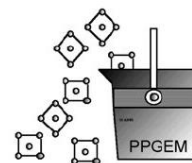




**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas,  
Metalúrgica e de Materiais

Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro



# **ANÁLISE DO EFEITO DA RECUPERAÇÃO DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM SOBRE OS TEORES DETERMINADOS NAS AMOSTRAS**

Geóloga Vivian Tavares Kayser

Porto Alegre, agosto de 2014

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. João Felipe C.L. Costa. Além de meu orientador na elaboração desse trabalho, meu melhor professor dentro da Universidade entre Graduação e Pós-Graduação. És um exemplo e minha inspiração profissional!

À UFRGS, à Escola de Engenharia e ao Laboratório de Pesquisa Mineral. Apesar de não frequentar todos os dias, locais que sempre considerei minha segunda casa.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM).

Ao DIPM/VALE pela disponibilização dos dados para este estudo, em especial ao Geólogo Filipe Porto. Hoje, meu ex-gerente, mas sempre meu amigo. A pessoa que me permitiu fazer este trabalho.

*Se o conhecimento pode criar problemas,  
não é através da ignorância que iremos resolvê-los.*

*Isaac Asimov*

## RESUMO

Este estudo avalia o impacto que diferentes fatores de recuperação de testemunhos de sondagem podem causar no teor considerado para um intervalo amostral. Foram investigadas algumas espécies químicas em testemunhos de minério de ferro e analisado o impacto nos teores determinados causados pela perda parcial de testemunho. Foram consideradas 9 litologias de 5 alvos diferentes, com teores entre 20 e 46% de ferro, sendo um friável e as demais, compactas. Além do ferro, avaliado em sua forma natural e em óxido, foram considerados os contaminantes  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , P e Mn. O estudo consiste em criar o banco de dados inicial, compor novas amostras com diferentes comprimentos e simular perdas parciais do testemunho. Após, compara-se o que ficou em termos de teor com o teor real, se o comprimento total tivesse sido considerado. Foram simuladas recuperações de 25, 33, 50, 66 e 75%. As principais comparações foram feitas via coeficiente de correlação, erro absoluto e erro relativo entre os valores reais e obtidos com testemunhos parciais. As recuperações impactaram de maneira distinta os elementos/óxidos, tanto de um depósito para outro, quanto para litologias dentro de um mesmo depósito. Teores de Fe e FeO mantiveram-se constantes em todas as recuperações para todas as litologias avaliadas. Porém, para os contaminantes, foram comprovados comportamentos bastante diferentes, onde recuperações mesmo de 75% podem gerar desvios significativos nos teores lidos em relação ao real. Em alguns casos, recuperações de 25% podem não geraram desvios significativos. Ou seja, para avaliações de estimativa de recursos e reconciliação, por exemplo, é importante saber que perdas de testemunhos podem, sim, gerar impactos significativos nos teores lido e que os desvios são diferentes para espécies químicas diferentes e de um depósito para outro.

## ABSTRACT

This study investigates the impact on grades caused by different core recoveries. It was considered the grade for a partial sampled interval for various chemical species in iron ore cores and compared to the grades determined using the complete core. The study comprise samples from 9 lithologies derived from 5 different iron ore deposits with iron grade ranging between 20 and 46%. All the lithologies were compact, except for one, which was friable. The chemical species analyzed include Fe, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P and Mn. The first step of the study consisted in creating the initial database, from where part of the composites were removed emulating core partial losses. After that, the complete true grade from the entire composite was compared to the sub-sample grade remove (mimicking a partially recovered core). The following core recoveries were tested: 25, 33, 50, 66 and 75%. Scatteplots were used to verify the correlation between the grades from the partial cores against the grades from the complete core. Statistics such as linear correlation coefficient, absolute and relative error were computed. Fe and FeO grades remained practically unaltered at all core recoveries simulated in all considered lithologies. Grade contaminants demonstrated different and erratic behaviors: significant deviation at 75% simulated recovery in some cases and non-significant deviation on 25% simulated recovery in other cases. Thus, it is clear seen core loss can induce significant impact in database values and consequently at resources estimation and reconciliation. Deviations varies for each chemical specie and for each deposit.

**KEYWORDS:** recovery, iron, core, simulation

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1.	CLASSIFICAÇÃO DE RECURSOS .....	8
	Estimativa .....	9
	Geologia .....	9
	Amostragem .....	10
<b>2.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
2.1.	COMPOSIÇÃO DE UM NOVO BANCO DE DADOS E SELEÇÃO DE AMOSTRAS .....	14
2.2.	SIMULAÇÕES DE DIFERENTES RECUPERAÇÕES DE TESTEMUNHO .....	18
2.3.	ELEMENTOS ANALISADOS .....	22
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>24</b>
3.1.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE CADA DEPÓSITO .....	24
3.2.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS COMPOSTAS E SUAS AMOSTRAS.....	24
	Compostas de 2 amostras .....	24
	Compostas de 3 amostras .....	29
	Compostas de 4 amostras .....	32
3.3.	DETERMINAÇÃO DOS TEORES PARA CADA SIMULAÇÃO DE RECUPERAÇÃO .....	36
3.4.	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E ERRO ABSOLUTO .....	38
3.5.	ERRO RELATIVO .....	43
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>.....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração é diferente da maioria dos outros negócios, pois o conhecimento do produto é essencialmente baseado em estimativas, que por sua vez incluem um certo grau de incerteza (Dominy *et al.*, 2002a). A estimativa de recursos é utilizada como base sobre a qual se estabelecem os estudos de viabilidade econômica, caso estes recursos atendam aos objetivos estratégicos das empresas. Souza (2002) diz que “qualquer avaliação feita com base em dados amostrais está sujeita a um erro de estimativa, conhecido somente após a lavra. Associado a qualquer estimativa de recursos, existe um risco (erro) que é frequentemente ignorado, desconsiderado ou abordado de maneira mais simplista. Assim, é frequente que se façam estimativas de tonelagens e teores que ignoram os altos riscos na classificação de recursos. A estimativa e a subsequente classificação dos recursos em diferentes classes ou categorias, de acordo com as possíveis variações que esses recursos apresentem, devem indicar não apenas os níveis diferenciados de risco envolvidos, mas permitir elaborar um modelo que quantifique esse risco”.

Está cada vez mais difícil encontrar depósitos com altos teores (ex. Serra dos Carajás, com teor médio de 66% de Fe), o que obriga as empresas a colocar em operação depósitos com teores baixos (em torno de 45 ou 35% de Fe, por exemplo). Dessa maneira, as margens de erro tornam-se cada vez menores e a necessidade de que as estimativas de recursos, independentemente do empreendimento ou do bem mineral, sejam cada vez mais precisas (Annels, 1991; Stone & Dunn, 1996; Sinclair & Vallée, 1998; Stephenson & Vann, 2001; Goldsmith, 2002). Prova disso são os estudos de Agarwal (1984), Burmeister (1988), Knoll (1989), Clow (1991) e Harquail (1991), que analisaram operações de mineração de ouro na Austrália e na América do Norte e concluíram que poucas obtiveram sucesso. Como causas para os insucessos, foram apontadas campanhas de sondagem e amostragem inadequadas, erros na interpretação geológica, análises inseguras ou incertas, gerando uma incorreta estimativa de teores e tonelagens e uma inadequada avaliação da diluição e das perdas de lavra. Além disso, Neuss (2001) discorreu sobre Busang na Indonésia (Bre-X), Josh em Nevada/EUA (*Delgratia Mining*) e Stenpad em Gana (*Golden Rule Resources*), casos de fraudes no setor de mineração.

Com o intuito de evitar que tais situações venham a ocorrer novamente, foram criadas agências regulamentadoras em diversos países como, por exemplo, na Austrália, África do Sul, Estados Unidos, Canadá e Chile. Essas agências têm a finalidade de criar recomendações para elaborações de relatórios públicos, sendo o mais famoso (e seguido), o código JORC. O código JORC - *The Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves* (AusIMM, 2012), foi estabelecido em 1971 e desde então publica vários relatórios com estas recomendações (boas práticas), sendo a última publicação de 2012. Foi o primeiro código elaborado e atualmente é adotado por diversos comitês por todo o mundo. Além dos comitês, empresas como a Rio Tinto adotaram o código como padrão de relatório (Weatherstone, 2000).

---

---

São exemplos de recomendações, além do Código JORC:

- Canadá: NI 43-101 e *Global Mineral Resources*
- África do Sul: SAMREC/SAMVAL
- Reino Unido e Europa: *Pan-European Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Reserves ("The PERC Reporting Code")*
- Estados Unidos: *SME Guide*
- Internacional: *CRIRSCO – Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards*, que é um comitê formado por um representante de cada organização.

Os princípios dos códigos são os mesmos: transparência, materialidade e competência. A definição de cada um foi retirada de AusIMM, 2012:

**Transparência:** as informações constantes em um relatório público de recursos e reservas devem ser em número suficiente e apresentadas de maneira clara e não-ambígua, permitindo a compreensão do relatório e não provocando enganos ou equívocos. O leitor não deve ser enganado por omissão de informações que sejam de conhecimento da pessoa competente.

**Materialidade:** todas as informações relevantes que eventuais investidores, auditores ou analistas poderiam razoavelmente solicitar ou esperar encontrar neste tipo de relatório, devem fazer parte do corpo do mesmo, de maneira a permitir a tomada de decisão e um julgamento fundamentado com respeito aos resultados exploratórios, recursos minerais e reservas que estão sendo declarados. A ausência de uma informação deve ser justificada.

**Competência:** o relatório deve estar baseado no trabalho de avaliação que deve ter sido executado sob a responsabilidade de pessoas qualificadas e competentes, sujeitas a um código de ética profissional (*Competent Person*).

### 1.1. Classificação de Recursos

A classificação de recursos minerais é uma das mais difíceis e desafiadoras responsabilidades do *Competent Person*. Ao mesmo tempo, é um dos trabalhos mais importantes e bem remunerados, visto que exige da CP o máximo de seu conhecimento e experiência em relação à qualidade dos dados, o conhecimento geológico e confiabilidade das estimativas para exercer um considerável julgamento profissional (Stephenson & Stoker, 2001). Dominy *et al.* (2002a) afirmam que pode existir um *Competent Person* para cada área envolvida no processo da estimativa de recursos e que todos podem assinar o relatório público.

A classificação de recursos deve estar em conformidade com códigos internacionais, com apresentação clara da metodologia e dos critérios utilizados. Todos os dados e estudos devem ser

---



validados e as incertezas, quantificadas. O sistema utilizado deve ser simples de entender e deve classificar os recursos de forma consistente entre as unidades amplas, tais como depósitos e regiões e até mesmo tipos de mineralização e deve levar em consideração as diferenças entre as diferentes unidades geológicas. Ou seja, deve levar em consideração as diferenças entre as diferentes unidades geológicas.

A classificação de recursos se baseia em três pilares: estimativa, geologia e amostragem. Se um desses pilares não estiver bem desenvolvido pode afetar a classificação final. Além disso, essas 3 áreas se completam e estão intrinsecamente ligadas.

### *Estimativa*

Dominy *et al.* (2002a) destacam que uma estimativa de recursos efetiva deve integrar um número diferente de facetas, que inclui coleção de dados geológicos (sondagem, mapeamento, etc.) e geotécnicos, amostragem e resultados químicos, determinação da densidade aparente, interpretação e modelagem geológica, estimativa de teor e tonelagem, validação e classificação de recursos confiável. Já a estimativa de reserva de minério depende da integração da estimativa de recursos minerais com seleção de escala, seletividade e método de lavra, planejamento de mina, estimativa de diluição e recuperação, mecânica de rochas e afloramentos d'água, projeto econômico e fluxo de caixa, preocupações de saúde e segurança, impostos e riscos políticos. Portanto, é muito importante que a classificação de recursos leve em consideração aspectos mais amplos como a confiança na interpretação geológica e a quantidade, distribuição e qualidade dos dados (Stephenson *et al.*, 2006).

Morley *et al.* (1999) afirmam que “o nível de incerteza relacionado a estimativa de teor depende das decisões tomadas em relação ao procedimento de modelamento matemático”. Isso inclui escolhas entre interpretações 2D e 3D, escolha do local das seções versus modelagem de blocos, técnicas de estimativa com pesos aplicados para cada amostra e teor de corte (Snowden, 1996). As decisões feitas a partir dessas informações afetam diretamente a tonelagem e teor do recurso. Elliot *et al.* (1997, 2001) descrevem como, com um grande valor de efeito pepita, a excessiva suavização pode resultar em classificação de minério como estéril. Rozman (1998) disse que toda estimativa de recurso ou reserva está destinada ao erro, apesar de algumas serem menos erradas que outras.

### *Geologia*

Diferente da análise financeira, que necessita de *inputs* quantitativos, o processo de estimativa de recurso/reserva inclui muitos *inputs* qualitativos. O custo da mineração, por exemplo, pode ser medido em dólares/tonelada. Contudo, a interpretação geológica, que é utilizada como guia da estimativa de recurso/reserva, não pode ser quantificada em unidades (Morley *et al.*, 1999). Mesmo não sendo um

---

---

*input* quantitativo, o impacto da incerteza geológica em um projeto mineiro é significativo, a tal ponto que pode fazer o projeto deslanchar ou quebrar financeiramente falando (Li, 2006).

As atividades comuns na modelagem da geologia incluem mapeamento de superfície, furos exploratórios, furos para definir as dimensões do corpo de minério, descrição dos testemunhos, amostragem, análise e compilação de todos os dados em um banco de dados validado e robusto (Morley *et al.*, 1999). A validação e interpretação dos dados geológicos durante a estimativa de recursos é também importante, como parte do desafio da estimativa para entender a geologia e como ela controla a distribuição dos teores (Sinclair, 1998; Dominy *et al.*, 2000a, 2003a, 2003b). Vale ressaltar também, que é importante que discussões de qualquer intervalo não amostrado nos dados sejam apresentadas no relatório de recurso a fim de fornecer melhores detalhes da natureza do depósito (Dominy, 2002b).

O foco do modelo geológico é definir as continuidades litológicas, que devem fornecer uma expectativa razoável do corpo mineralizado em um volume bem definido (depósito/domínio). Sem essa definição na continuidade geológica de uma zona mineralizada definida, nem a estimativa nem a classificação mineral são possíveis (Sinclair & Blackwell, 2002; Dominy *et al.*, 2003a).

Também, é importante notar que diferentes partes de um mesmo depósito podem ser geologicamente distintas e, portanto, devem ser caracterizadas por modelos diferentes de continuidade física e estatística (Vallée & Sinclair, 1993). Dominy *et al.* (2003) dizem que “zonas estruturais e/ou litológicas que localizem ou controlem a mineralização (ex. zonas de continuidade geológica) são os limites dentro dos quais a continuidade de teores será definida. Uma coisa é identificar as estruturas controladoras da mineralização, mas outra é saber que a estrutura, ou parte dela, é mineralizada continuamente entre dois pontos de controle. Teores normalmente são mais contínuos em distâncias curtas do que as dimensões da estrutura de controle geológico”. Resumindo, para se ter uma boa definição das continuidades de teor, é importantíssimo que se tenha, primeiramente, uma boa definição das continuidades geológicas.

### *Amostragem*

Métodos de coleta de amostras inapropriados, tratamento precário da amostra, preparação inadequada de amostra e análises ruins, ou ocasionalmente fraudulentas, têm potencial significativo para resultar em erros técnicos que vão gerar baixos níveis de acuracidade e/ou precisão, ou viés sistemático dos resultados analíticos (Gilfillan, 1998). Além disso, é a área que está mais susceptível a erros, seja na coleta, na preparação, onde existem os processos de redução da quantidade de material e redução de tamanho do material, ou na análise da amostra (Figura 1).

Por este motivo, a necessidade de programas de *Quality assurance/Quality control* (QA/QC) é de grande importância em qualquer projeto mineiro (Vallée, 1998a, 1998b, 2002, Noppé, 2004). O QA/QC

---

dos dados analíticos e ensaios realizados, e a corroboração dos dados geológicos dentro do processo de estimativa de recursos deveriam ser mandatórios. Abzalov (2008) faz uma revisão sobre procedimentos e práticas de QA/QC, os quais incluem:

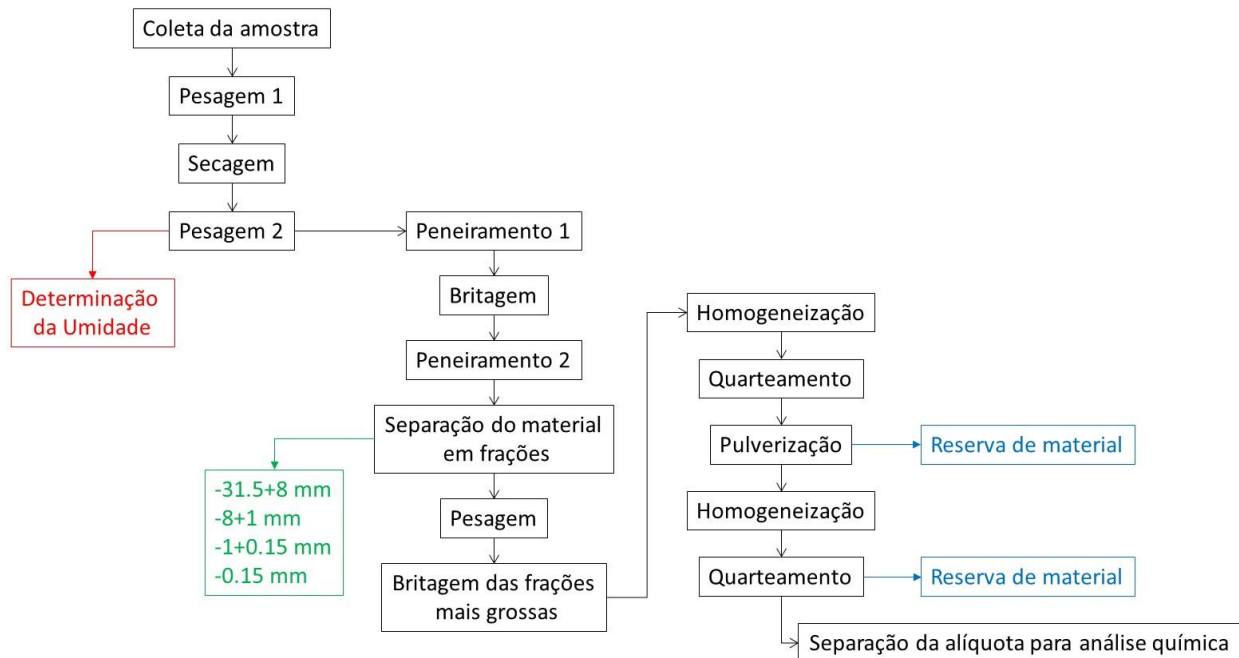


Figura 1: Exemplo de fluxograma genérico para preparação de amostras em depósitos de ferro.

**Quality Assurance (QA):** desenvolvimento e/ou manutenção de atividades adequadas a fim de garantir que o sistema alcançará seus objetivos. Ou seja, o QA garante que o processo é definido e apropriado através de metodologia e padronização das atividades. São procedimentos do QA (i) elaboração de procedimentos operacionais padronizados – PRO; (ii) treinamento da equipe; (iii) utilização de equipamentos seguros e com manutenção adequada; (iv) rastreabilidade das atividades; (v) revisão anual dos resultados de QC; (vi) análise de brancos, duplicatas e padrões e (vii) instituição de programas de certificação e troca de amostras.

**Quality Control (QC):** as atividades do QC focam em controlar a qualidade dos procedimentos utilizados para manter um nível desejado de qualidade na base de dados analíticos (ex. desenvolvimento da sondagem, relatório de desvio de furo).

Em qualquer estágio do projeto, a qualidade dos dados e as metodologias empregadas devem estar em primeiro plano para a equipe de projeto e devem ser submetidas a auditorias. Essa é uma parte crítica do QA. Essas auditorias devem sintetizar e revisar a qualidade dos dados inseridos (geologia e química ou *assay*), a aplicabilidade das técnicas utilizadas na modelagem, a confiança do modelo de teor e os vários

---

fatores utilizados para realizar a estimativa. Idealmente, uma equipe independente, sem ligação com os estimadores originais, deve executar essas tarefas (Dominy *et al.*, 2002a).

