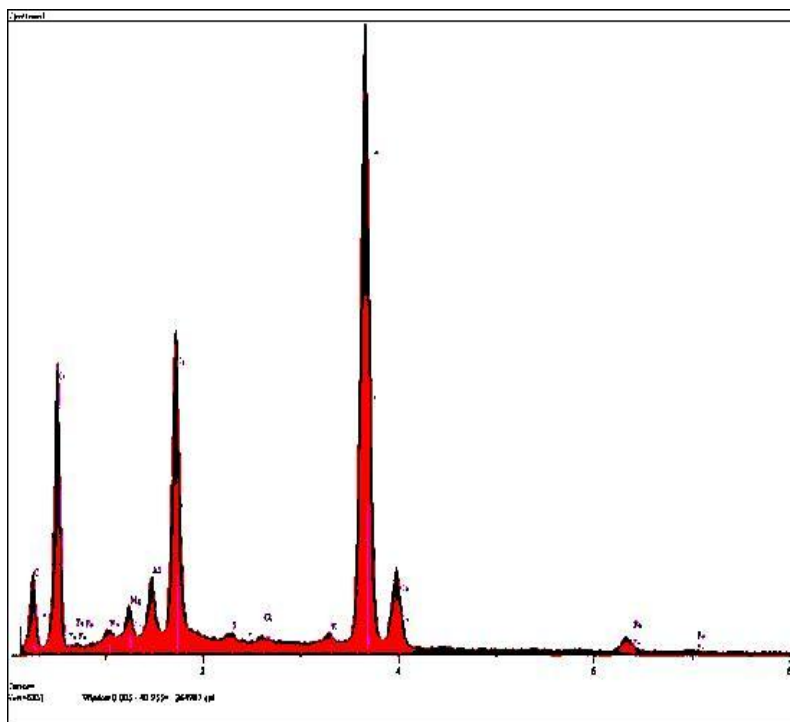
Tabela 15 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#11 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	61.08	2.018	0.000
Na2O	1.560	O	327.62	4.673	38.656
MgO	3.360	Na	18.95	1.124	1.157
Al2O3	6.453	Mg	47.04	1.771	2.027
SiO2	34.088	Al	90.42	2.455	3.415
SO3	0.989	Si	464.11	5.562	15.934
Cl	0.337	Si	11.11	0.861	0.396
K2O	0.739	Cl	9.3	0.788	0.337
CaO	49.907	K	17.16	1.07	0.614
Fe2O3	2.567	Ca	917.85	7.822	35.669
Total	100.000	Fe	22.54	1.226	1.796
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 30 – Amostra #1 Área #11 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

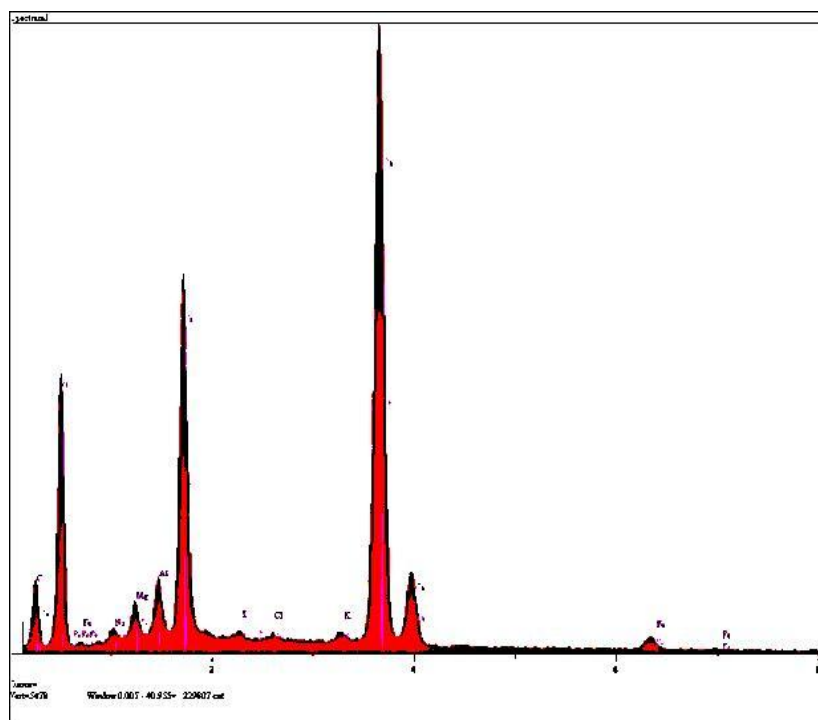
Tabela 16 – Concentração Óxidos e Elementos Amostra#1 Área#12 Formação Lagoa Feia