Os contratos entre as empresas de sondagem (contratadas) e as empresas que estão pesquisando um alvo (contratantes) estipulam recuperações mínimas de um testemunho a serem aceitas pelas empresas contratantes. O percentual de recuperação acordado, geralmente entre 70 e 80%, varia conforme a litologia atravessada, a compacidade da rocha e o tipo de sondagem realizada. Dependendo do que foi estipulado no contrato, caso a empresa de sondagem não atinja a recuperação determinada, a empresa contratante não tem obrigação de pagar pelo furo. Além do mais, furos com baixa recuperação são descartados na hora de fazer a avaliação do depósito, uma vez que, as leituras nas propriedades amostradas são imprecisas e inacuradas devido à pouca (ou nenhuma) representatividade que o testemunho possui. Porém, quando chega-se nessa etapa do processo, todos os estudos, análises e ensaios destes furos já foram realizados. Ou seja, já houve muito dispêndio de recursos financeiros, humanos e de tempo. Além disso, e se o furo estiver locado em uma região significativamente importante para a estimativa dos teores? Se por alguma adversidade não existir nenhum outro furo próximo a ele? Se os dados desse furo fizerem diferença para a estimativa? Nunca se estudou uma maneira de utilizar estes furos ou, principalmente, de verificar o impacto que a baixa recuperação pode causar nos teores.

A verdade é que não se tem conhecimento de um estudo para determinar valores mínimos aceitáveis para recuperação de testemunhos, ou de onde ou como esses valores mínimos tenham sido determinados, tampouco a sua influência sobre os elementos e/ou óxidos analisados. Aliás, muito pouco existe na literatura a respeito desse assunto. No código JORC, por exemplo, o que se encontra de informação a respeito de recuperação de testemunhos é

*Drill sample recovery:*

- *Method of recording and assessing core and chip sample recoveries and results assessed.*
- *Measures taken to maximise sample recovery and ensure representative nature of the samples.*
- *Whether a relationship exists between sample recovery and grade and whether sample bias may have occurred due to preferential loss/gain of fine/coarse material.*

O SAMREC Code também não define recuperação mínima aceitável e deixa a critério da empresa essa escolha, que deve garantir a qualidade e representatividade do material:

*EXPLORATION RESULTS (A)*

- (i) Discuss the governance of the sampling campaign and process, to ensure quality and representivity of samples and data, such as sample recovery, high grading, selective losses or contamination, core/hole diameter, internal and external QA/QC, and any other factors that may have resulted in or identified sample bias.*
-

Essas descrições podem ser encontradas na página 27 do *JORC Code (AusIMM, 2012)* e na página 41 do *SAMREC Code*.

Dessa maneira, algumas questões surgem:

- Qual seria o impacto na avaliação de um depósito se alguns intervalos sondados tivessem recuperações baixas?
- Esse intervalo deveria mesmo ser descartado? Ou o furo inteiro?
- Será que o impacto é o mesmo para cada espécie química que foi analisada?
- É possível determinar essa recuperação mínima para todos os depósitos ou cada depósito teria um limite mínimo distinto?
- A baixa recuperação de testemunho pode gerar problemas na reconciliação?

Com base nestes questionamentos, a proposta deste estudo é avaliar o impacto que diferentes recuperações podem causar no teor considerado para um intervalo amostral de algumas espécies químicas a partir de simulações de perda parcial de testemunho. Para tanto, foram avaliadas 9 litologias de 5 alvos diferentes, todas enriquecidas em ferro. O estudo consiste de recriar o banco de dados inicial, onde as amostras retidas passam a ser parte de amostras maiores (compostas). Nesse novo banco de dados, partes das amostras serão retiradas de suas compostas, simulando uma perda parcial de testemunho para, então, poder comparar o que ficou em termos de teor com o que deveria ter sido se o comprimento total tivesse sido considerado. Das espécies químicas, serão avaliados o ferro (Fe e FeO) e seus principais contaminantes.

---

## 2. METODOLOGIA

Foram utilizados 5 bancos de dados, sendo avaliadas somente as litologias com teor de ferro acima de 20% (Chemale Jr, F. & Takehara, L.; 2013), conforme demonstrado na Tabela 1. Os nomes dos alvos foram modificados – porém, como os diferentes tipos de minério são considerados na avaliação, o nome original destes foram preservados.

Tabela 1: Litologias de minério avaliadas dos 5 bancos de dados com teor de ferro médio de cada uma.

Alvo	Código Litológico	Código Litológico	Fe %
ALVO 1	Hematitito friável	HF	65.60
	Itabirito friável	IF	53.10
	Itabirito compacto	ITC	38.08
ALVO 2	Formação ferrífera bandada compacta	BIF	37.27
ALVO 3	Brecha ferruginosa compacta	BRF	22.96
	Hematitito friável	HF	67.09
	Itabirito anfibolítico compacto	IAN	20.25
	Itabirito hematítico compacto	IHC	36.05
	Itabirito magnetítico compacto	IMC	34.91
ALVO 4	Canga ferruginosa compacta	CAF	57.01
	Diamictito hematítico compacto	DHC	37.53
	Diamictito hematítico friável	DHF	45.86
	Diamictito hematítico pobre compacto	DIC	23.79
ALVO 5	Formação ferrífera bandada compacto	BIF	27.12
	Hematitito friável	HEM	51.91

### 2.1. Composição de um novo banco de dados e seleção de amostras

Como a proposta do estudo é avaliar o efeito da recuperação de testemunho de sondagem sobre o teor de Fe e seus principais contaminantes declarado no intervalo sondado (não necessariamente com mesmos comprimentos), é necessário montar novos bancos de dados, cujas amostras corresponderão a uma composição de amostras sequenciais do banco de dados original e passarão a ser chamadas de “compostas” (Figura 2). Para isso, a seleção dessas amostras foi feita com base na combinação dos seguintes critérios:

- 100% de recuperação na manobra;
- Apenas uma litologia presente no intervalo;
- Tamanho de testemunho de 5±2m;
- Amostras consecutivas.

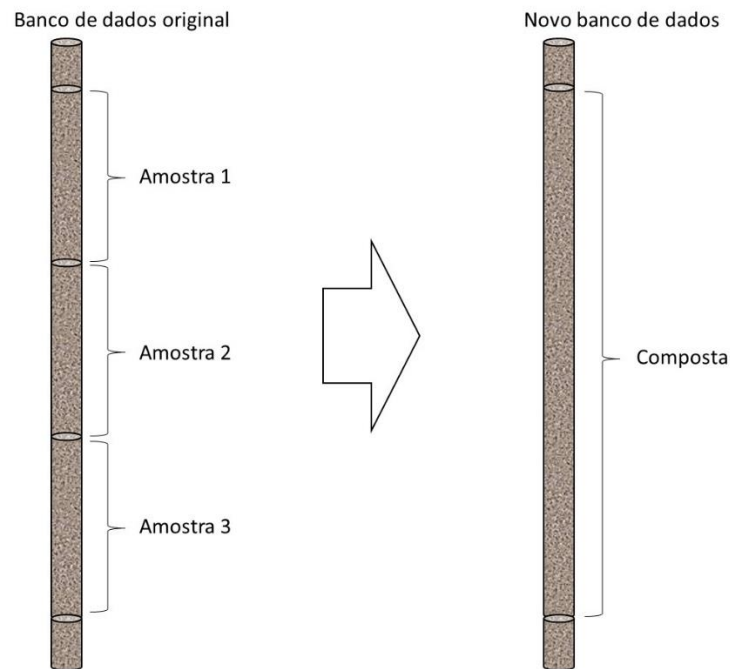


Figura 2: Exemplo de como foi composto o novo banco de dados a partir do banco original. A “composta” do novo banco de dados foi montada a partir de amostras sequenciais, com 100% de recuperação, na mesma litologia e com tamanho de testemunho no intervalo de  $5\pm 2\text{m}$  do banco de dados original.

Nesses novos bancos de dados, as compostas passam a ser entendidas como um intervalo com 100% de recuperação cujo teor corresponderá à média ponderada entre as amostras que as compõem. Ao total, foram criados 3 novos bancos para cada litologia de cada alvo: o primeiro com compostas criadas a partir de 2 amostras do banco de dados original, o segundo com compostas criadas a partir de 3 amostras do banco de dados original e o terceiro com compostas criadas a partir de 4 amostras do banco de dados original. A Figura 3 apresenta como foi feita a seleção de amostras (hachuradas em cinza claro) com base nos critérios acima citados para cada novo banco. Por exemplo, o furo demonstrado na figura, ALVO02-FURO12, tem 19 amostras. Destas, as amostras ALVO02-FURO12-0002 e ALVO02-FURO12-0016 a ALVO02-FURO12-0019 foram excluídas da seleção por apresentarem mais de uma litologia. As amostras 14 e 15 foram excluídas por não apresentarem 100% de recuperação. Logo, das 19 amostras que compõem este furo, 12 estão dentro dos critérios definidos para o estudo.

**Banco de dados original**

Seleção das amostras:

- Minério
- +
- 100% de recuperação
- +
- 1 única litologia presente na amostra
- +
- Intervalo amostral de 5±2m
- +
- Amostras consecutivas

Furo	Amostra	De	Até	Espessura (m)	Rec amostra (m)	Rec amostra (%)	Litologia por intervalo	Contribuição da litologia (%)	Fe (%)
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0001	0	3	3	3	100	0:3:CLV	CLV(100%)	40.47
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0002	3	9	6	6	100	3:3.4:CLV/3.4:9:QBX	CLV(6.667%) / QBX(93.333%)	23.21
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0003	9	14	5	5	100	9:14:BIF	BIF(100%)	39.56
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0004	14	19	5	5	100	14:19:BIF	BIF(100%)	35.98
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0005	19	24	5	5	100	19:24:BIF	BIF(100%)	37.29
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0006	24	29	5	5	100	24:29:BIF	BIF(100%)	39.78
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0007	29	34	5	5	100	29:34:BIF	BIF(100%)	38.61
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0008	34	38	4	4	100	34:38:BIF	BIF(100%)	37.4
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0009	38	42	4	4	100	38:42:BIF	BIF(100%)	39.77
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0010	42	46	4	4	100	42:46:BIF	BIF(100%)	38.22
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0011	46	50	4	4	100	46:50:BIF	BIF(100%)	35.93
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0012	50	55	5	5	100	50:55:BIF	BIF(100%)	39.86
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0013	55	60	5	5	100	55:60:BIF	BIF(100%)	40.71
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0014	60	65	5	4.97	99.33	60:65:BIF	BIF(100%)	35.04
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0015	65	71.23	6.23	6.21	99.73	65:71.23:BIF	BIF(100%)	37.26
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0016	71.23	77	5.77	5.77	100	71.23:77.27:BIF/71.27:78.35:QBX	BIF(0.693%) / QBX(99.307%)	22.03
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0017	77	85.06	8.06	8.06	100	77:78.35:QBX/78.35:95.9:QMD	QBX(16.749%) / QMD(83.251%)	12.65
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0018	85.06	90	4.94	4.94	100	85.06:90:QMD	QMD(100%)	10.43
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0019	90	95.9	5.9	5.9	100	90:95.9:QMD	QMD(100%)	10.24

Novos bancos de dados

Com compostas de 2 amostras

Furo	Amostra	De	Até	Espessura	Rec (%)	Lito	Fe (%)	Composta	Fe_composta (%)	Litologia
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0003	9	14	5	100	BIF(100%)	39.56	Comp_2_001	37.77	BIF
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0004	14	19	5	100	BIF(100%)	35.98			

Com compostas de 3 amostras

Furo	Amostra	De	Até	Espessura	Rec (%)	Lito	Fe (%)	Composta	Fe_composta (%)	Litologia
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0003	9	14	5	100	BIF(100%)	39.56	Comp_3_001	37.61	BIF
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0004	14	19	5	100	BIF(100%)	35.98			
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0005	19	24	5	100	BIF(100%)	37.29			

Com compostas de 4 amostras

Furo	Amostra	De	Até	Espessura	Rec (%)	Lito	Fe (%)	Composta	Fe_composta (%)	Litologia
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0003	9	14	5	100	BIF(100%)	39.56	Comp_4_001	38.1525	BIF
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0004	14	19	5	100	BIF(100%)	35.98			
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0005	19	24	5	100	BIF(100%)	37.29			
ALVO02-FURO12	ALVO02-FURO12-0006	24	29	5	100	BIF(100%)	39.78			

Figura 3: Criação dos novos bancos de dados com compostas de 2, 3 e 4 amostras. As compostas foram criadas com base nos critérios de recuperação, tamanho de amostra e litologia.



É importante destacar, que a localização das amostras apenas foi necessária para poder definir as compostas, visto que era prioritário que as mesmas estivessem em sequência para esta composição. A mesma regra vale para o tamanho de cada amostra: era importante saber o tamanho para poder obter o teor da composta. Portanto, os novos bancos de dados compreendem apenas o teor da composta e de suas respectivas amostras, visto que os mesmos já estão separados por alvo e por litologia (Figura 4). As amostras foram dispostas em ordem crescente de teor.

COMPOSIÇÃO DE 2 AMOSTRAS	ALVO	Composta	Lito	Fe (%)		
				Amostra 1	Amostra 2	Composta
				ALVO 1	Comp_2_001	ITC
ALVO 1	Comp_2_002	ITC	37.90	38.80	38.35	
ALVO 1	Comp_2_003	ITC	35.80	36.50	36.15	
ALVO 1	Comp_2_004	ITC	35.80	36.10	35.95	
ALVO 1	Comp_2_005	ITC	35.00	37.00	36.00	
ALVO 1	Comp_2_006	ITC	36.30	38.60	37.45	
ALVO 1	Comp_2_007	ITC	34.70	36.20	35.45	
ALVO 1	Comp_2_008	ITC	34.30	35.30	34.80	

COMPOSIÇÃO DE 3 AMOSTRAS	ALVO	Composta	Lito	Fe (%)			
				Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Composta
				ALVO 1	Comp_3_001	ITC	37.90
ALVO 1	Comp_3_002	ITC	35.80	36.50	38.80	37.03	
ALVO 1	Comp_3_003	ITC	35.00	35.80	36.10	35.63	
ALVO 1	Comp_3_004	ITC	36.30	37.00	38.60	37.30	
ALVO 1	Comp_3_005	ITC	34.70	35.30	36.20	35.40	
ALVO 1	Comp_3_006	ITC	33.80	34.30	35.70	34.60	
ALVO 1	Comp_3_007	ITC	35.60	36.10	37.20	36.30	
ALVO 1	Comp_3_008	ITC	34.70	35.90	36.00	35.53	

COMPOSIÇÃO DE 4 AMOSTRAS	ALVO	Composta	Lito	Fe (%)				
				Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Composta
				ALVO 1	Comp_4_001	ITC	37.90	38.30
ALVO 1	Comp_4_002	ITC	35.80	35.80	36.10	36.50	36.05	
ALVO 1	Comp_4_003	ITC	35.00	36.30	37.00	38.60	36.73	
ALVO 1	Comp_4_004	ITC	34.30	34.70	35.30	36.20	35.13	
ALVO 1	Comp_4_005	ITC	33.80	35.60	35.70	37.20	35.58	
ALVO 1	Comp_4_006	ITC	34.70	35.90	36.00	36.10	35.68	
ALVO 1	Comp_4_007	ITC	32.40	35.50	35.80	36.40	35.03	
ALVO 1	Comp_4_008	ITC	36.70	37.10	38.10	38.80	37.65	

Figura 4: Exemplo do banco de dados final para compostas de 2, 3 e 4 amostras do Alvo 1, litologia ITC. As amostras foram colocadas em ordem crescente de teores.

### 2.2. Simulações de diferentes recuperações de testemunho

A proposta do estudo é simular perdas na recuperação dos testemunhos durante a sondagem e ver o quanto que o testemunho que foi recuperado pode ou não representar o total de seu intervalo. Por este motivo, foram criados os 3 novos bancos, onde cada um pode simular diferentes recuperações, conforme será mostrado a seguir. Nessa simulação, as compostas representam o testemunho sem perdas, enquanto que as amostras são usadas para representar diferentes porcentagens de recuperações.

Para os bancos compostos a partir de 2 amostras, é possível simular recuperação de 50% (Figura 5). A composta equivale a 100% de recuperação e cada amostra equivale a 50% de recuperação. Por exemplo, a COMP\_2\_001 da Figura 4 tem 39.17% de Fe e suas amostras têm, 38.30 e 40% de Fe. Simulando uma recuperação de 50%, quanto de desvio existiria se, por exemplo, 38.30% de ferro (teor da amostra 1 referente a recuperação de metade do testemunho – composta) fosse usado para representar o teor que seria obtido se houvesse a recuperação total do testemunho?

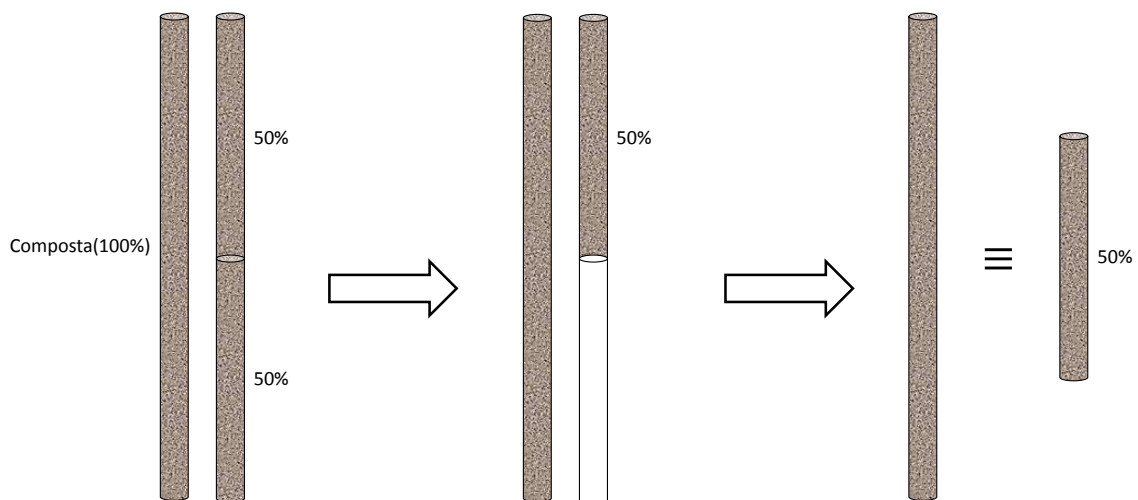


Figura 5: Simulação de recuperação de 50% de testemunho. Se usássemos a metade do testemunho (figura central meia parte hachurada) para representar o intervalo total amostrado, seria equivalente ao mostrado na terceira imagem à direita. Ou seja, o teor de 50% do testemunho representando o teor se houvesse sido analisado todo o testemunho.

Utilizando-se as compostas de 3 amostras simulam-se recuperações de 33 e 66%. A recuperação de 33% é obtida comparando os teores lidos em uma amostra e comparado diretamente com sua composta (Figura 6), enquanto que a recuperação de 66% é obtida através da associação de 2 amostras (Figura 7). Portanto, nesse banco, foram criadas “sub-amostras” (Figura 8), que correspondem à combinação de

outras 2 amostras, para poder simular uma recuperação que não poderia ser obtida de maneira direta. Como os dados já estão todos normalizados, nesse caso não é necessário fazer média ponderada para determinar o teor das sub-amostras.