Oxidos	Concentração	Elementos	Intensidade (c/s)	Erro (2-sig)	Concentração (wt.%)
C	0.000	C	74.68	2.231	0.000
Na2O	1.297	O	289.65	4.394	39.625
MgO	3.641	Na	14.52	0.984	0.962
Al2O3	6.237	Mg	46.99	1.77	2.196
SiO2	38.286	Al	80.2	2.312	3.301
SO3	0.744	Si	477.5	5.642	17.897
Cl	0.283	Si	7.51	0.708	0.298
K2O	0.740	Cl	7.03	0.685	0.283
CaO	46.582	K	15.45	1.015	0.614
Fe2O3	2.189	Ca	773.74	7.182	33.293
Total	100.000	Fe	17.52	1.081	1.531
				Total	100

/KV=20/Takeoff Angle=45/Elapsed Livetime=60/

Fonte: O autor, 2014

Figura 31 – Amostra #1 Área #12 Lagoa Feia (EDS)



Fonte: O autor, 2014

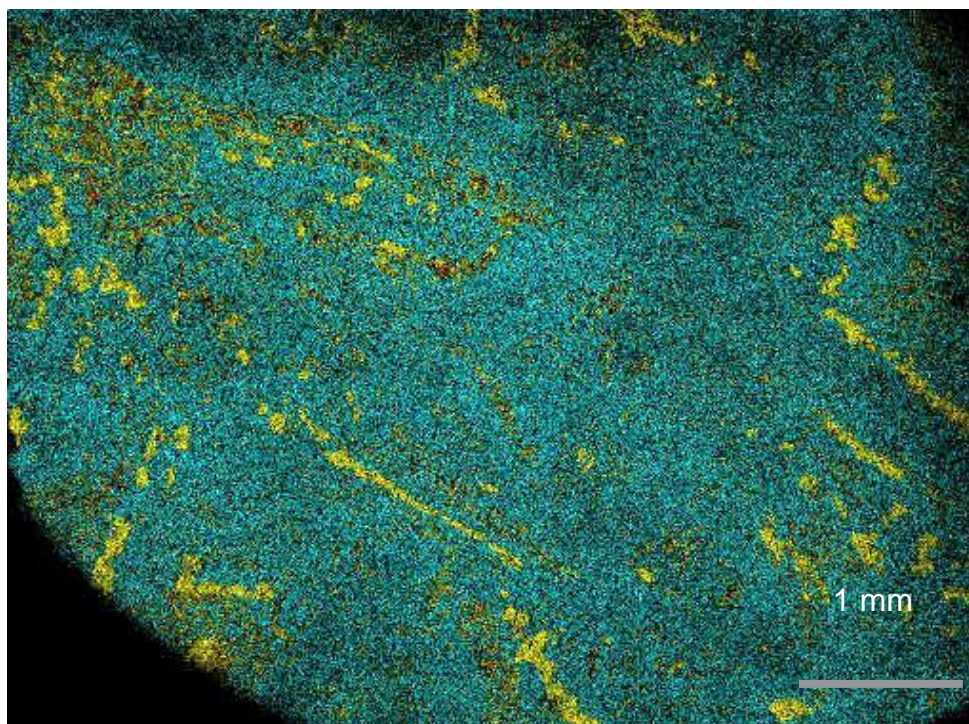
4.4.2 Conclusões EDS Amostra #1 Áreas #1 até #12

A área 3 foi a que apresentou maior conteúdo de magnésio (MgO 4.592 %) e portanto será a área no MEV que analisaremos com maior interesse. Observa-se nesta amostra a presença de magnésio que pode ser proveniente da Estevensita ou da Dolomita. Neste caso, foram utilizadas as imagens do MEV para definir de qual mineral decorre o magnésio.