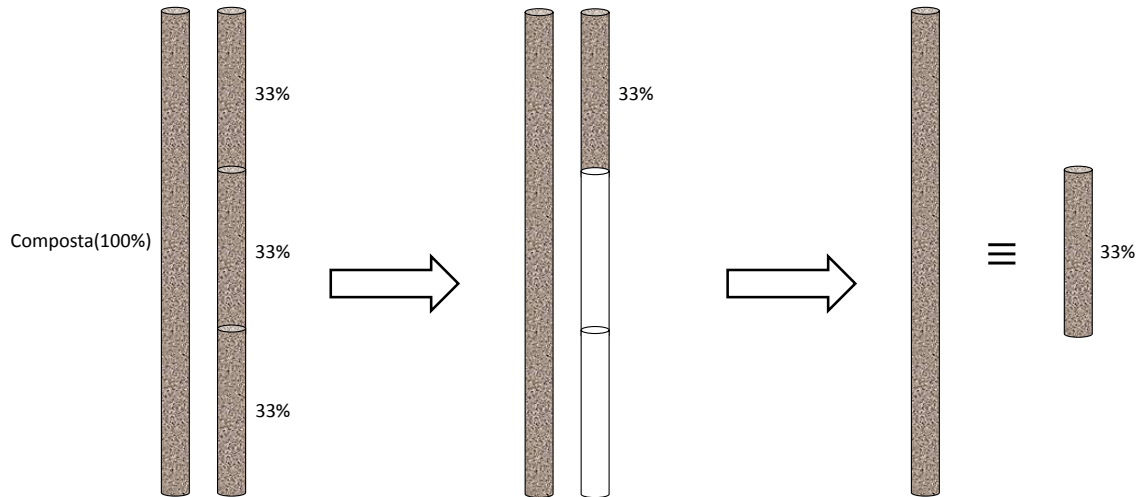


Figura 6: Simulação de recuperação de 33% de testemunho. Usa-se o teor de um testemunho com 1/3 ou 33% da composta para se comparar ao valor da composta (total).

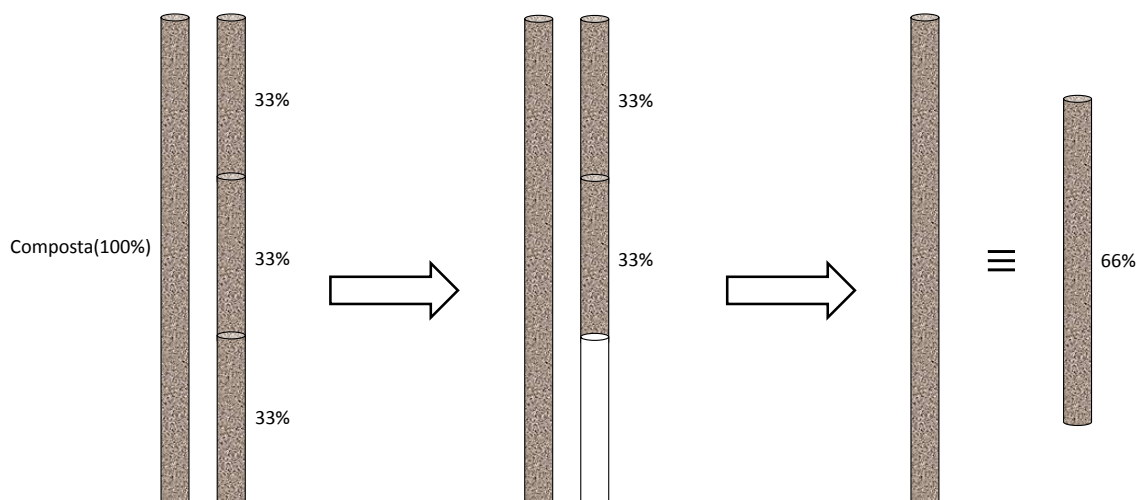


Figura 7: Simulação de recuperação de 66% de testemunho a partir da associação de 2 amostras. Usa-se o teor de dois testemunhos com 2/3 ou 66% da composta para se comparar ao valor da composta (total).

ALVO	Composta	Lito	Fe (%)						
			Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Am 1+Am 2	Am 1+Am 3	Am 2+Am 3	Composta
			33%	33%	33%	66%	66%	66%	100%
ALVO 1	Comp_3_001	ITC	37.90	38.30	40.00	38.10	38.95	39.05	38.74
ALVO 1	Comp_3_002	ITC	35.80	36.50	38.80	36.15	37.30	37.48	37.03
ALVO 1	Comp_3_003	ITC	35.00	35.80	36.10	35.40	35.55	35.75	35.63
ALVO 1	Comp_3_004	ITC	36.30	37.00	38.60	36.65	37.45	37.63	37.30
ALVO 1	Comp_3_005	ITC	34.70	35.30	36.20	35.00	35.45	35.60	35.40
ALVO 1	Comp_3_006	ITC	33.80	34.30	35.70	34.05	34.75	34.88	34.60
ALVO 1	Comp_3_007	ITC	35.60	36.10	37.20	35.85	36.40	36.53	36.30
ALVO 1	Comp_3_008	ITC	34.70	35.90	36.00	35.30	35.35	35.65	35.53

Figura 8: Possíveis combinações das amostras criadas no banco de dados para simular recuperação de 66% (marcadas em cinza claro) dos testemunhos. Amostras individuais simulam recuperação de 33%.

Ao se usar compostas com 4 amostras pode-se simular recuperações de 25, 50 e 75% (Figuras 9, 10 e 11, respectivamente). A recuperação de 25% é obtida comparando uma amostra (1/4 do comprimento do testemunho total) diretamente com sua composta. A recuperação de 50% é obtida através da associação de 2 amostras e a recuperação de 75% é obtida através da associação de 3 amostras sempre comparando os teores das amostras com o teor da composta total. Logo, nesse banco também foram criadas “sub-amostras” (Figura 12), para poder simular recuperações que não poderiam ser obtidas de maneira direta.

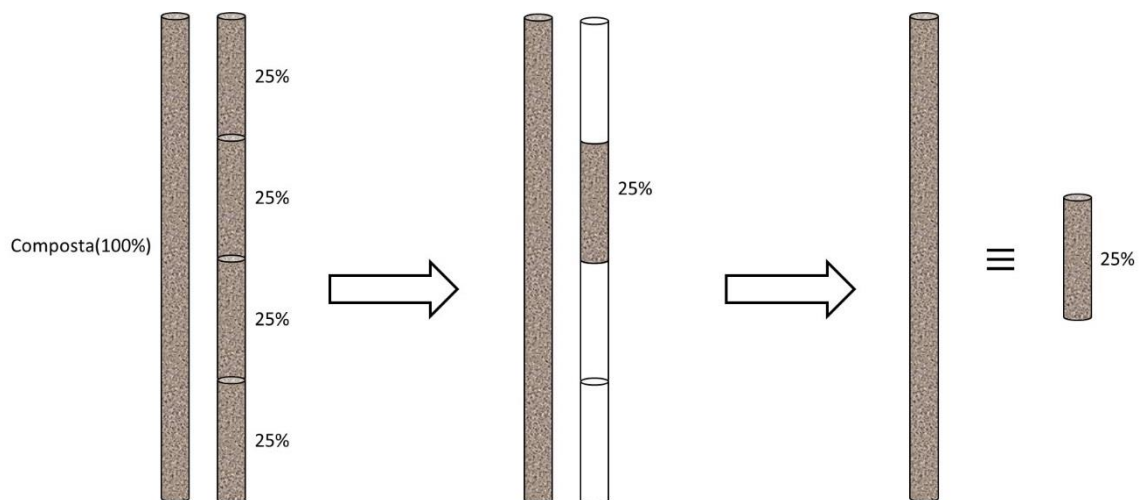


Figura 9: Simulação de recuperação de 25% de testemunho. Usa-se o teor de um testemunho com 1/4 ou 25% da composta para se comparar ao valor da composta (total).

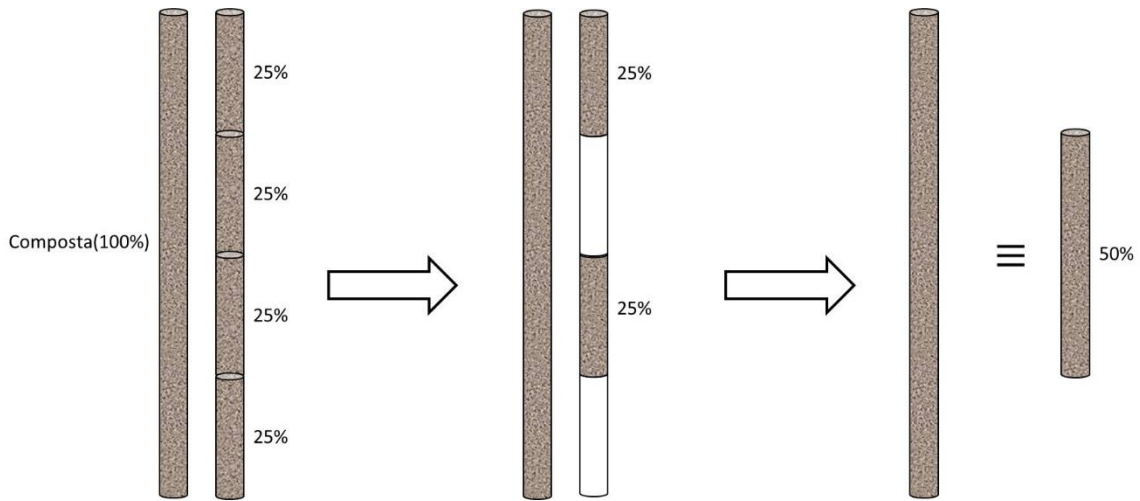


Figura 10: Simulação de recuperação de 50% de testemunho com 4 amostras, a partir da associação de 2 amostras. Usa-se o teor de um testemunho com 1/2 ou 50% da composta para se comparar ao valor da composta (total).

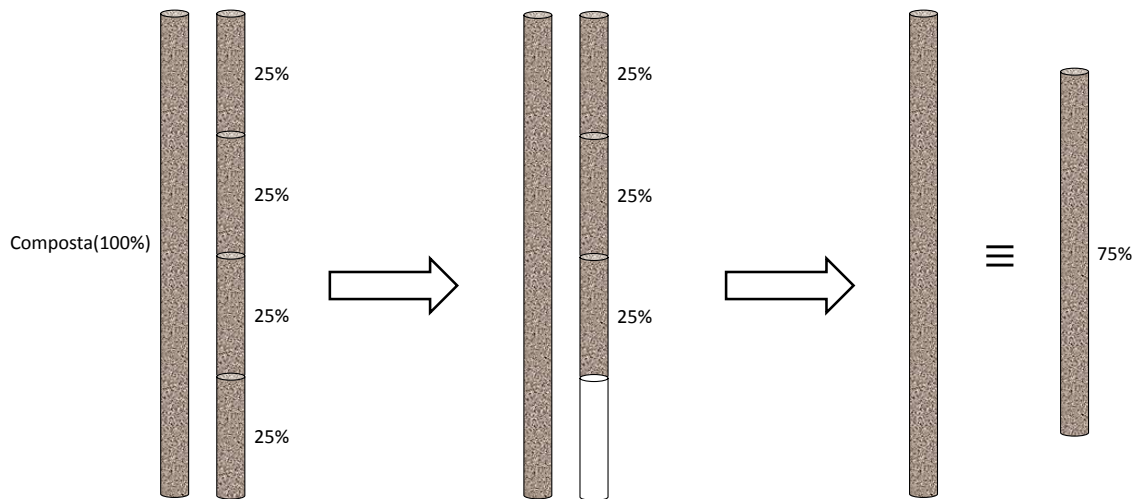


Figura 11: Simulação de recuperação de 75% de testemunho a partir da associação de 3 amostras. Usa-se o teor de um testemunho com 3/4 ou 75% da composta para se comparar ao valor da composta (total).

ALVO	Composta	Lito	Fe (%)														Composta
			Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Am 1+ Am 2	Am 1+ Am 3	Am 1+ Am 4	Am 2+ Am 3	Am 2+ Am 4	Am 3+ Am 4	Am 1+ Am 2+ Am 3	Am 1+ Am 2+ Am 4	Am 1+ Am 3+ Am 4	Am 2+ Am 3+ Am 4	
			25%	25%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	75%	75%	75%	75%	
ALVO 1	Comp_4_001	ITC	37.90	38.30	38.80	40.00	38.10	38.35	38.95	38.55	39.15	39.40	38.33	38.73	38.90	39.03	38.75
ALVO 1	Comp_4_002	ITC	35.80	35.80	36.10	36.50	35.80	35.95	36.15	35.95	36.15	36.30	35.90	36.03	36.13	36.13	36.05
ALVO 1	Comp_4_003	ITC	35.00	36.30	37.00	38.60	35.65	36.00	36.80	36.65	37.45	37.80	36.10	36.63	36.87	37.30	36.73
ALVO 1	Comp_4_004	ITC	34.30	34.70	35.30	36.20	34.50	34.80	35.25	35.00	35.45	35.75	34.77	35.07	35.27	35.40	35.13
ALVO 1	Comp_4_005	ITC	33.80	35.60	35.70	37.20	34.70	34.75	35.50	35.65	36.40	36.45	35.03	35.53	35.57	36.17	35.58
ALVO 1	Comp_4_006	ITC	34.70	35.90	36.00	36.10	35.30	35.35	35.40	35.95	36.00	36.05	35.53	35.57	35.60	36.00	35.68
ALVO 1	Comp_4_007	ITC	32.40	35.50	35.80	36.40	33.95	34.10	34.40	35.65	35.95	36.10	34.57	34.77	34.87	35.90	35.03
ALVO 1	Comp_4_008	ITC	36.70	37.10	38.10	38.80	36.90	37.40	37.75	37.60	37.95	38.45	37.30	37.53	37.87	38.00	37.65

Figura 12: Possíveis combinações das amostras criadas no banco de dados para simular recuperações de 50 e 75% (marcadas em cinza claro) dos testemunhos. Amostras individuais simulam recuperação de 25%.

Devido à quantidade de dados disponíveis, das 15 litologias previamente selecionadas, somente pode-se prosseguir o estudo com 9: itabirito compacto para o Alvo 1, formação ferrífera bandada para os

Alvos 2 e 5, brecha ferruginosa, itabirito anfíbolítico e itabirito magnetítico para o Alvo 3, diamictito hematítico compacto, friável e pobre para o Alvo 4 (Tabela 2).

### 2.3. Elementos analisados

Os elementos/óxidos analisados para cada alvo são apresentados na Tabela 3. Na dissertação, serão discutidos os resultados associados a Fe, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P e Mn. As demais espécies químicas tiveram muitos resultados abaixo do limite de detecção, o que não permite fazer análises da dispersão de seus resultados.

Tabela 2: Quantidade de compostas geradas com 2, 3 e 4 amostras consecutivas e definição das litologias avaliadas no estudo (marcadas em azul claro).

Alvo	Litologia	Compostas com 2 amostras	Compostas com 3 amostras	Compostas com 4 amostras	Situação
ALVO 1	HF	1	0	0	Não avaliado
	IF	6	5	0	Não avaliado
	ITC	123	110	95	Avaliado
ALVO 2	BIF	654	528	428	Avaliado
ALVO 3	BRF	21	15	9	Avaliado
	HF	1	0	0	Não avaliado
	IAN	47	41	36	Avaliado
	IHC	17	10	4	Não avaliado
	IMC	49	33	21	Avaliado
ALVO 4	CAF	1	0	0	Não avaliado
	DHC	199	142	98	Avaliado
	DHF	25	15	7	Avaliado*
	DIC	251	185	143	Avaliado
ALVO 5	BIF	971	577	315	Avaliado
	HEM	6	4	1	Não avaliado

\*Somente avaliadas compostas com 2 e 3 amostras.

Tabela 3: Elementos/óxidos analisados em cada alvo. No Alvo 3, não foi analisado o BaO.

Alvo	Elementos/óxidos analisados	
	Por fluorescência de raios-x	Por titulometria
ALVO 1	Fe, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P, Mn, TiO <sub>2</sub> , BaO, CaO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, Na <sub>2</sub> O e LOI (perda ao fogo).	FeT, FeO
ALVO 2	Fe, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P, Mn, TiO <sub>2</sub> , BaO, CaO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, Na <sub>2</sub> O e LOI (perda ao fogo).	FeT, FeO
ALVO 3	Fe, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P, Mn, TiO <sub>2</sub> , CaO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, Na <sub>2</sub> O e LOI (perda ao fogo).	FeT, FeO
ALVO 4	Fe, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P, Mn, TiO <sub>2</sub> , BaO, CaO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, Na <sub>2</sub> O e LOI (perda ao fogo).	FeT, FeO
ALVO 5	Fe, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P, Mn, TiO <sub>2</sub> , BaO, CaO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, Na <sub>2</sub> O e LOI (perda ao fogo).	FeT, FeO

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

#### 3.1. Características químicas de cada depósito

Comparando os 5 depósitos do estudo, percebe-se que, apesar de todos se tratarem de minério de ferro, eles apresentam algumas peculiaridades (Tabela 4). Os alvos 1 e 2 são bastante parecidos entre si, com teor de ferro de aproximadamente 38%, e alto FeO, o que significa que eles são minérios magnetítico e com baixo teor de contaminantes. O Alvo 3 é o menos enriquecido em ferro e o que tem os maiores teores de alumínio. O Alvo 4 é o mais heterogêneo de todos, com 3 litologias bastante diferentes entre si. O Alvo 5 tem baixo teor de Fe, assim como BRF do Alvo 3 e DIC do Alvo 4, porém com alto FeO e alumina.

Tabela 4: Teor de ferro e contaminantes de cada litologia/depósito.

	Fe (%)	FeO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	P (%)	Mn (%)
ALVO 1 - ITC	38.08	9.12	40.45	0.29	0.01	0.03
ALVO 2 - BIF	37.27	15.29	43.83	0.93	0.02	0.04
ALVO 3 - BRF	22.96	1.55	58.05	5.27	0.02	0.05
ALVO 3 - IAN	20.25	11.02	52.41	3.91	0.02	0.09
ALVO 3 - IMC	34.91	12.24	43.25	0.97	0.02	0.06
ALVO 4 - DHC	37.53	0.73	41.87	1.93	0.21	0.09
ALVO 4 - DHF	45.86	0.79	30.55	2.21	0.08	0.03
ALVO 4 - DIC	23.79	0.93	57.58	3.72	0.24	0.08
ALVO 5 - BIF	27.12	7.76	51.88	3.79	0.04	0.13

#### 3.2. Características químicas das compostas e suas amostras

##### Compostas de 2 amostras

A primeira observação que pode ser feita é que a variância das compostas é sempre menor que a variância das amostras (Figuras 13 a 15). As compostas representam uma média dos teores das amostras e a dispersão em seus valores acaba sendo menor, gerando, assim, uma suavização na variância. Fenômeno é conhecido como relação volume-variância (Parker, 1979).

Para os minérios deste estudo, em geral, os teores médios do Fe variam de 20 a 40% com variâncias entre 5 e 60%<sup>2</sup> (Tabelas 5 e 6). Os teores de sílica são mais elevados, de 40 a 60%, assim como a variância.

Para o ferro (Figura 13) é possível distinguir 1 grupo com teores médios de 35 a 42% e variância de 10 a 35%<sup>2</sup> para compostas e amostras: itabirito do Alvo 1, BIF do Alvo 2 e diamictitos hematíticos friável



e compacto do Alvo 4. Para o óxido de ferro (Figura 13) é possível distinguir 2 grupos: o primeiro com teores muito baixos de FeO e, conseqüentemente, nesse caso, variância baixa também e o segundo, com alto FeO (entre 12 e 17%) e baixa variância (aproximadamente 10%). No primeiro grupo, são encontrados diamictitos do Alvo 4 e a brecha ferruginosa do Alvo 3. São minérios hematíticos, e não possuem magnetismo, por isso o FeO é muito baixo. No segundo grupo são encontrados os itabiritos anfíbolítico e magnético do Alvo 3 e a formação bandada do Alvo 2.