4.4.3 Resultados MEV Amostra #1 Áreas #1 até #12

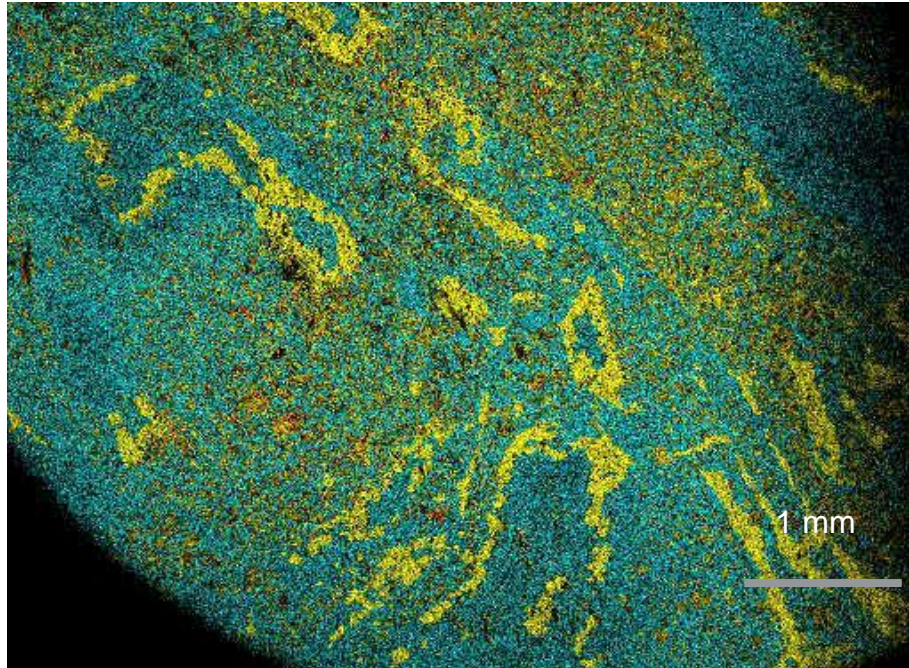
As imagens do MEV (figuras 32 a 46) mostram a contribuição dos três elementos principais: cálcio, silício e magnésio. Silício representado em amarelo, cálcio em azul e magnésio em verde. A porosidade aparece como zonas escuras no gráfico. A escala para todos estes gráficos aparece abaixo na barra no lado inferior direito e tem medida de um milímetro.

Figura 32 – Amostra #1 Área #1 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



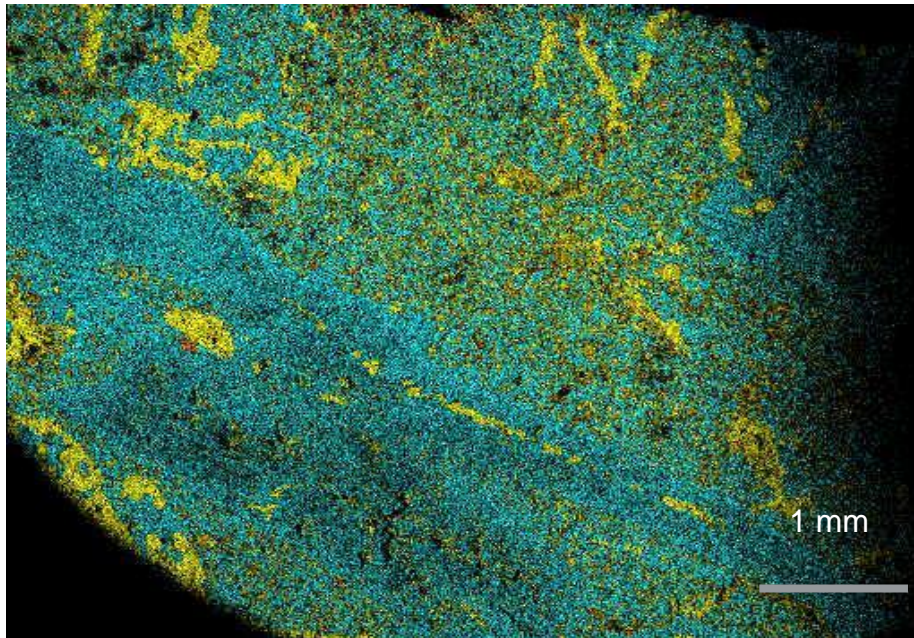
Fonte: O autor, 2014

Figura 33 – Amostra #1 Área #2 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