Os histogramas de ferro das amostras e das compostas apresentam comportamento bastante distintos de um depósito para o outro (Anexo 1). Enquanto os alvos 1, 2 e 5 são simétricos, ou seja, com distribuição normal, os alvos 3 e 4 apresentam domínio de 2 populações. Já os histogramas do FeO apresentaram domínio de 2 populações para o Alvo 1 e o Alvo 5 e apenas os histogramas do Alvo 2 e os itabiritos do Alvo 3 são simétricos. Os histogramas da sílica apresentaram as mesmas características dos histogramas do ferro: alvos 1, 2 e 5 simétricos e alvos 3 e 4 com 2 populações. Para a alumina, os Alvos 1, 2 e 5 apresentaram histogramas com assimetria positiva. Os mesmos histogramas são observados para todos os minérios do Alvo 4 para o fósforo e para o BIF do Alvo 5 para o manganês.

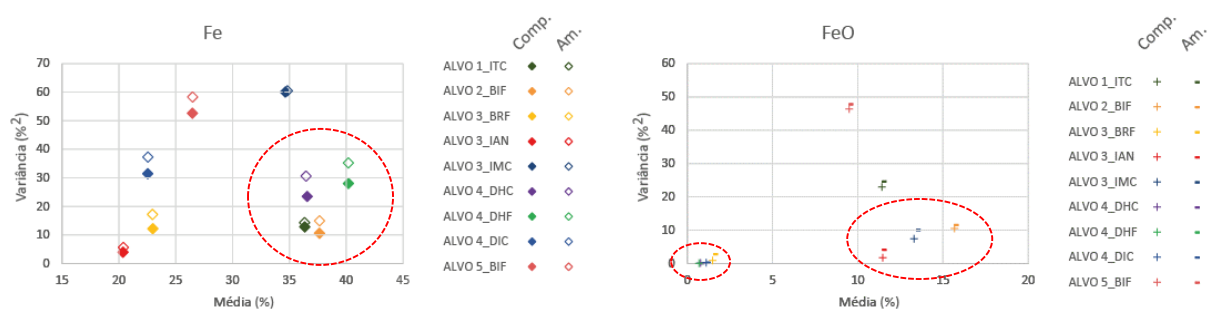


Figura 13: Gráficos de média x variância de compostas (preenchidas) e amostras (sem preenchimento) para o Fe e o FeO. É possível distinguir 1 grupo no Fe: média entre 35 e 42% e variância de 10 a 35%<sup>2</sup> (ALVO 1 ITC, ALVO 2 BIF e ALVO 4 DHF e DHC). Para o FeO é possível distinguir 2 grupos: um com teores muito baixos e, conseqüentemente, variância baixa também (ALVO 3 BRF, ALVO 4 DHF, DHC e DIC), e outro com alto FeO e pouca dispersão (ALVO 2 BIF e ALVO 3 IAN e IMC).

Já nos contaminantes, existe uma clara divisão na sílica (Figura 14): litologias com até 45% de SiO<sub>2</sub> (os minérios dos alvos 1, 2 e 4) e litologias com teores acima de 50% (os minérios dos alvos 3 e 5). As litologias com os teores mais elevados de sílica são as que apresentam maior variância. No alumínio, destaca-se a brecha do Alvo 3, que é a litologia com maior teor médio e maior variância dentre todas as estudadas.

Muitos dos teores de fósforo (Figura 15) estão abaixo do limite de detecção, isso faz com que fiquem todos com o mesmo valor e, por isso, a variância é zero. Além disso, é possível observar que o Alvo 4 tem fósforo em sua composição, enquanto que os demais alvos não. No manganês, é possível identificar

apenas 1 grupo: com média de 0.05% e variância de até 0.008%<sup>2</sup>. Fazem parte desse grupo o Alvo 1, Alvo 2, a brecha do Alvo 3 e os diamictitos hematíticos do Alvo 4.

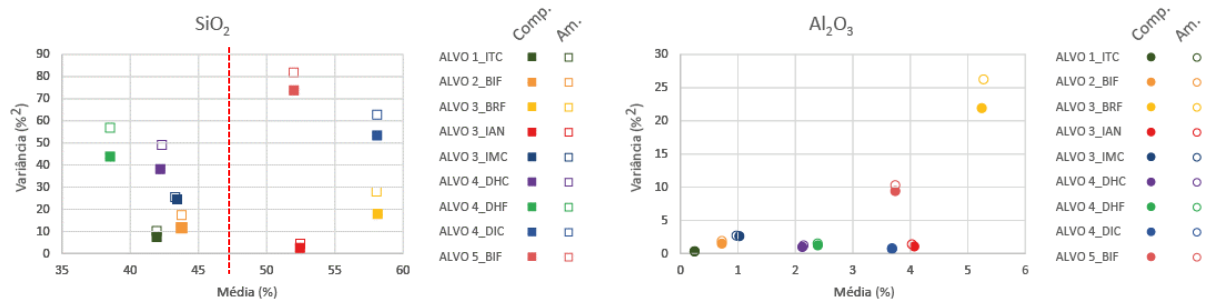


Figura 14: Gráficos de média x variância de compostas (preenchidas) e amostras (sem preenchimento) para a sílica e a alumina. No gráfico da sílica, existem 2 grupos: um com teores variando entre 37 e 45% (itabirito do Alvo 1, BIF do Alvo 2, itabirito magnetítico do Alvo 3 e os diamictitos hematíticos do Alvo 4) e o outro com teores entre 50 e 60% (demais). Em ambos os grupos, a dispersão é variável, sendo um pouco menor no primeiro grupo. Para a alumina, destaca-se a brecha do Alvo 3, que é a litologia com a maior média e a que apresenta maior variação dos dados.

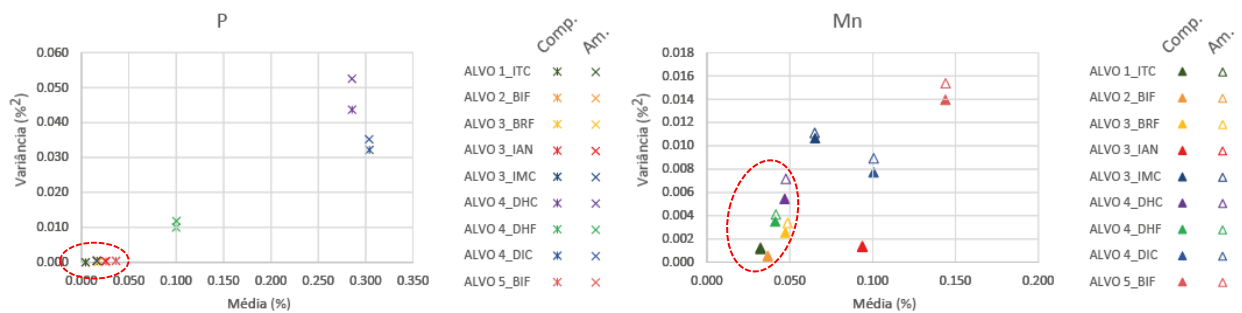


Figura 15: Gráficos de média x variância de composta e amostras para o fósforo e o manganês. Os dados de fósforo que estão próximo de zero estão abaixo do limite de detecção, por isso a variância é zero. No manganês, é possível identificar apenas 1 grupo: com média de 0.05% e variância de até 0.008%<sup>2</sup>. Fazem parte desse grupo o Alvo 1, Alvo 2, a brecha do Alvo 3 e os diamictitos hematíticos do Alvo 4.

Tabela 5: Estatística básica do Fe e FeO para amostras e compostas de 2 amostras.

Alvo	Litologia	Parâmetros	Fe		FeO	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 1	ITC	Média	36.35	36.34	11.41	11.44
		Variância	12.77	14.30	22.96	24.63
		Desvio padrão	3.57	3.78	4.79	4.96
		Valor mínimo	23.15	21.40	1.19	0.92
		Valor máximo	47.28	53.60	18.55	18.71
ALVO 2	BIF	Média	37.64	37.65	15.67	15.67
		Variância	10.55	14.92	10.51	11.52
		Desvio padrão	3.25	3.86	3.24	3.39
		Valor mínimo	23.05	13.60	2.15	1.50
		Valor máximo	47.77	62.70	30.20	35.64

Alvo	Litologia	Parâmetros	Fe		FeO	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 3	BRF	Média	22.99	22.96	1.49	1.55
		Variância	12.19	17.18	0.83	2.79
		Desvio padrão	3.49	4.14	0.91	1.67
		Valor mínimo	13.46	12.07	0.71	0.44
		Valor máximo	27.54	29.28	5.08	11.46
ALVO 3	IAN	Média	20.36	20.40	11.46	11.45
		Variância	3.96	5.64	1.73	4.05
		Desvio padrão	1.99	2.38	1.32	2.01
		Valor mínimo	16.09	12.59	5.58	1.01
		Valor máximo	24.59	24.91	13.42	15.58
ALVO 3	IMC	Média	34.65	34.82	13.30	13.45
		Variância	60.06	60.51	7.39	10.01
		Desvio padrão	7.75	7.78	2.72	3.16
		Valor mínimo	17.26	16.45	5.14	3.32
		Valor máximo	44.08	45.28	19.65	21.12
ALVO 4	DHC	Média	36.57	36.46	0.78	0.79
		Variância	23.47	30.62	0.11	0.12
		Desvio padrão	4.84	5.53	0.32	0.34
		Valor mínimo	25.36	15.80	0.10	0.05
		Valor máximo	50.48	53.76	1.79	2.10
ALVO 4	DHF	Média	40.19	40.19	0.67	0.71
		Variância	28.07	35.20	0.05	0.04
		Desvio padrão	5.30	5.93	0.22	0.20
		Valor mínimo	31.56	25.47	0.31	0.36
		Valor máximo	53.30	54.72	1.33	1.35
ALVO 4	DIC	Média	22.54	22.55	1.11	1.13
		Variância	31.50	37.30	0.19	0.21
		Desvio padrão	5.61	6.11	0.44	0.46
		Valor mínimo	8.69	7.27	0.00	0.21
		Valor máximo	32.99	36.00	2.39	3.25
ALVO 5	BIF	Média	26.48	26.48	9.49	9.49
		Variância	52.65	58.31	46.35	47.81
		Desvio padrão	7.26	7.64	6.81	6.91
		Valor mínimo	4.47	3.47	0.05	0.05
		Valor máximo	54.25	64.10	27.53	27.91

Tabela 6: Estatística básica dos contaminantes para amostras e compostas de 2 amostras.

Alvo	Litologia	Parâmetros	SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		P		Mn	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.	Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 1	ITC	Média	41.93	41.94	0.24	0.25	0.00	0.00	0.03	0.03
		Variância	7.40	10.15	0.32	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	2.72	3.19	0.56	0.60	0.00	0.00	0.03	0.04
		Valor mínimo	29.64	19.80	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo	48.85	49.60	3.42	3.86	0.02	0.02	0.20	0.22

ALVO 2	BIF	Média	43.77	43.77	0.72	0.72	0.02	0.02	0.04	0.04
		Variância	11.56	17.42	1.50	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	3.40	4.17	1.22	1.38	0.02	0.03	0.02	0.02
		Valor mínimo	28.10	4.60	0.05	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00
		Valor máximo	62.60	62.60	8.49	14.00	0.13	0.24	0.19	0.43
ALVO 3	BRF	Média	58.13	58.05	5.24	5.27	0.02	0.02	0.05	0.05
		Variância	17.90	28.01	21.92	26.26	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	4.23	5.29	4.68	5.12	0.01	0.01	0.05	0.06
		Valor mínimo	46.42	43.67	0.79	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01
		Valor máximo	65.02	66.44	23.02	27.03	0.04	0.05	0.19	0.20
ALVO 3	IAN	Média	52.44	52.45	4.07	4.03	0.03	0.03	0.09	0.09
		Variância	2.57	4.37	1.06	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	1.60	2.09	1.03	1.18	0.02	0.02	0.04	0.04
		Valor mínimo	49.69	48.40	2.77	2.44	0.01	0.01	0.04	0.04
		Valor máximo	56.96	59.31	7.92	10.32	0.11	0.15	0.21	0.24
ALVO 3	IMC	Média	43.43	43.30	1.03	0.97	0.02	0.02	0.07	0.07
		Variância	24.54	25.49	2.63	2.69	0.00	0.00	0.01	0.01
		Desvio padrão	4.95	5.05	1.62	1.64	0.02	0.02	0.10	0.11
		Valor mínimo	37.58	36.46	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
		Valor máximo	55.76	56.09	6.16	6.82	0.09	0.11	0.46	0.47
ALVO 4	DHC	Média	42.20	42.31	2.12	2.14	0.29	0.29	0.05	0.05
		Variância	38.17	49.01	0.98	1.24	0.04	0.05	0.01	0.01
		Desvio padrão	6.18	7.00	0.99	1.11	0.21	0.23	0.07	0.08
		Valor mínimo	23.67	23.20	0.11	0.09	0.03	0.02	0.00	0.00
		Valor máximo	56.05	67.50	5.61	6.65	1.00	1.14	0.80	1.06
ALVO 4	DHF	Média	38.52	38.52	2.39	2.39	0.10	0.10	0.04	0.04
		Variância	43.77	56.78	1.22	1.52	0.01	0.01	0.00	0.00
		Desvio padrão	6.62	7.54	1.10	1.23	0.10	0.11	0.06	0.06
		Valor mínimo	22.35	20.56	0.26	0.23	0.03	0.03	0.01	0.01
		Valor máximo	50.16	58.27	4.12	4.81	0.48	0.55	0.30	0.41
ALVO 4	DIC	Média	58.10	58.10	3.68	3.68	0.30	0.30	0.10	0.10
		Variância	53.37	62.77	0.69	0.80	0.03	0.04	0.01	0.01
		Desvio padrão	7.31	7.92	0.83	0.89	0.18	0.19	0.09	0.09
		Valor mínimo	37.86	36.75	2.01	1.10	0.04	0.03	0.00	0.00
		Valor máximo	76.95	81.00	6.06	6.54	0.80	0.90	0.61	0.64
ALVO 5	BIF	Média	51.99	51.99	3.74	3.74	0.04	0.04	0.14	0.14
		Variância	73.74	81.88	9.41	10.29	0.00	0.00	0.01	0.02
		Desvio padrão	8.59	9.05	3.07	3.21	0.02	0.02	0.12	0.12
		Valor mínimo	20.34	4.20	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo	81.30	83.10	14.66	15.70	0.20	0.26	0.82	0.87

### Compostas de 3 amostras

Comparando a distância entre os pares para as compostas de 3 amostras com as compostas de 2 amostras (Figura 16 a 18), percebe-se um aumento na distância entre eles, ou seja, um aumento na diferença da variância das amostras em relação às compostas.

Os mesmos grupos são mantidos, tanto para o Fe e FeO (Figura 16) quanto para os contaminantes (Figuras 17 e 18). No gráfico do alumínio, no entanto, existe uma maior aproximação entre os diamictitos hematíticos do Alvo 4. Os dados de fósforo ficaram bastante semelhantes e nos dados de manganês é possível visualizar uma diminuição na variância do grupo anteriormente identificado. A variância, que antes era de 0 a 0.008%<sup>2</sup> caiu para 0 a 0.005%<sup>2</sup>.

Os dados de média, valores mínimo e máximo são os mesmos das compostas anteriores, sendo que a variância é a que apresenta as maiores diferenças, podendo chegar a mais de 50%<sup>2</sup> de variação (Tabelas 7 e 8), como é o caso da sílica para o DHF do Alvo 4: as compostas anteriores apresentaram variância de 43.77%<sup>2</sup>, enquanto estas têm variância de 19.72%<sup>2</sup>.

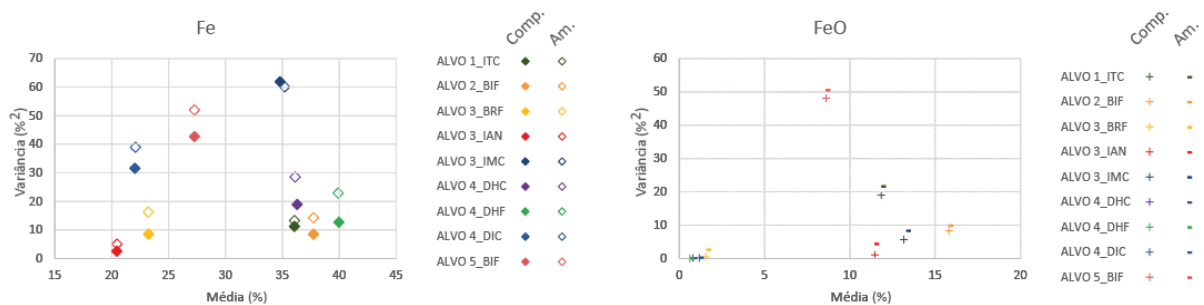


Figura 16: Gráficos de média x variância de compostas (preenchidas) e amostras (sem preenchimento) para o Fe e o FeO para compostas de 3 amostras. Os grupos identificados anteriormente na Figura 14 são mantidos, com a diferença que a variância nestes gráficos é um pouco maior.

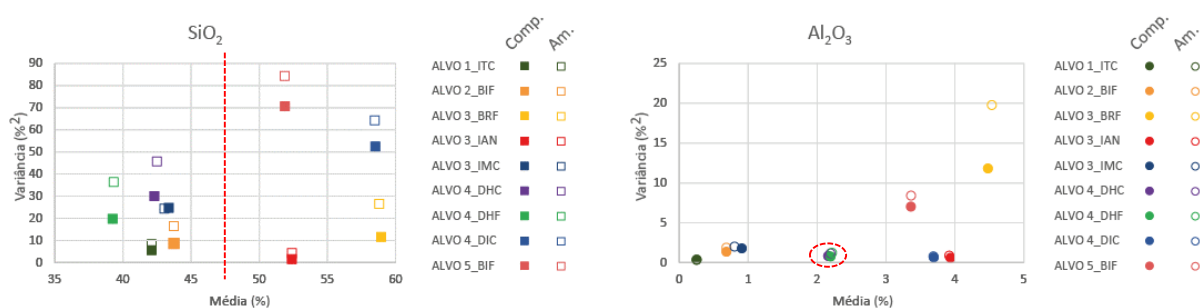


Figura 17: Gráficos de média x variância de compostas (preenchidas) e amostras (sem preenchimento) para a sílica e a alumina. Comparando este gráfico com o da Figura 15, não há variação na sílica e na alumina é possível perceber uma maior aproximação entre os diamictitos hematíticos do Alvo 4.

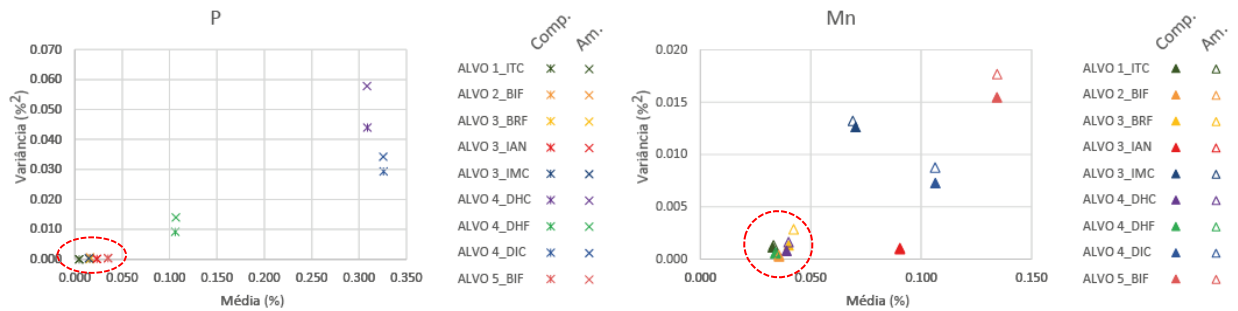


Figura 18: Gráficos de média x variância de composta e amostras para o fósforo e o manganês. Os dados de fósforo ficaram bastante semelhantes em relação ao banco de dados de 2 amostras. Quanto ao Mn, é possível visualizar uma diminuição na variância do grupo anteriormente identificado.

Tabela 7: Estatística básica do Fe e FeO das amostras e compostas de 3 amostras.

Alvo	Litologia	Parâmetros	Fe		FeO	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 1	ITC	Média	36.06	36.05	11.85	11.88
		Variância	11.25	13.27	19.04	21.63
		Desvio padrão	3.35	3.64	4.36	4.65
		Valor mínimo	23.07	21.40	1.70	1.36
		Valor máximo	40.30	41.60	18.47	18.71
ALVO 2	BIF	Média	37.73	37.73	15.82	15.82
		Variância	8.48	14.25	8.34	9.89
		Desvio padrão	2.91	3.78	2.89	3.15
		Valor mínimo	22.78	13.60	2.73	1.50
		Valor máximo	46.90	62.70	27.82	35.64
ALVO 3	BRF	Média	23.24	23.21	1.57	1.62
		Variância	8.49	16.24	0.49	2.63
		Desvio padrão	2.91	4.03	0.70	1.62
		Valor mínimo	15.90	12.07	0.80	0.57
		Valor máximo	27.26	29.28	3.82	11.46
ALVO 3	IAN	Média	20.44	20.45	11.47	11.47
		Variância	2.55	5.01	1.08	4.33
		Desvio padrão	1.60	2.24	1.04	2.08
		Valor mínimo	16.13	12.59	8.37	1.01
		Valor máximo	24.13	24.91	13.22	15.58
ALVO 3	IMC	Média	34.79	35.19	13.16	13.33
		Variância	61.93	60.11	5.64	8.30
		Desvio padrão	7.87	7.75	2.37	2.88
		Valor mínimo	18.15	16.45	8.21	3.32
		Valor máximo	44.01	45.28	17.83	21.12

Alvo	Litologia	Parâmetros	Fe		FeO	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 4	DHC	Média	36.29	36.12	0.81	0.82
		Variância	18.94	28.56	0.09	0.11
		Desvio padrão	4.35	5.34	0.30	0.33
		Valor mínimo	28.73	15.80	0.29	0.21
		Valor máximo	47.99	51.45	1.72	1.87
ALVO 4	DHF	Média	39.96	39.90	0.63	0.68
		Variância	12.65	22.90	0.01	0.01
		Desvio padrão	3.56	4.79	0.12	0.11
		Valor mínimo	34.42	25.47	0.45	0.36
		Valor máximo	47.88	53.71	0.80	0.89
ALVO 4	DIC	Média	22.04	22.08	1.18	1.20
		Variância	31.62	38.97	0.17	0.19
		Desvio padrão	5.62	6.24	0.41	0.44
		Valor mínimo	8.73	7.27	0.29	0.21
		Valor máximo	31.74	36.00	2.26	3.25
ALVO 5	BIF	Média	27.27	27.27	8.62	8.62
		Variância	42.72	52.00	48.13	50.52
		Desvio padrão	6.54	7.21	6.94	7.11
		Valor mínimo	6.32	3.47	0.13	0.05
		Valor máximo	48.50	64.10	26.99	27.91

Tabela 8: Estatística básica dos contaminantes SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P e Mn das compostas e amostras.

Alvo	Litologia	Parâmetros	SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		P		Mn	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.	Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 1	ITC	Média	42.10	42.10	0.25	0.26	0.00	0.00	0.03	0.03
		Variância	5.56	8.19	0.32	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	2.36	2.86	0.57	0.62	0.00	0.00	0.03	0.04
		Valor mínimo	37.70	34.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo	47.03	49.60	2.94	3.86	0.02	0.02	0.19	0.22
ALVO 2	BIF	Média	43.73	43.74	0.68	0.68	0.02	0.02	0.04	0.04
		Variância	8.56	16.43	1.37	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	2.93	4.05	1.17	1.37	0.02	0.03	0.02	0.02
		Valor mínimo	29.37	4.60	0.05	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00
		Valor máximo	61.66	62.60	7.18	14.00	0.15	0.24	0.12	0.17
ALVO 3	BRF	Média	58.93	58.80	4.48	4.54	0.02	0.02	0.04	0.04
		Variância	11.53	26.45	11.82	19.78	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	3.40	5.14	3.44	4.45	0.01	0.01	0.04	0.05
		Valor mínimo	52.91	43.67	1.42	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01
		Valor máximo	65.01	66.44	16.36	27.03	0.03	0.05	0.13	0.20

Alvo	Litologia	Parâmetros	SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		P		Mn	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.	Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 3	IAN	Média	52.39	52.39	3.93	3.92	0.02	0.02	0.09	0.09
		Variância	1.50	4.24	0.59	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	1.23	2.06	0.77	0.94	0.01	0.01	0.03	0.03
		Valor mínimo	50.21	48.40	3.02	2.44	0.01	0.01	0.04	0.04
		Valor máximo	55.67	59.31	7.98	10.32	0.08	0.12	0.20	0.24
ALVO 3	IMC	Média	43.36	43.04	0.91	0.80	0.02	0.01	0.07	0.07
		Variância	24.68	24.40	1.78	2.00	0.00	0.00	0.01	0.01
		Desvio padrão	4.97	4.94	1.33	1.41	0.02	0.02	0.11	0.11
		Valor mínimo	37.91	36.46	0.07	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
		Valor máximo	55.41	56.09	5.37	6.36	0.07	0.11	0.43	0.47
ALVO 4	DHC	Média	42.31	42.49	2.16	2.19	0.31	0.31	0.04	0.04
		Variância	29.99	45.61	0.82	1.15	0.04	0.06	0.00	0.00
		Desvio padrão	5.48	6.75	0.90	1.07	0.21	0.24	0.03	0.04
		Valor mínimo	26.53	23.20	0.49	0.09	0.04	0.03	0.01	0.00
		Valor máximo	52.63	67.50	5.59	6.65	0.94	1.14	0.13	0.27
ALVO 4	DHF	Média	39.24	39.31	2.20	2.22	0.11	0.11	0.03	0.03
		Variância	19.72	36.30	0.77	1.23	0.01	0.01	0.00	0.00
		Desvio padrão	4.44	6.02	0.88	1.11	0.10	0.12	0.02	0.03
		Valor mínimo	27.88	23.09	1.26	0.23	0.04	0.04	0.01	0.01
		Valor máximo	45.61	58.27	3.94	4.81	0.38	0.55	0.07	0.08
ALVO 4	DIC	Média	58.52	58.48	3.69	3.69	0.33	0.33	0.11	0.11
		Variância	52.37	64.29	0.64	0.79	0.03	0.03	0.01	0.01
		Desvio padrão	7.24	8.02	0.80	0.89	0.17	0.18	0.09	0.09
		Valor mínimo	40.42	36.75	2.36	1.10	0.04	0.03	0.00	0.00
		Valor máximo	75.80	81.00	5.73	6.54	0.69	0.90	0.47	0.64
ALVO 5	BIF	Média	51.88	51.88	3.36	3.36	0.04	0.04	0.13	0.13
		Variância	70.59	84.33	7.02	8.42	0.00	0.00	0.02	0.02
		Desvio padrão	8.40	9.18	2.65	2.90	0.02	0.02	0.12	0.13
		Valor mínimo	28.66	4.20	0.28	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo	74.93	83.10	13.36	15.70	0.15	0.26	0.74	0.87

#### Compostas de 4 amostras

O aumento de variância entre amostras e compostas que ocorreu da maneira significativa das compostas de 2 amostras para as compostas de 3 amostras não ocorre entre as compostas de 3 e 4 amostras. Nesse caso, a variância permanece praticamente inalterada (Figuras 19 a 21 e Tabelas 9 e 10).

Os gráficos de cada elemento/óxido (figuras 19 a 21) são praticamente idênticos aos da composta anterior. Apenas na alumina (Figura 20), é possível perceber que a brecha do Alvo 3 apresenta uma diminuição significativa na média e na variância em relação às compostas de 2 e 3 amostras.



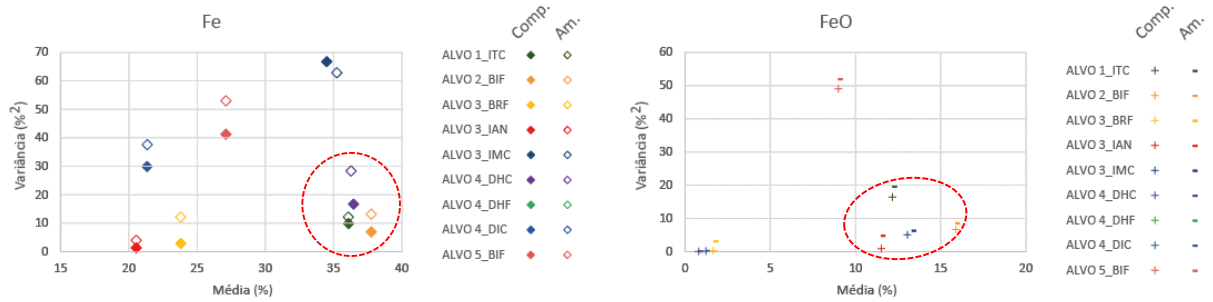


Figura 19: Gráficos de média x variância de compostas (preenchidas) e amostras (sem preenchimento) para o Fe e o FeO para compostas de 4 amostras. Não se observa diferença entre este gráfico e o da Figura 18.

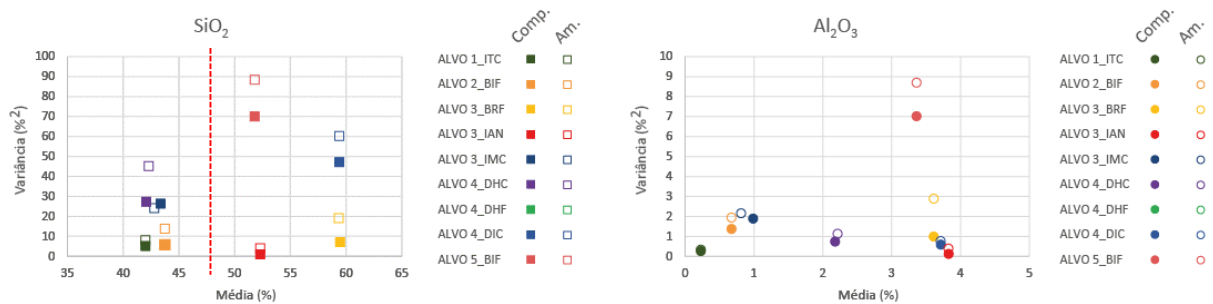


Figura 20: Gráficos de média x variância de compostas (preenchidas) e amostras (sem preenchimento) para SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Comparando-se este gráfico com os das Figuras 15 e 19, não há variação na sílica e na alumina é possível perceber que a brecha do Alvo 3 apresenta uma diminuição significativa na média e na variância em relação às compostas de 2 e 3 amostras.

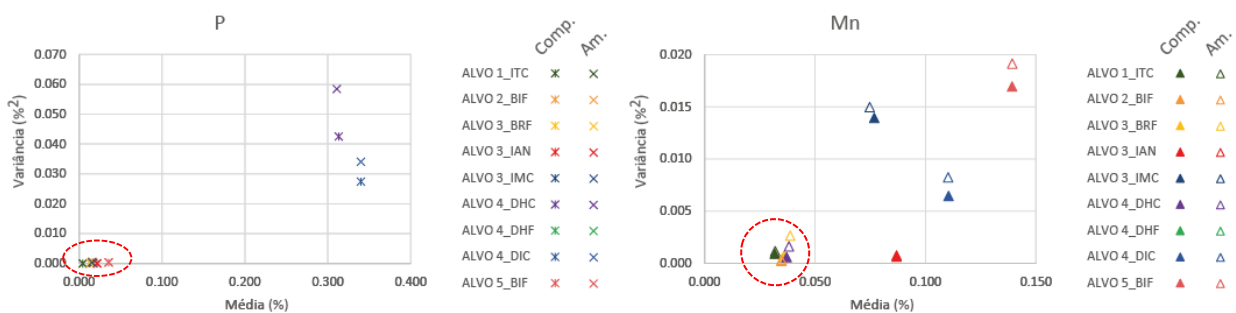


Figura 21: Gráficos de média x variância de composta e amostras para P e Mn. O comportamento das amostras permanece inalterado.

Tabela 9: Estatística básica do Fe e FeO das amostras e compostas de 4 amostras.

Alvo	Litologia	Parâmetros	Fe		FeO	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 1	ITC	Média	36.09	36.08	12.17	12.19
		Variância	9.89	12.13	16.42	19.57
		Desvio padrão	3.14	3.48	4.05	4.42
		Valor mínimo	23.25	21.40	2.19	1.36
		Valor máximo	40.40	41.60	17.74	18.71
ALVO 2	BIF	Média	37.76	37.76	15.89	15.89
		Variância	6.94	13.17	6.65	8.53
		Desvio padrão	2.63	3.63	2.58	2.92
		Valor mínimo	26.18	13.60	2.94	1.50
		Valor máximo	43.74	52.50	26.93	35.64
ALVO 3	BRF	Média	23.81	23.79	1.64	1.70
		Variância	2.89	12.14	0.33	3.11
		Desvio padrão	1.70	3.48	0.57	1.76
		Valor mínimo	21.79	15.58	1.19	0.78
		Valor máximo	26.55	29.28	3.10	11.46
ALVO 3	IAN	Média	20.54	20.54	11.51	11.51
		Variância	1.33	3.94	0.88	4.77
		Desvio padrão	1.15	1.98	0.94	2.18
		Valor mínimo	17.59	14.98	9.16	1.01
		Valor máximo	22.61	24.48	13.00	15.58
ALVO 3	IMC	Média	34.51	35.24	13.05	13.32
		Variância	66.75	62.91	5.02	6.25
		Desvio padrão	8.17	7.93	2.24	2.50
		Valor mínimo	18.60	16.45	9.58	7.83
		Valor máximo	42.42	44.89	17.83	17.96
ALVO 4	DHC	Média	36.47	36.28	0.80	0.80
		Variância	16.65	28.33	0.07	0.09
		Desvio padrão	4.08	5.32	0.27	0.31
		Valor mínimo	29.55	15.80	0.49	0.29
		Valor máximo	47.30	51.45	1.58	1.87
ALVO 4	DIC	Média	21.33	21.34	1.23	1.24
		Variância	29.93	37.57	0.14	0.18
		Desvio padrão	5.47	6.13	0.38	0.43
		Valor mínimo	9.63	8.52	0.43	0.29
		Valor máximo	30.96	33.84	2.26	3.25
ALVO 5	BIF	Média	27.11	27.10	9.00	9.00
		Variância	41.28	53.01	49.08	51.91
		Desvio padrão	6.43	7.28	7.01	7.21
		Valor mínimo	7.66	3.47	0.30	0.05
		Valor máximo	45.39	64.10	26.38	27.91

Tabela 10: Estatística básica do SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P e Mn das amostras e compostas de 4 amostras.

Alvo	Litologia	Parâmetros	SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		P		Mn	
			Comp.	Am.	Comp.	Am.	Comp.	Am.	Comp.	Am.
ALVO 1	ITC	Média	41.99	42.00	0.23	0.23	0.00	0.00	0.03	0.03
		Variância	5.12	8.07	0.27	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	2.26	2.84	0.52	0.58	0.00	0.00	0.03	0.03
		Valor mínimo	37.88	34.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo	46.48	49.60	2.95	3.86	0.02	0.02	0.18	0.22
ALVO 2	BIF	Média	43.73	43.75	0.67	0.67	0.02	0.02	0.03	0.03
		Variância	5.77	13.90	1.37	1.95	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	2.40	3.73	1.17	1.39	0.02	0.03	0.01	0.02
		Valor mínimo	33.74	25.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00
		Valor máximo	58.11	62.60	7.03	14.00	0.11	0.24	0.12	0.17
ALVO 3	BRF	Média	59.45	59.33	3.61	3.61	0.01	0.01	0.04	0.04
		Variância	7.10	19.15	0.99	2.89	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	2.66	4.38	1.00	1.70	0.01	0.01	0.03	0.05
		Valor mínimo	55.22	49.77	1.60	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01
		Valor máximo	62.23	66.44	4.98	9.61	0.03	0.05	0.10	0.20
ALVO 3	IAN	Média	52.29	52.29	3.83	3.83	0.02	0.02	0.09	0.09
		Variância	0.96	4.06	0.12	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
		Desvio padrão	0.98	2.01	0.35	0.63	0.00	0.01	0.03	0.03
		Valor mínimo	50.80	48.40	3.27	2.44	0.02	0.01	0.05	0.04
		Valor máximo	54.53	59.31	4.59	5.91	0.03	0.06	0.12	0.15
ALVO 3	IMC	Média	43.36	42.80	0.99	0.81	0.02	0.02	0.08	0.07
		Variância	26.38	24.10	1.89	2.16	0.00	0.00	0.01	0.01
		Desvio padrão	5.14	4.91	1.38	1.47	0.01	0.02	0.12	0.12
		Valor mínimo	39.53	36.46	0.11	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
		Valor máximo	55.09	56.09	5.28	6.36	0.06	0.11	0.40	0.47
ALVO 4	DHC	Média	42.07	42.29	2.18	2.22	0.31	0.31	0.04	0.04
		Variância	27.33	45.20	0.74	1.14	0.04	0.06	0.00	0.00
		Desvio padrão	5.23	6.72	0.86	1.07	0.21	0.24	0.02	0.04
		Valor mínimo	27.09	23.20	0.64	0.09	0.07	0.03	0.01	0.00
		Valor máximo	50.98	67.50	5.25	6.65	0.93	1.14	0.11	0.27
ALVO 4	DIC	Média	59.39	59.37	3.71	3.71	0.34	0.34	0.11	0.11
		Variância	47.16	60.30	0.59	0.76	0.03	0.03	0.01	0.01
		Desvio padrão	6.87	7.77	0.77	0.87	0.17	0.18	0.08	0.09
		Valor mínimo	42.05	36.75	2.43	1.10	0.04	0.03	0.00	0.00
		Valor máximo	73.88	78.80	5.29	6.54	0.60	0.90	0.40	0.64
ALVO 5	BIF	Média	51.79	51.79	3.36	3.36	0.04	0.04	0.14	0.14
		Variância	70.01	88.38	7.02	8.70	0.00	0.00	0.02	0.02
		Desvio padrão	8.37	9.40	2.65	2.95	0.02	0.02	0.13	0.14
		Valor mínimo	31.96	4.20	0.38	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
		Valor máximo	72.81	83.10	13.13	15.70	0.13	0.26	0.74	0.80

### 3.3. Determinação dos teores para cada simulação de recuperação

Para poder-se comparar a recuperação simulada (Figuras 5, 6, 7, 9, 10 e 11) com a recuperação total (composta), é necessário, primeiro, determinar o teor de cada elemento/óxido em cada recuperação. Porém, não existe um valor exato a ser determinado (Figuras 8 e 12), pois do testemunho íntegro, diferentes partes podem ser retidas para emula uma dada recuperação (por exemplo, no teste de recuperação 25% há quatro possíveis valores diferentes de amostra que podem ser escolhidos). Na verdade, determinou-se um intervalo de valores a partir dos valores mínimo e máximo das amostras. A partir desses valores é possível determinar os valores mínimo e máximo que tanto o coeficiente de correlação quanto o erro podem assumir em cada simulação.

A determinação dos teores para simulação de recuperação de 50% nas compostas de 2 amostras foi feita utilizando diretamente os teores das amostras, conforme demonstrado na Figura 22. Os teores foram identificados como  $t_{(-50)}$  para o menor valor e  $t_{(+50)}$  para o maior valor.