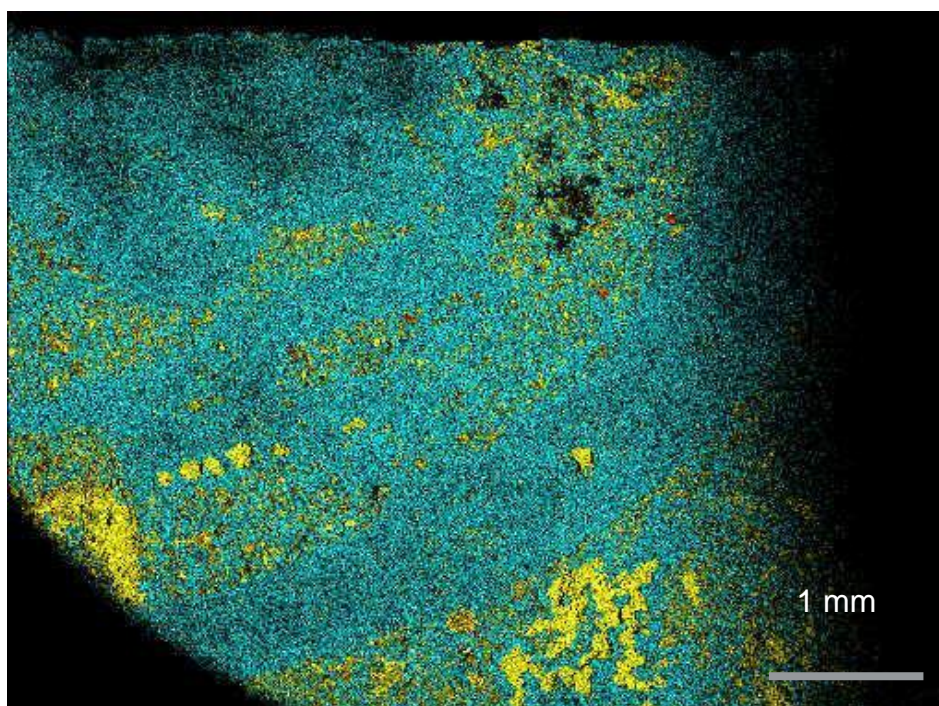
Fonte: O autor, 2014

Figura 34 – Amostra #1 Área #3 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



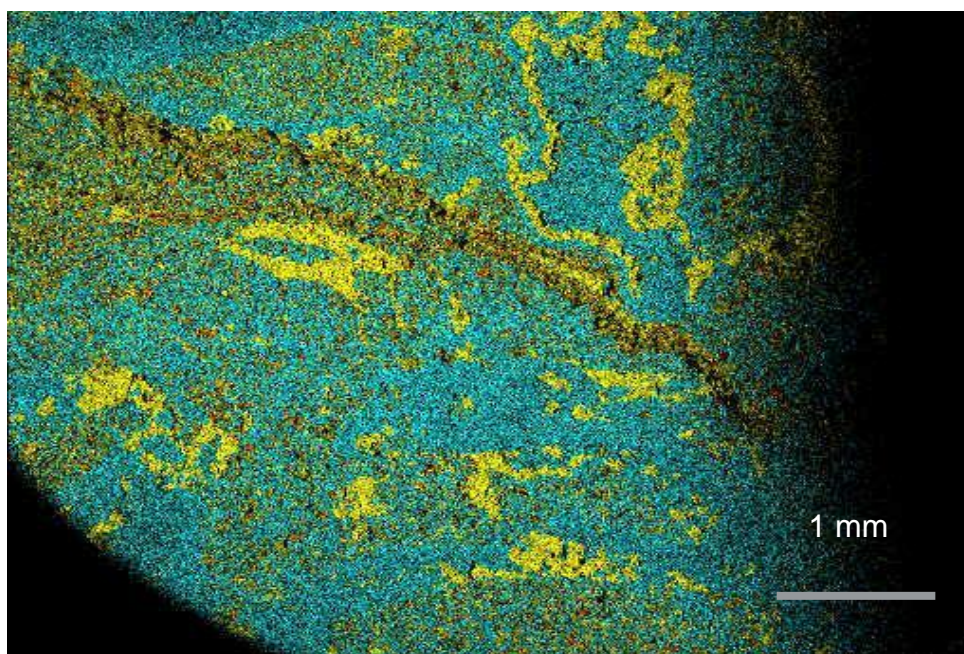
Fonte: O autor, 2014

Figura 35 – Amostra #1 Área #4 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