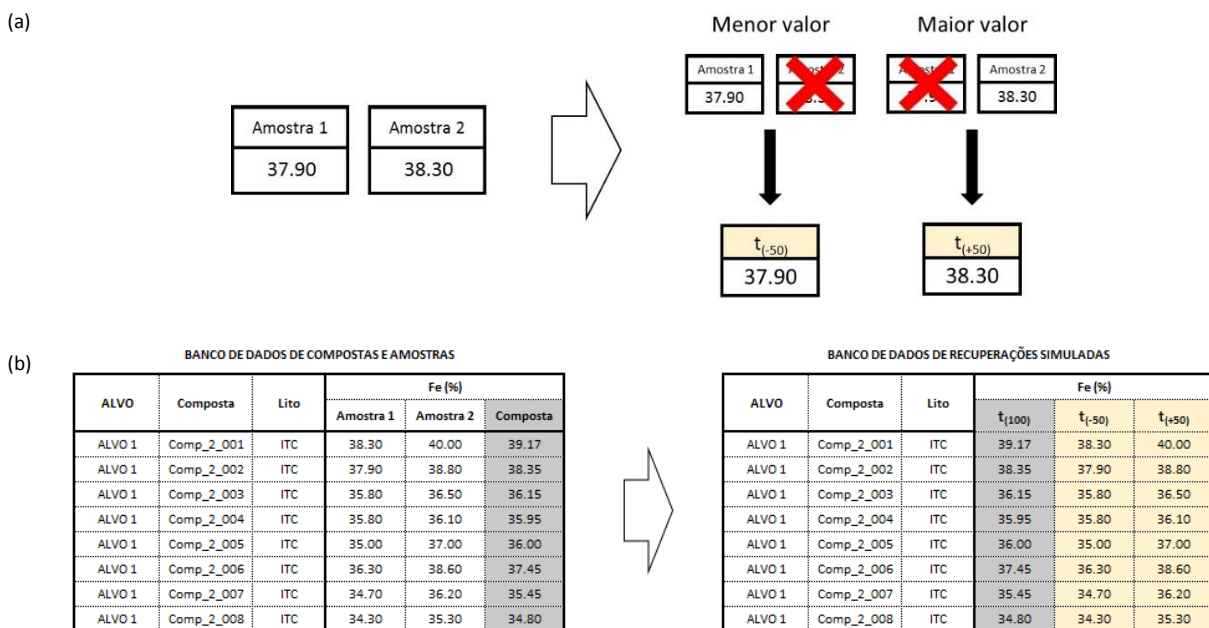
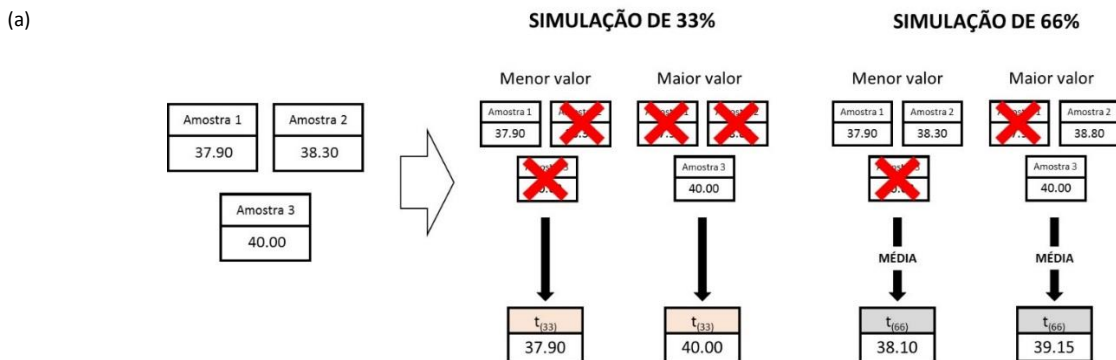


Figura 22: (a) Determinação do menor valor ( $t_{(-50)}$ ) e do maior valor ( $t_{(+50)}$ ) que a recuperação de 50% pode assumir nas compostas de 2 amostras e (b) Banco de dados final.

A determinação dos teores para simulação de recuperação de 33% nas compostas de 3 amostras foi feita da mesma maneira que nas compostas de 2 amostras, ou seja, considerando os valores das amostras (Figura 23). Foram considerados os valores mínimo e máximo das amostras, para determinar  $t_{(-33)}$  e  $t_{(+33)}$ . A determinação dos teores para a simulação de recuperação de 66% foi feita a partir da média

dos dois menores valores para  $t_{(-66)}$  e dos dois maiores valores para  $t_{(+66)}$ . Na Figura 23, as amostras que não são utilizadas para essa indicação são marcadas com um “x”. Por exemplo, em uma composta cujos teores de Fe das amostras são 37.90, 38.30 e 40.00%. Os teores das recuperações  $t_{(-33)}$  e  $t_{(+33)}$  serão, respectivamente, 37.90 e 40.00. O teor da recuperação  $t_{(-66)}$  será a média de 37.90 e 38.30 e o da recuperação  $t_{(+66)}$  será a média entre 38.30 e 40.00.

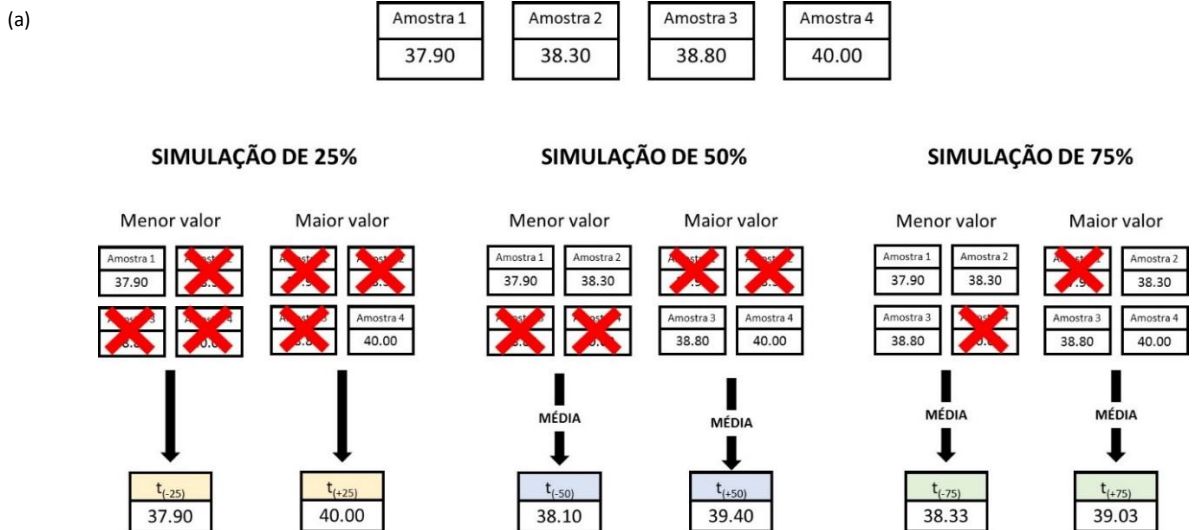


(b)

ALVO	Composta	Lito	Fe (%)				
			$t_{(-100)}$	$t_{(-33)}$	$t_{(+33)}$	$t_{(-66)}$	$t_{(+66)}$
ALVO 1	Comp_3_001	ITC	38.74	37.90	40.00	38.10	39.15
ALVO 1	Comp_3_002	ITC	37.03	35.80	38.80	36.15	37.65
ALVO 1	Comp_3_003	ITC	35.63	35.00	36.10	35.40	35.95
ALVO 1	Comp_3_004	ITC	37.30	36.30	38.60	36.65	37.80
ALVO 1	Comp_3_005	ITC	35.40	34.70	36.20	35.00	35.75
ALVO 1	Comp_3_006	ITC	34.60	33.80	35.70	34.05	35.00
ALVO 1	Comp_3_007	ITC	36.30	35.60	37.20	35.85	36.65
ALVO 1	Comp_3_008	ITC	35.53	34.70	36.00	35.30	35.95

Figura 23: (a) Determinação do menor valor ( $t_{(-33)}$ ,  $t_{(-66)}$ ) e do maior valor ( $t_{(+33)}$ ,  $t_{(+66)}$ ) que as recuperações de 33 e 66% podem assumir nas compostas de 3 amostras e (b) Banco de dados final. As amostras que foram desconsideradas para a determinação das recuperações de 33 e 66% estão marcadas com um “x”.

A determinação dos teores para recuperação simulada de 25% nas compostas de 4 amostras foi feita da mesma maneira que nas compostas de 2 amostras, ou seja, considerando os valores das amostras (Figura 24). A determinação dos teores para a simulação de recuperação de 50 e 75% foi feita a partir da média dos dois valores extremos para  $t_{(-50)}$  e  $t_{(+50)}$  e dos três valores extremos para  $t_{(-75)}$  e  $t_{(+75)}$ .



(b)

ALVO	Composta	Lito	Fe (%)						
			$t_{(100)}$	$t_{(-25)}$	$t_{(+25)}$	$t_{(-50)}$	$t_{(+50)}$	$t_{(-75)}$	$t_{(+75)}$
ALVO 1	Comp_4_001	ITC	38.75	37.90	40.00	38.10	39.40	38.33	39.03
ALVO 1	Comp_4_002	ITC	36.05	35.80	36.50	35.80	36.30	35.90	36.13
ALVO 1	Comp_4_003	ITC	36.73	35.00	38.60	35.65	37.80	36.10	37.30
ALVO 1	Comp_4_004	ITC	35.13	34.30	36.20	34.50	35.75	34.77	35.40
ALVO 1	Comp_4_005	ITC	35.58	33.80	37.20	34.70	36.45	35.03	36.17
ALVO 1	Comp_4_006	ITC	35.68	34.70	36.10	35.30	36.05	35.53	36.00
ALVO 1	Comp_4_007	ITC	35.03	32.40	36.40	33.95	36.10	34.57	35.90
ALVO 1	Comp_4_008	ITC	37.65	36.70	38.80	36.90	38.45	37.30	38.00

Figura 24: (a) Determinação do menor valor ( $t_{(-25)}$ ,  $t_{(-50)}$  e  $t_{(-75)}$ ) e do maior valor ( $t_{(+25)}$ ,  $t_{(+50)}$  e  $t_{(+75)}$ ) que as recuperações de 25, 50 e 75% podem assumir nas compostas de 4 amostras e (b) Banco de dados final. As amostras que foram desconsideradas para o cálculo das recuperações de 25, 50 e 75% estão marcadas com um “X”.

### 3.4. Coeficiente de correlação ao quadrado e erro padrão absoluto

Após a finalização do banco de dados para todos os elementos de cada composta de cada litologia/alvo, foi possível comparar as recuperações simuladas ( $t_{(-25)} - t_{(+25)}$ ,  $t_{(-33)} - t_{(+33)}$ ,  $t_{(-50)} - t_{(+50)}$ ,  $t_{(-66)} - t_{(+66)}$ ,  $t_{(-75)} - t_{(+75)}$ ) com a recuperação total simulada ( $t_{(100)}$ ). A comparação foi feita através do coeficiente de correlação (Figura 25) e do desvio padrão ou erro absoluto. Como o estudo foi feito considerando os valores mínimos e máximos das amostras, os resultados vão caracterizar sempre as possibilidades mais extremas para se obter para cada simulação.

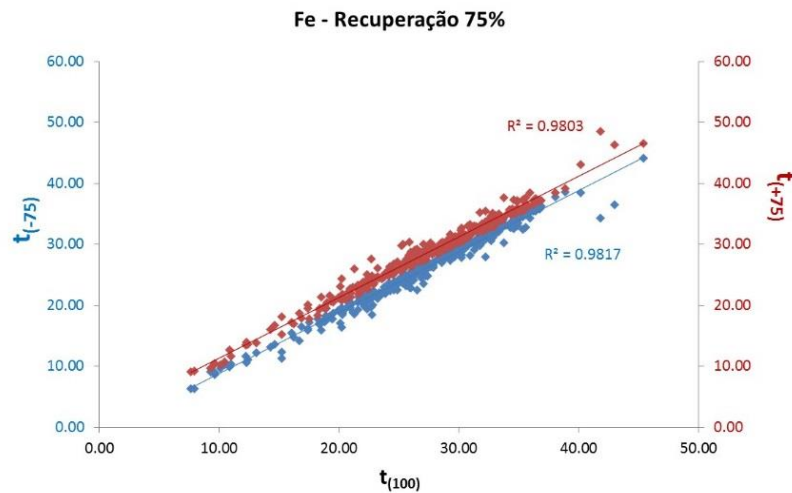


Figura 25: Exemplo de  $R^2$  obtido para simulação de 75% de recuperação ( $t_{(-75)}$  e  $t_{(+75)}$ ) do Fe no Alvo 1, litologia itabirito compacto, considerando os menores e maiores valores possíveis de ocorrer. Em vermelho os maiores teores em uma recuperação de 75% plotados contra a recuperação de 100%.

O coeficiente de correlação ao quadrado ( $R^2$ ) foi obtido através da Equação 1 e o erro padrão foi obtido através da Equação 2.

$$R^2_{X,Y} = \frac{E(XY) - E(X)E(Y)}{\sqrt{E(X^2) - E^2(X)}\sqrt{E(Y^2) - E^2(Y)}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde  $R^2_{X,Y}$  = coeficiente de correlação ao quadrado e E = valor esperado.

$$SE = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \left[ \sum (y - \bar{y})^2 - \frac{[\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{\sum (x - \bar{x})^2} \right]} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde  $SE$  = erro padrão,  $n$  = número de termos

Após a determinação do  $R^2$  e do erro padrão da regressão para as simulações de recuperação de 25, 33, 50, 66 e 75% (menor valor e maior valor), foi possível montar os gráficos para visualizar o comportamento de cada elemento e ver o quanto essas diferentes recuperações influenciam no teor final (Figura 26). Os gráficos foram montados por litologia/alvo, e todos os elementos/óxidos analisados foram dispostos no mesmo gráfico. A vantagem é que é possível comparar os elementos entre si, dentro da mesma litologia.

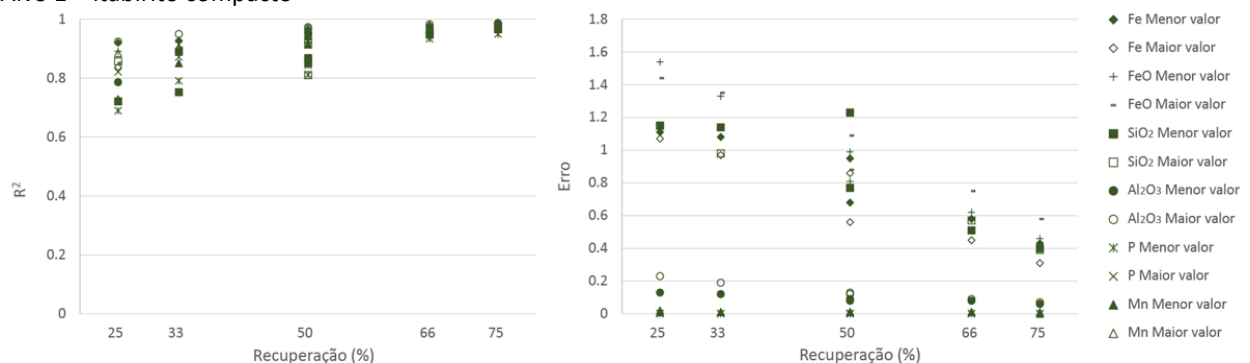
Em geral, o  $R^2$  apresenta uma tendência ascendente, sendo diretamente proporcional à recuperação. Além disso, nota-se maior variação de  $R^2$  em baixas recuperações quando comparadas com as recuperações maiores. Ou seja, o *range* vai diminuindo conforme aumenta a recuperação. Por exemplo, no itabirito compacto do Alvo 1, o  $R^2$  varia de 0.7 a 0.9 para recuperações de 25 e 33%. Quando a recuperação aumenta para 66 e 75%, o  $R^2$  é aproximadamente 0.95 para todos os elementos/óxidos. Esse comportamento é observado no ITC do Alvo 1, BIF do Alvo 2, DHC e DIC do alvo 4 e BIF do Alvo 5. Nas litologias do Alvo 3 e no DHF do Alvo 4, porém, o  $R^2$  é muito variável para todos os elementos e é possível perceber baixa correlação até em altas recuperações. O erro absoluto é o inverso do  $R^2$ : quanto maior for a recuperação, menor é o erro. Diferentemente do  $R^2$  para os minérios do Alvo 3 e o DHF do Alvo 4, que é muito variável, o erro absoluto dessas litologias diminui com o aumento da recuperação. Apenas o IMC do Alvo 3 que não apresenta este padrão.

A recuperação de 25% variando no  $R^2$  de 0.05 a 0.9 e a recuperação de 75% variando de 0.72 a 0.98 para Fe em todos os minérios estudados. Em contrapartida, o erro apresenta uma tendência descendente, com o erro absoluto do Fe variando de 3.7 a 1.05 para simulações de 25% e 0.31 a 3.7 para simulações de 75%.

Em rochas pouco magnéticas, o FeO apresenta valores muito baixos, impossibilitando a avaliação do  $R^2$  e do erro, como nos casos da brecha ferruginosa do Alvo 3 e do diamictito hematítico compacto do Alvo 4. Excluindo os valores erráticos, o FeO apresenta  $R^2$  variando de 0.73 a 0.96 para simulações de 25% de recuperação e 0.83 a 0.99 para simulações de 75%.

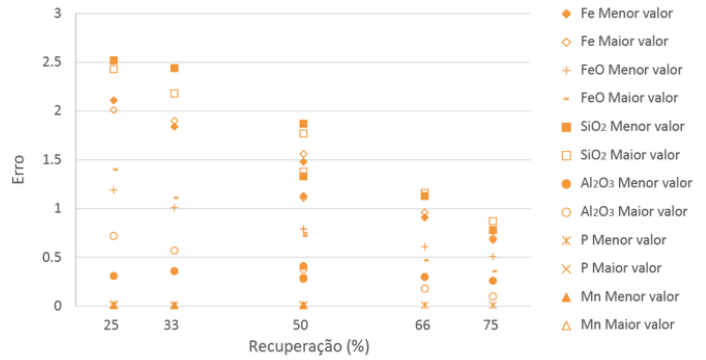
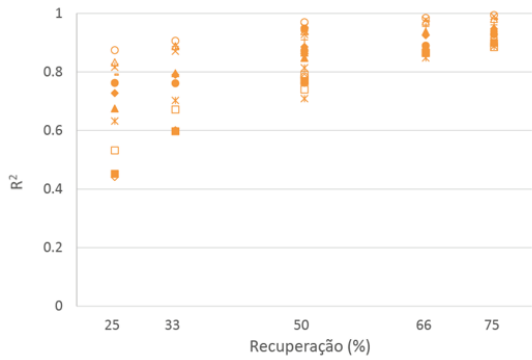
Os contaminantes seguem a mesma tendência do ferro, curva ascendente para o  $R^2$  e descendente para o erro. Quando apresentam valores muito próximos do limite de detecção do método analítico utilizado, ou seja, valores muito baixos, não é possível fazer uma avaliação correta, como para o fósforo da brecha ferruginosa do Alvo 3 e para o alumínio do itabirito magnético do Alvo 3.

Alvo 1 – itabirito compacto



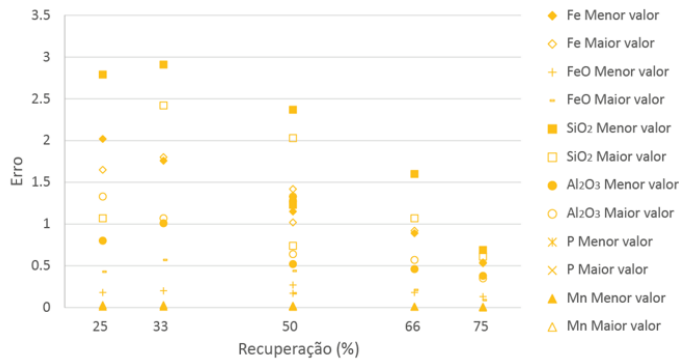
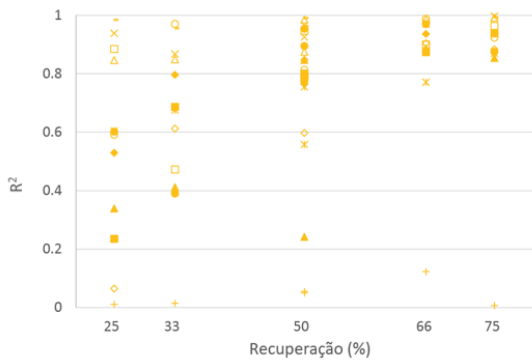


Alvo 2 – Formação Ferrífera Bandada



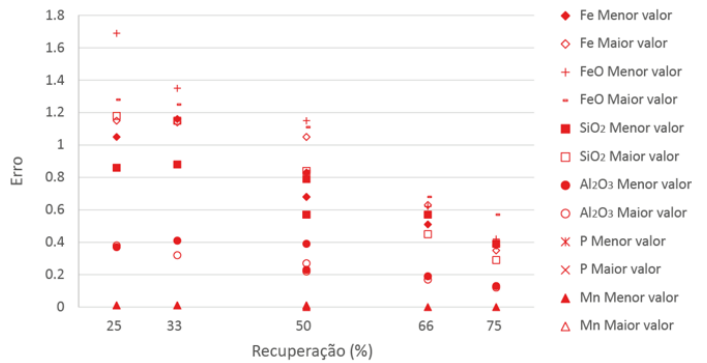
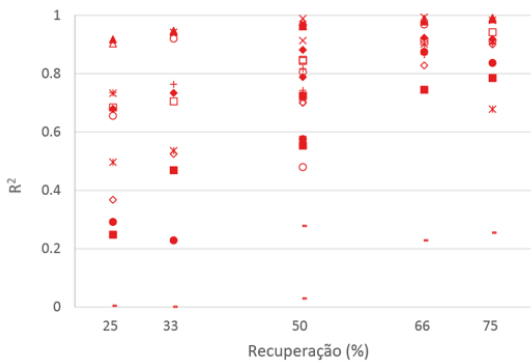
- ◆ Fe Menor valor
- ◇ Fe Maior valor
- + FeO Menor valor
- FeO Maior valor
- SiO<sub>2</sub> Menor valor
- SiO<sub>2</sub> Maior valor
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Menor valor
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Maior valor
- × P Menor valor
- × P Maior valor
- ▲ Mn Menor valor
- △ Mn Maior valor

Alvo 3 – Brecha Ferruginosa



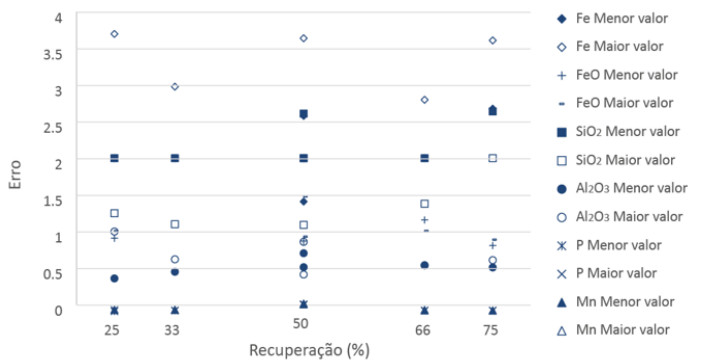
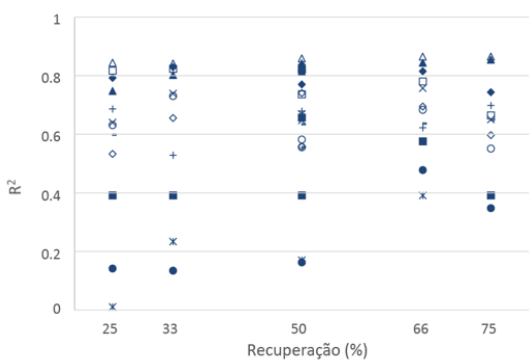
- ◆ Fe Menor valor
- ◇ Fe Maior valor
- + FeO Menor valor
- FeO Maior valor
- SiO<sub>2</sub> Menor valor
- SiO<sub>2</sub> Maior valor
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Menor valor
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Maior valor
- × P Menor valor
- × P Maior valor
- ▲ Mn Menor valor
- △ Mn Maior valor

Alvo 3 – Itabirito Anfibolítico



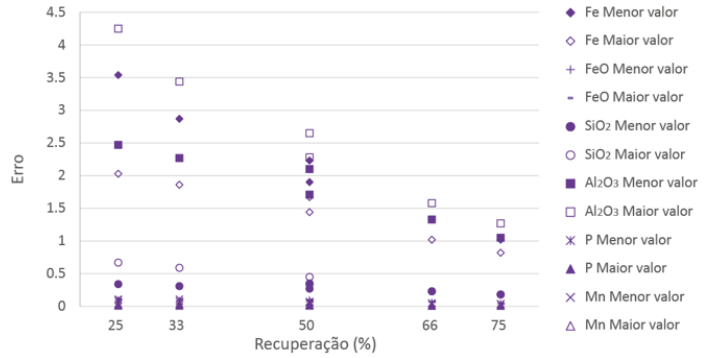
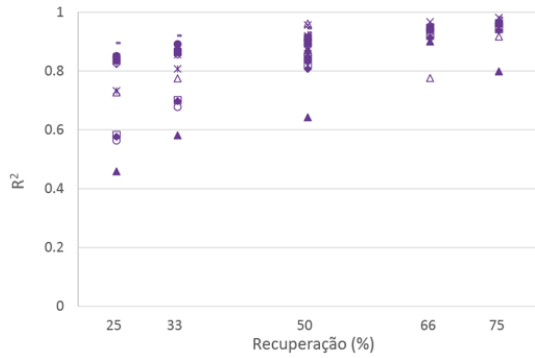
- ◆ Fe Menor valor
- ◇ Fe Maior valor
- + FeO Menor valor
- FeO Maior valor
- SiO<sub>2</sub> Menor valor
- SiO<sub>2</sub> Maior valor
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Menor valor
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Maior valor
- × P Menor valor
- × P Maior valor
- ▲ Mn Menor valor
- △ Mn Maior valor

Alvo 3 – Itabirito Magnético

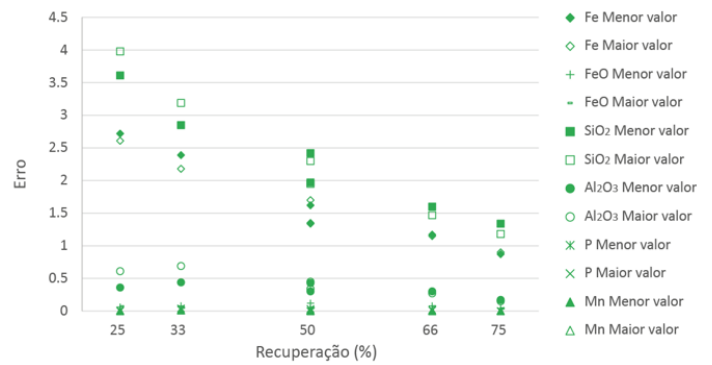
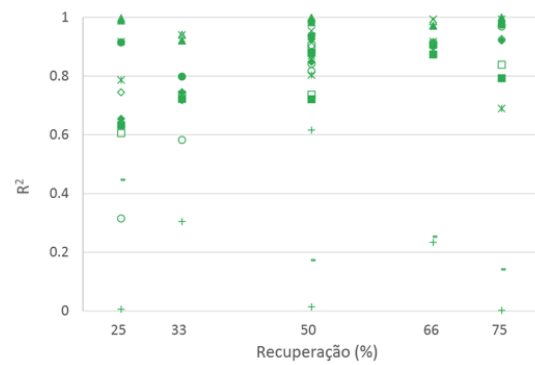


- ◆ Fe Menor valor
- ◇ Fe Maior valor
- + FeO Menor valor
- FeO Maior valor
- SiO<sub>2</sub> Menor valor
- SiO<sub>2</sub> Maior valor
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Menor valor
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Maior valor
- × P Menor valor
- × P Maior valor
- ▲ Mn Menor valor
- △ Mn Maior valor

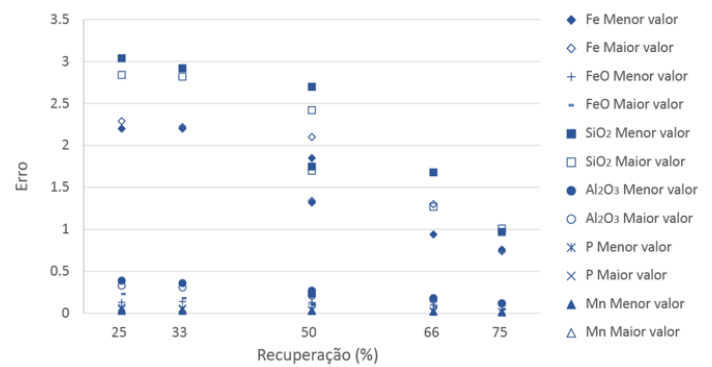
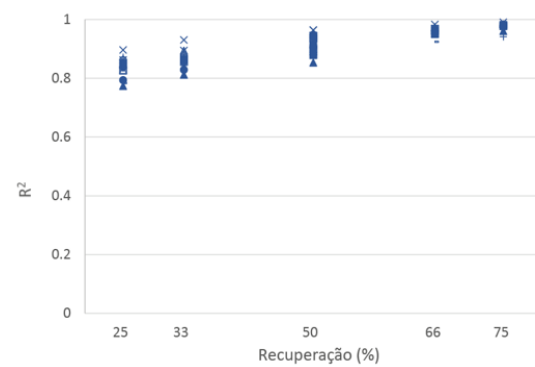
Alvo 4 – Diamictito Hematítico Compacto



Alvo 4 – Diamictito Hematítico Friável



Alvo 4 – Diamictito Cinza



Alvo 5 – Formação Ferrífera Bandada

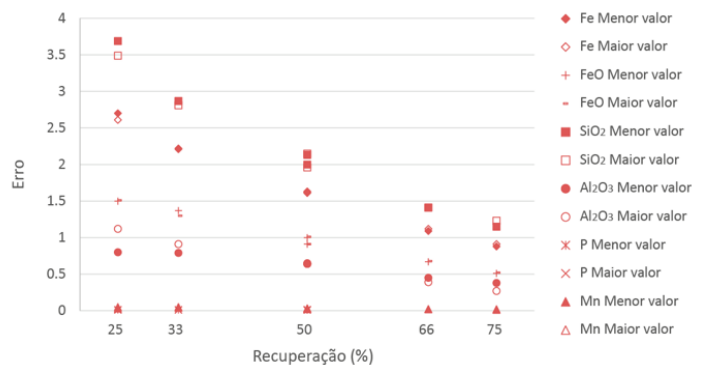
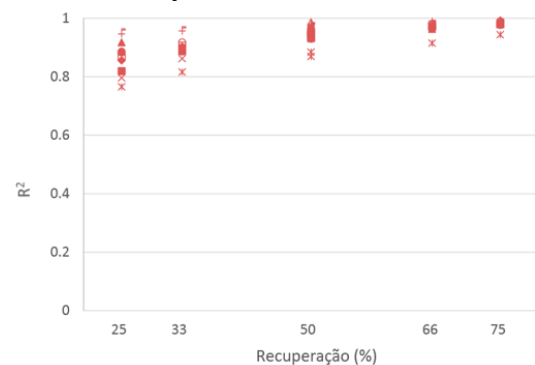


Figura 26: Coeficiente de correlação ao quadrado ( $R^2$ ) e erro absoluto associado para o ferro, óxido de ferro e contaminantes para as recuperações simuladas de 25, 33, 50, 66 e 75% para todos os alvos.

### 3.5. Erro relativo

Dividindo o erro padrão absoluto pelo teor médio correspondente, obtém-se o erro relativo, o que facilita o entendimento de quanto é o erro em cada simulação de recuperação. Além disso, foi feita, também, uma média entre os erros relativos mínimo e máximo de cada simulação. Os gráficos abaixo (Figuras 27 a 32) foram montados por espécie química, para poder analisar o efeito que cada elemento/óxido causa nas litologias.

No gráfico do Fe (Figura 27), o erro relativo máximo obtido foi de 10.53%. Esse erro foi calculado para simulação de recuperação de 25%. Ou seja, como o teor médio desse depósito é de 23.79% (Tabela 4), se tivéssemos somente amostras com essa recuperação, o teor médio poderia flutuar entre 21.2 e 26.3%. Os minérios mais enriquecidos em ferro deste estudo (Alvo 1 - ITC, Alvo 2 - BIF e Alvo 4 - DHC têm mais de 37% de Fe) apresentaram variação máxima de 8% nessa simulação. De um modo geral, pode-se dizer que, em recuperações tão baixas, o teor médio do depósito poderia variar entre 34 a 40%.

Simulações de 50% de recuperação apresentaram erro máximo de 8% e simulações de recuperação de 66 e 75% apresentaram erro inferior a 5% de variação no teor para todas as litologias. Além disso, é possível perceber que foram as litologias que apresentaram menos variação no erro ao longo de todas as simulações. Isso significa que a baixa produtividade de sondagem para minérios de ferro não gera grande impacto na avaliação deste elemento. Entende-se que a quantidade insuficiente de amostras seja responsável pelos dados anômalos do IMC do Alvo 3. Foram geradas apenas 33 compostas de 3 amostras e 21 compostas de 4 amostras dessa litologia (Tabela 2). Na Tabela 11 são apresentados os valores de cada erro.

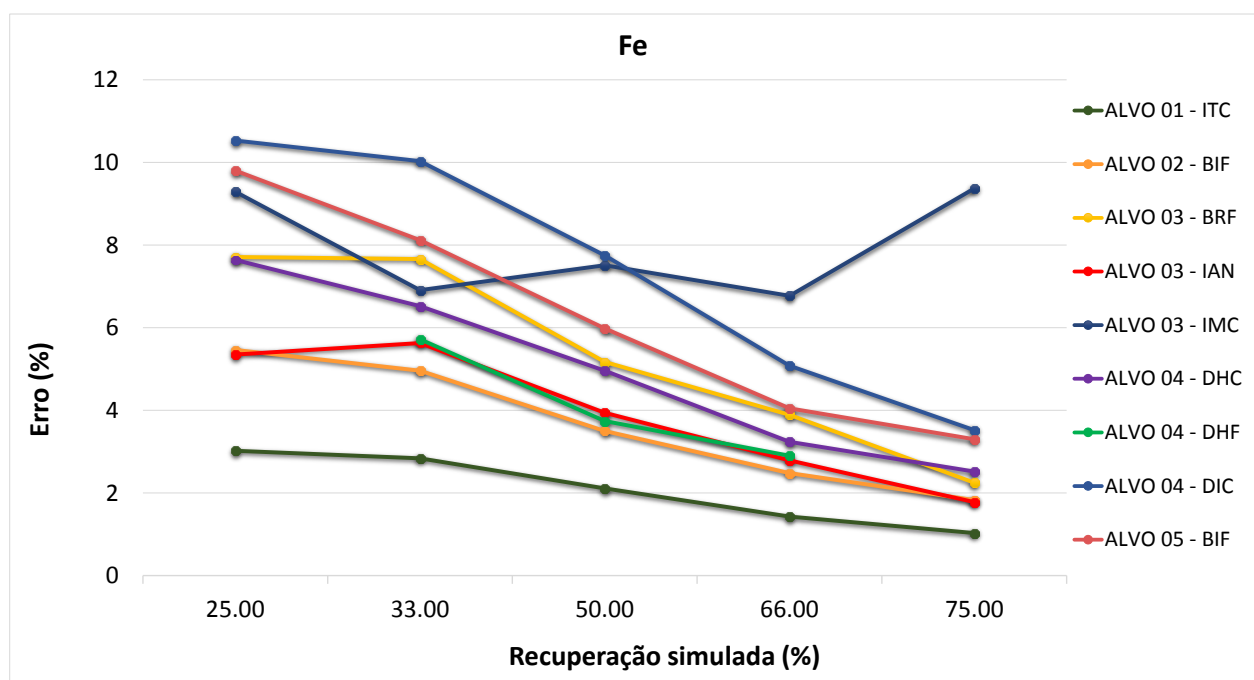


Figura 27: Erro relativo, em porcentagem, do teor de ferro para cada simulação de recuperação. O erro máximo obtido foi de 10,5% para recuperação simulada de 25% do testemunho.

O FeO apresentou variações um pouco maiores que o Fe: máximo de 20% para simulações de 25% de recuperação e máximo de 7.2% para simulações de 75% de recuperação (Figura 28). O valor anômalo de 24.48% de erro na recuperação para a brecha do Alvo 3 é explicado pela pouca quantidade de dados (15, ao total – Tabela 2).

O BIF do Alvo 2, que é um minério magnetítico, com mais de 15% de FeO, foi o que apresentou a menor variação de erro, 8.15 a 2.74%. Ou seja, a variação máxima de teor, considerando todas as simulações de recuperação é entre 14.04 a 16.5%. Minérios empobrecidos em FeO como, por exemplo, os diamictitos do Alvo 4, apresentaram erros entre 5 e 15%. Esses valores se associam às baixas variâncias obtidas para as litologias deste alvo:  $<0.2\%$ . Porém, na prática, esse erro é praticamente imperceptível, visto que seus teores médios não ultrapassam 1% de FeO.

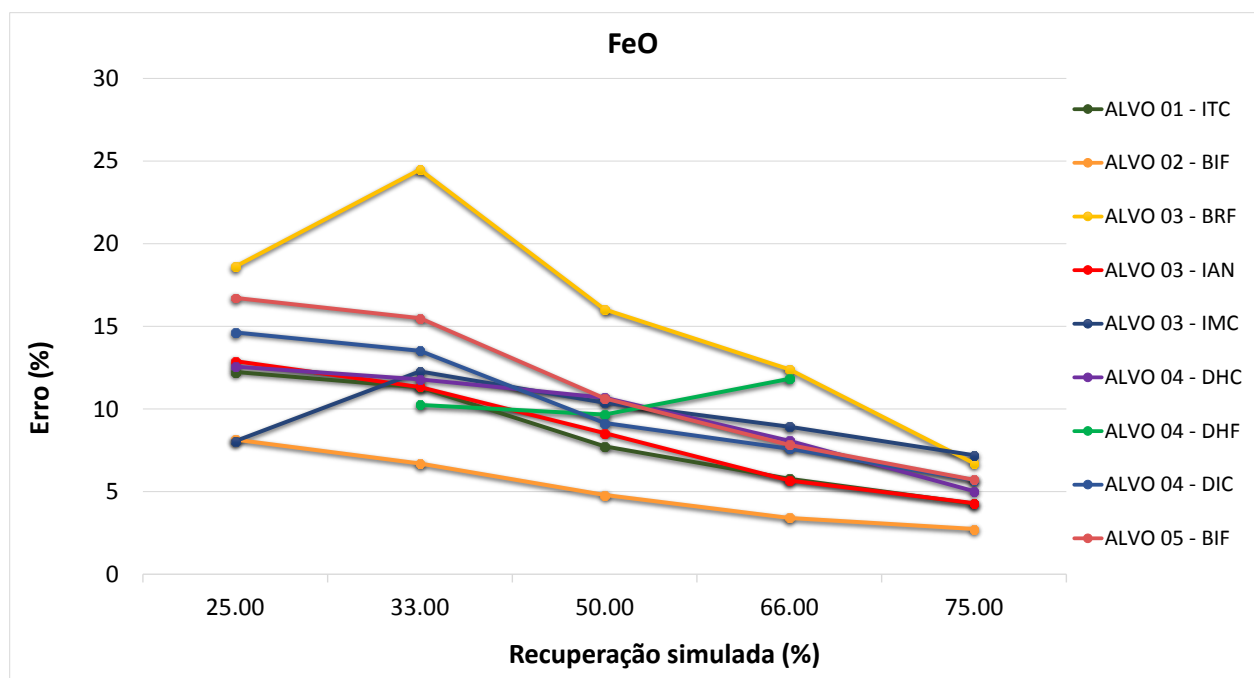


Figura 28: Erro relativo, em porcentagem, do FeO para cada simulação de recuperação.

Os teores de sílica são bastante variáveis entre as litologias: 30.55% no DHC do Alvo 4 a 57.58% no DIC do Alvo 4. Mesmo assim, a sílica apresentou erros muito baixos (Figura 29) em todos os casos, chegando a menos de 1% no itabirito do Alvo 1 e no itabirito anfíbolítico do Alvo 3 para recuperações de 75%.