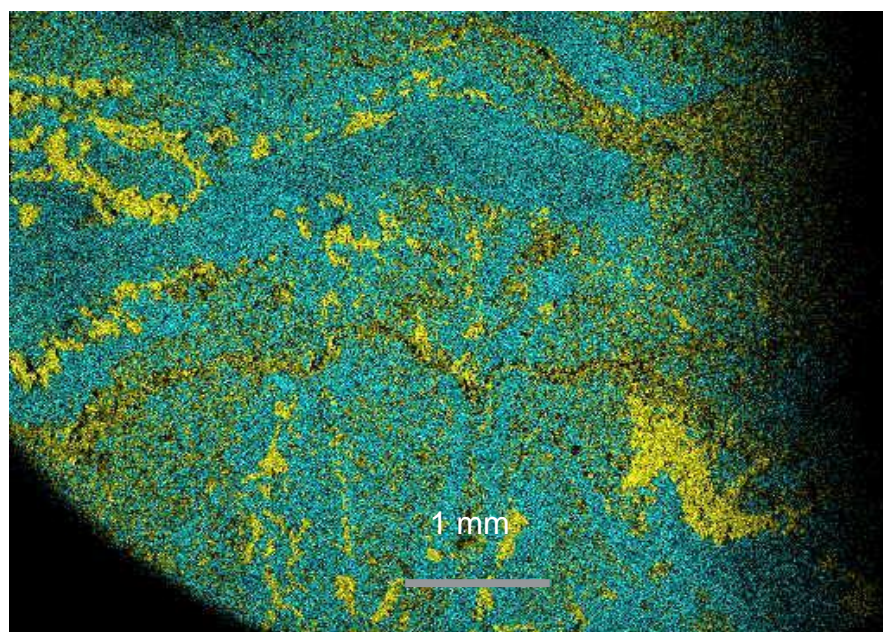
Fonte: O autor, 2014

Figura 36 – Amostra #1 Área #5 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



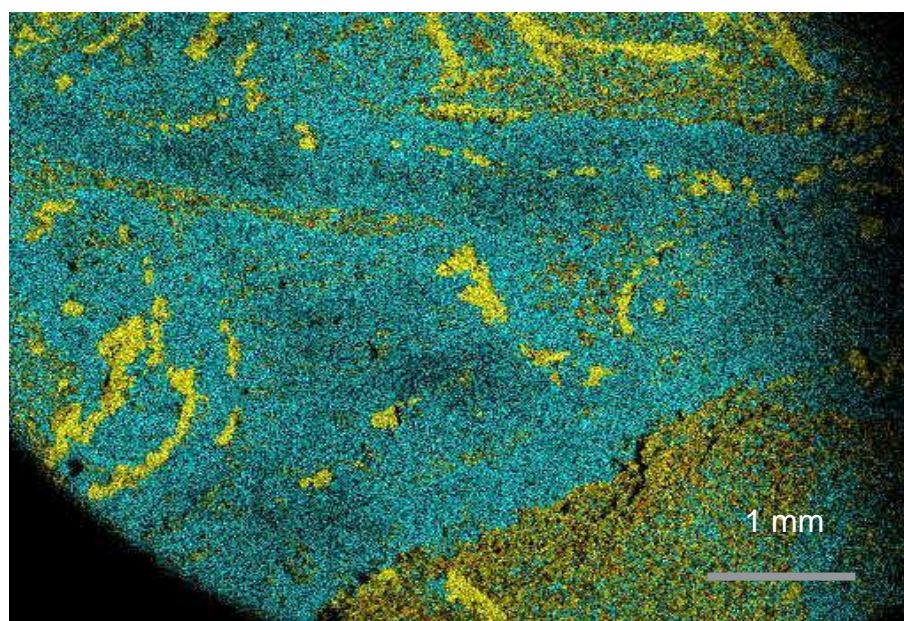
Fonte: O autor, 2014

Figura 37 – Amostra #1 Área #6 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



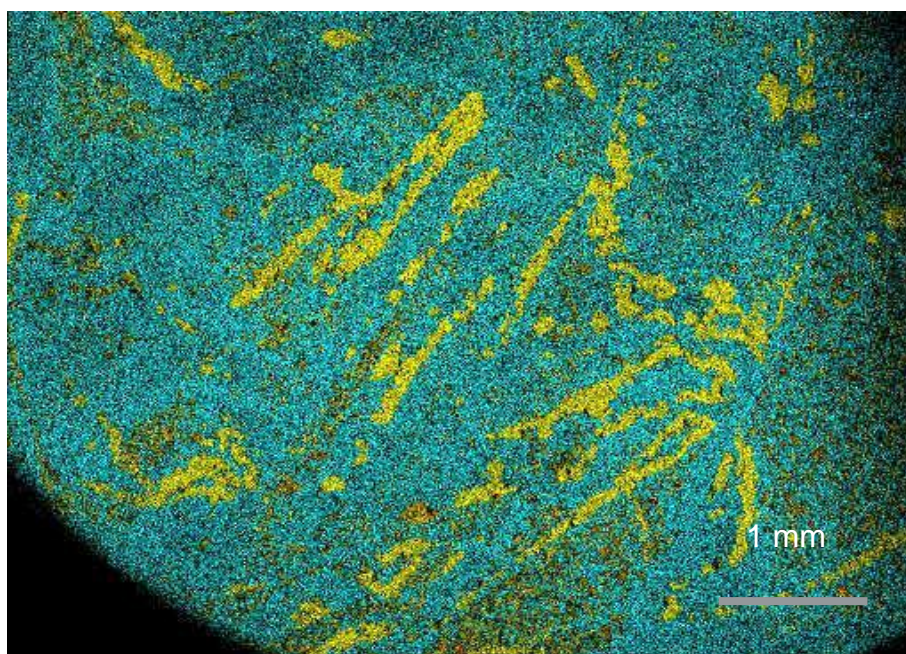
Fonte: O autor, 2014

Figura 38 – Amostra #1 Área #7 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



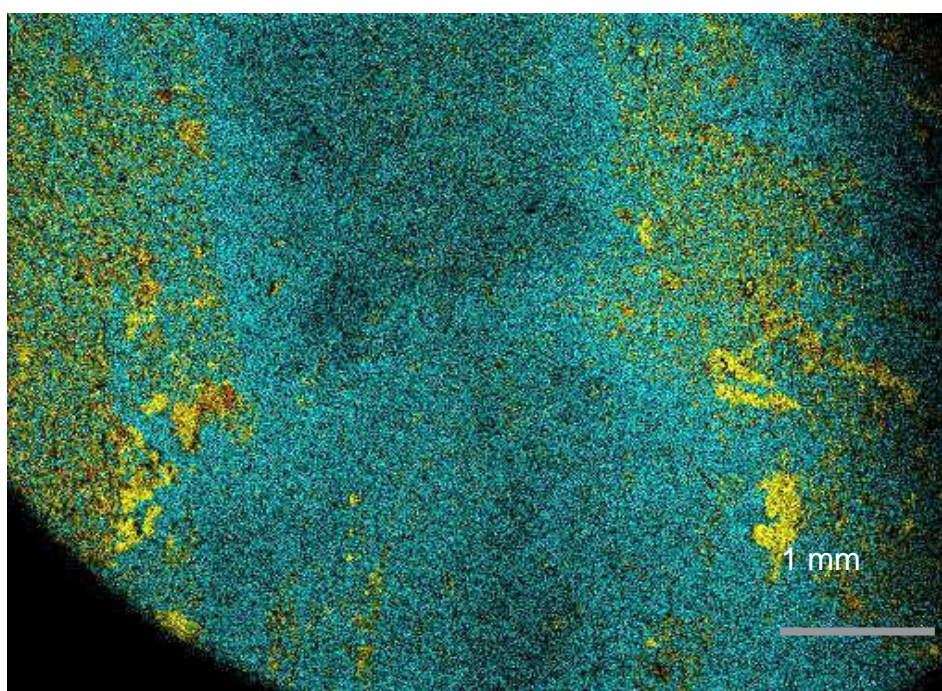
Fonte: O autor, 2014

Figura 39 – Amostra #1 Área #8 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



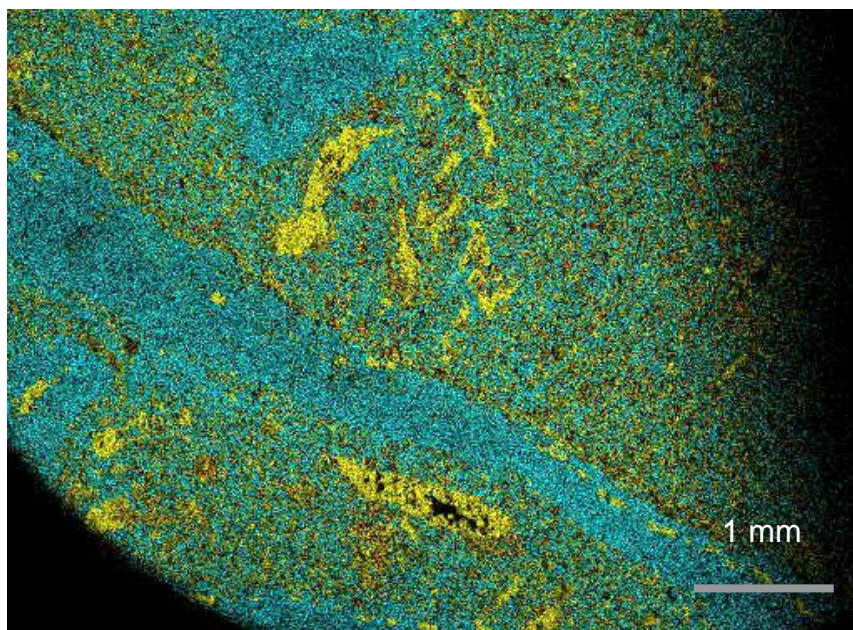
Fonte: O autor, 2014

Figura 40 – Amostra #1 Área #9 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



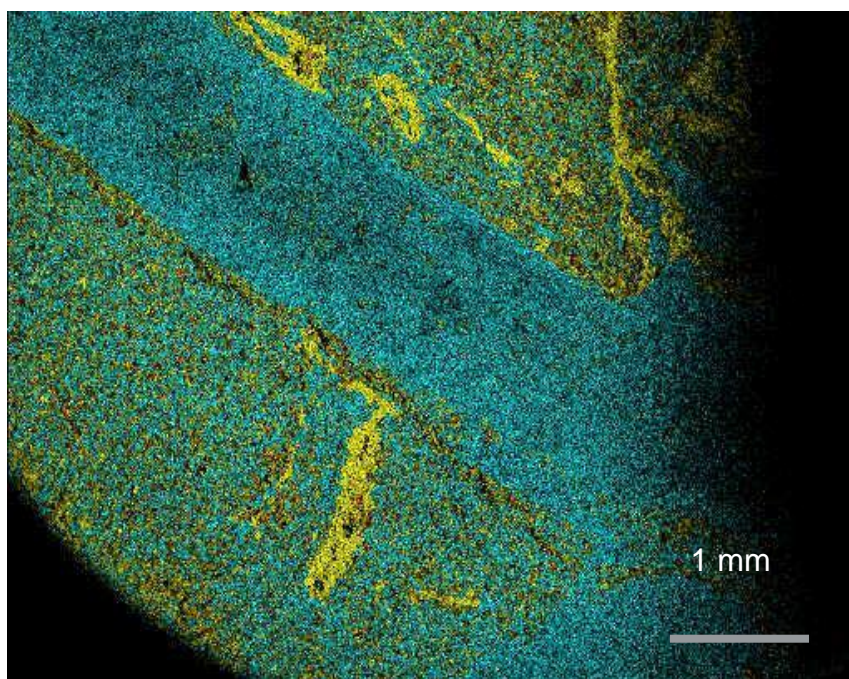
Fonte: O autor, 2014

Figura 41 – Amostra #1 Área #10 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



Fonte: O autor, 2014

Figura 42 – Amostra #1 Área #11 Lagoa Feia (MEV-Si-Ca-Mg)



Fonte: O autor, 2014