Assim como detectado no ferro, o IMC do Alvo 3 gerou dados anômalos, com o erro aumentando com o aumento da recuperação. Atribui-se a isso o fato de ter poucas amostras para o estudo nas compostas de 3 e 4 amostras.

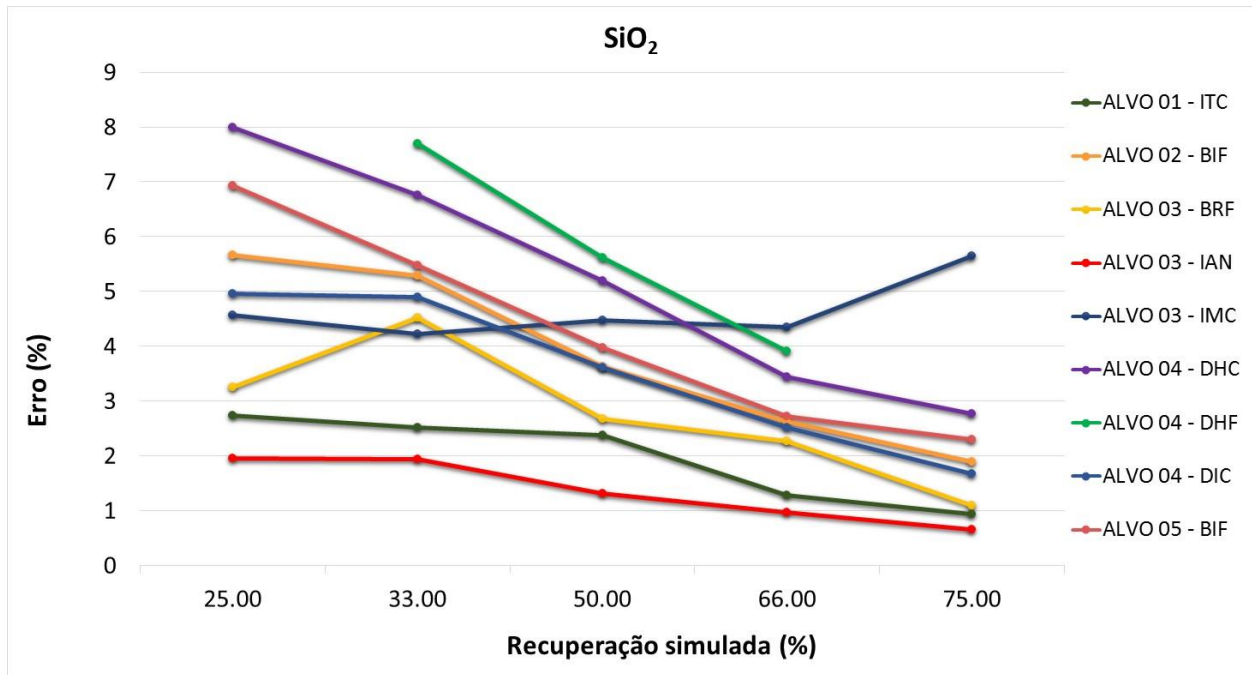


Figura 29: Erro relativo, em porcentagem, do teor de sílica para cada simulação de recuperação. Os erros obtidos foram muito baixos para todas as simulações, chegando a menos de 1% para simulações de 75% de recuperação.

É possível identificar 2 grupos no gráfico do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Figura 30). O primeiro grupo apresenta erros bastante altos, podendo chegar a 80% em baixas recuperações e não sendo inferior a 8% nas altas. O segundo grupo apresenta erros de até 30%. Fazem parte do primeiro grupo o ITC do Alvo 1, o BIF do Alvo 2 e o IMC do Alvo 3, minérios com Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inferior a 1%. No outro grupo, os teores de alumina variam de 2 a 5.5%. O BRF do Alvo 3, por exemplo, tem 5.27% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e seu erro varia de 10.11 a 29.51%. Isso significa que se, mesmo recuperando 75% do testemunho, já existe uma variação de 4.7 a 5.8% no teor de alumina. O IMC do mesmo alvo apresentou sensibilidade ainda maior em altas recuperações: 65% para simulações de 75% de recuperação e quase 70% para simulações de 66% de recuperação.

Esse gráfico mostra que a alumina é um óxido que tem seu valor determinado fortemente influenciado por qualquer perda de testemunho, podendo ser extremamente sensível dependendo da litologia.

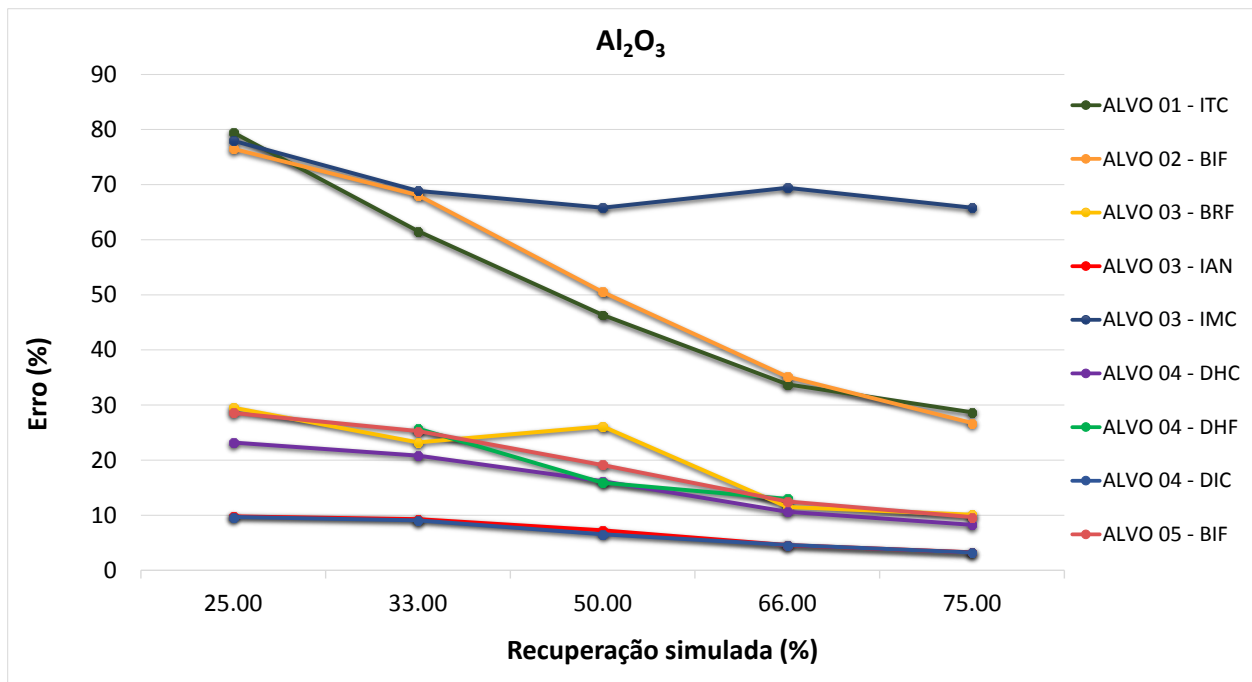


Figura 30: Erro relativo, em porcentagem, da alumina para cada simulação de recuperação. Os erros não foram inferiores a 5%, mesmo para altas recuperações.

Todas as litologias apresentam teores baixos de P (Tabela 4), sendo o valor máximo de 0.24% para o DIC do Alvo 4. Apesar disso, não houve um comportamento similar para todas as litologias (Figura 31). É possível identificar 3 grupos, sendo o primeiro com erros altos para todas as simulações (60 a 95%), o segundo com erros entre 5 e 35% e o terceiro onde não foi possível determinar o erro.

As litologias que apresentaram os erros altos são o BIF do Alvo 2 e o IMC do Alvo 3. São litologias de comportamento químico bastante parecido, com todos os teores bastante similares. O teor de fósforo é de 0.02% para ambas litologias. Mesmo assim, erro de 95% significa variação entre 0.001 e 0.004, o que não é significativo, pois mesmo o valor superior está muito abaixo do limite.

As litologias com fósforo acima de 0.05%, Alvo 4 e Alvo 5, foram as que apresentaram erros entre 5 e 35%.

Não foi possível determinar o erro para ITC do Alvo 1 e BRF e IAN do Alvo 3. São litologias cuja maioria dos teores ficaram abaixo do limite de detecção. Portanto, como seus valores acabam sendo iguais para quase todas as amostras, não é possível estimar qualquer variação.

Apesar de identificar comportamentos distintos para o fósforo, como seus teores são muito baixos, diferentes recuperações acabam não interferindo significativamente em seu resultado final para as litologias deste estudo.

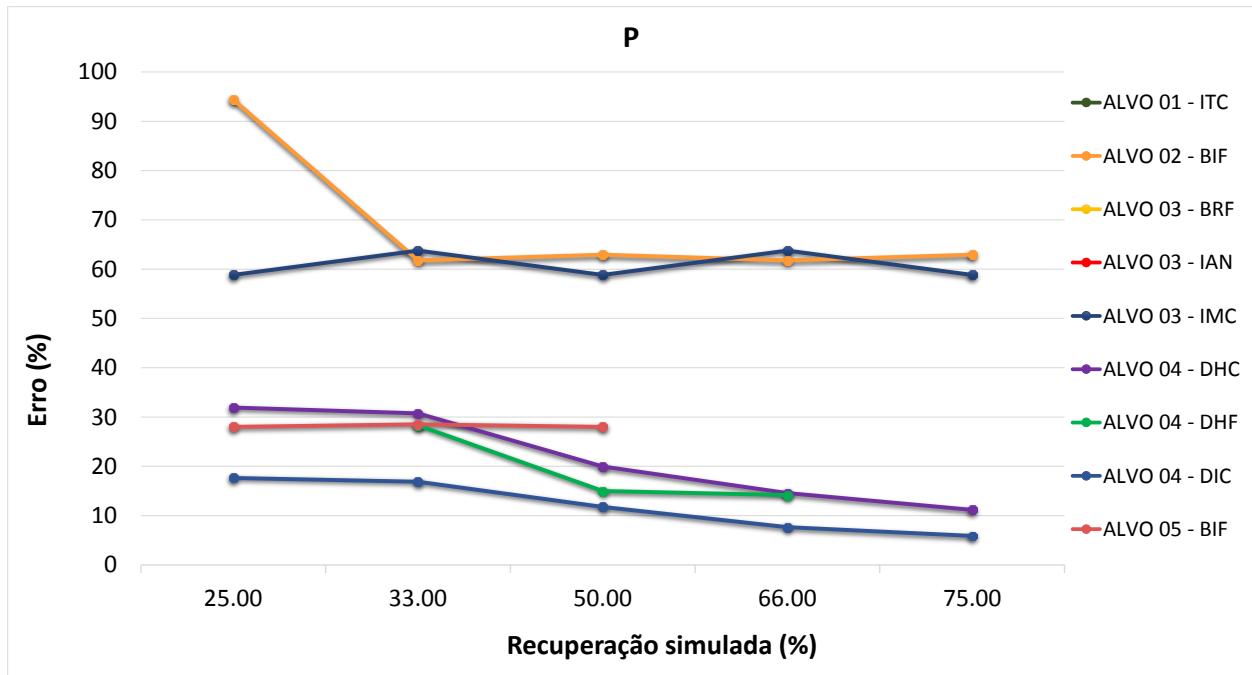


Figura 31: Erro relativo, em porcentagem, do fósforo para cada simulação de recuperação. Algumas litologias apresentaram erros baixos enquanto outras apresentaram erros bastante altos.

As litologias avaliadas são bastante empobrecidas em manganês, com seus teores variando de 0.05 a 0.13% e variâncias de 0 a 0.2%<sup>2</sup>. Não é possível correlacionar teor com erro, visto que litologias com o mesmo teor de manganês apresentaram erros completamente diferentes, apesar da similaridade entre as variâncias (Figura 32). Por exemplo, o IAN do Alvo 3 e o DHC do Alvo 4 têm 0.09% de manganês. O primeiro apresentou pouca variação ao longo das recuperações enquanto que o segundo apresentou-se extremamente sensível a qualquer perda de testemunho. No geral, existe um desvio de 50% no resultado para recuperações de metade do intervalo. Portanto, nesse caso, não foi possível definir um padrão para este elemento.

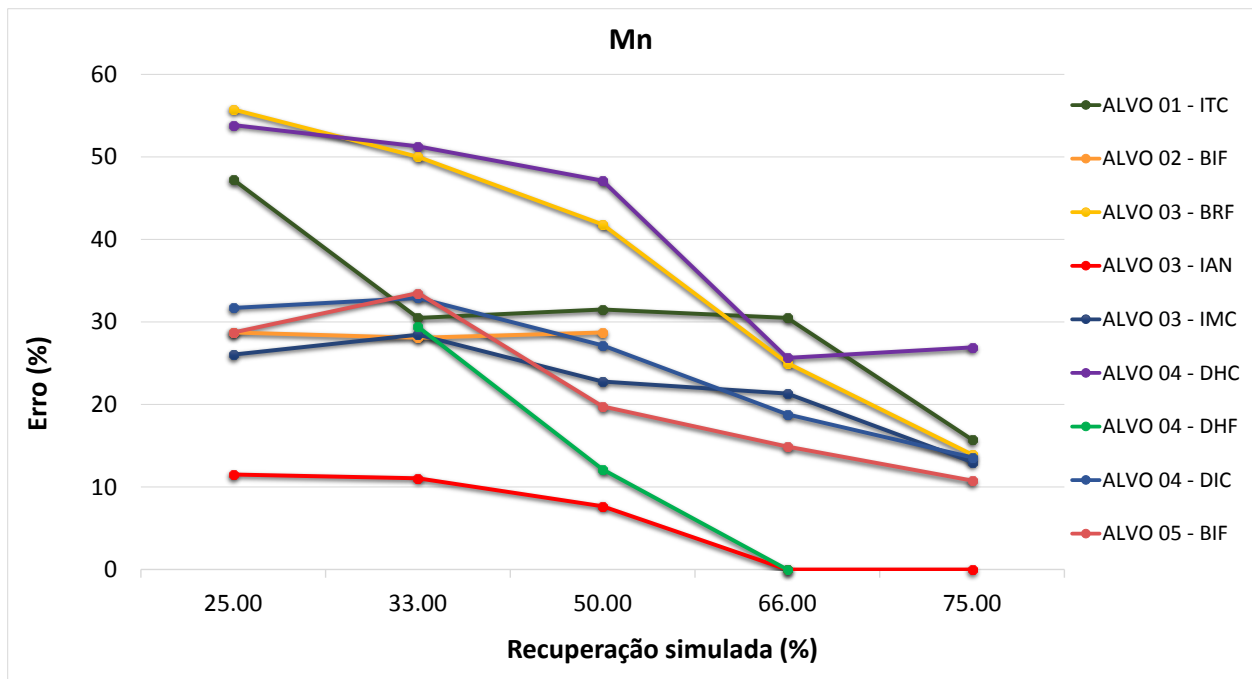


Figura 32: Erro relativo, em porcentagem, do Mn para cada simulação de recuperação. Para o manganês, é possível ver que os erros são bastante variáveis.

Tabela 11: Erro médio de cada elemento para cada recuperação por litologia.

Alvo	Litologia	Elemento	Erro (valor médio) nas recuperações de				
			25%	33%	50%	66%	75%
ALVO 1	ITC	Fe	3.02	2.84	2.11	1.43	1.03
		FeO	12.24	11.31	7.74	5.78	4.27
		SiO <sub>2</sub>	2.74	2.52	2.38	1.28	0.94
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	79.46	61.57	46.35	33.76	28.69
		P	ND	ND	ND	ND	ND
		Mn	47.24	30.49	31.5	30.49	15.75
ALVO 2	BIF	Fe	5.46	4.96	3.5	2.48	1.83
		FeO	8.15	6.7	4.8	3.41	2.74
		SiO <sub>2</sub>	5.66	5.28	3.63	2.62	1.89
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76.51	68.08	50.51	35.14	26.74
		P	94.41	61.78	62.94	61.78	62.94
		Mn	28.72	28.07	28.72	ND	ND
ALVO 3	BRF	Fe	7.71	7.66	5.17	3.89	2.25
		FeO	18.61	24.48	16.02	12.4	6.71
		SiO <sub>2</sub>	3.25	4.52	2.68	2.27	1.09
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.51	23.22	26.11	11.5	10.11
		P	ND	ND	ND	ND	ND
		Mn	55.75	50.01	41.82	25.01	13.94



Alvo	Litologia	Elemento	Erro (valor médio) nas recuperações de				
			25%	33%	50%	66%	75%
ALVO 3	IAN	Fe	5.35	5.63	3.94	2.79	1.78
		FeO	12.9	11.33	8.54	5.67	4.3
		SiO <sub>2</sub>	1.95	1.94	1.32	0.97	0.65
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.8	9.28	7.25	4.57	3.27
		P	ND	ND	ND	ND	ND
		Mn	11.5	11.06	7.67	0	0
ALVO 3	IMC	Fe	9.29	6.91	7.51	6.77	9.37
		FeO	8.05	12.27	10.38	8.93	7.2
		SiO <sub>2</sub>	4.57	4.22	4.47	4.35	5.64
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	77.96	68.88	65.81	69.43	65.81
		P	58.83	63.78	58.83	63.78	58.83
		Mn	26.04	28.44	22.78	21.33	13.02
ALVO 4	DHC	Fe	7.64	6.52	4.96	3.24	2.52
		FeO	12.56	11.79	10.68	8.07	5.03
		SiO <sub>2</sub>	7.99	6.75	5.19	3.44	2.76
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.19	20.82	16.19	10.64	8.27
		P	31.92	30.75	19.95	14.57	11.17
		Mn	53.84	51.27	47.11	25.64	26.92
ALVO 4	DHF	Fe	ND	5.72	3.74	2.9	ND
		FeO	ND	10.25	9.66	11.83	ND
		SiO <sub>2</sub>	ND	7.7	5.61	3.91	ND
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ND	25.73	15.91	12.98	ND
		P	ND	28.3	14.98	14.15	ND
		Mn	ND	29.41	12.13	0	ND
ALVO 4	DIC	Fe	10.53	10.03	7.75	5.08	3.52
		FeO	14.63	13.52	9.15	7.6	5.69
		SiO <sub>2</sub>	4.95	4.9	3.61	2.52	1.67
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.69	9.07	6.53	4.6	3.23
		P	17.65	16.88	11.76	7.67	5.88
		Mn	31.7	32.9	27.17	18.8	13.58
ALVO 5	BIF	Fe	9.8	8.12	5.98	4.05	3.3
		FeO	16.72	15.49	10.64	7.83	5.72
		SiO <sub>2</sub>	6.93	5.47	3.98	2.72	2.3
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.56	25.28	19.11	12.49	9.67
		P	28.01	28.51	28.01	ND	ND
		Mn	28.73	33.5	19.76	14.89	10.78

\*ND: NÃO DETERMINADO (não foi possível determinar o valor do erro)

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O principal objetivo deste estudo era descobrir se a determinação dos teores de Fe, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P e Mn era impactada por baixas recuperações e o quanto esse impacto poderia significar. Foram avaliadas 9 litologias de 5 alvos diferentes, todas enriquecidas em ferro, sendo 1 delas friável e as demais, compactas.

Em algumas dessas litologias, foram obtidas poucas amostras para o estudo, que acabaram gerando alguns resultados anômalos. Por exemplo, no diamictito friável do Alvo 4 os dados permitiram gerar apenas 7 compostas de 4 amostras de acordo com as condições pré-estabelecidas. Logo, não foi possível fazer a avaliação de simulações de recuperação de 25 e 75% de testemunho e a avaliação de 50% contou apenas com as compostas de 2 amostras. O erro relativo de recuperação de 75% ser superior à recuperação de 66% para Fe e SiO<sub>2</sub> do itabirito magnetítico do Alvo 3 também é um indicativo da pequena quantidade de dados obtidas nas compostas de 4 amostras. Apesar disso, foram discrepâncias justificadas, que não comprometem as avaliações globais a respeito dos resultados obtidos nesse trabalho.

As recuperações impactaram de maneira distinta os elementos/óxidos analisados. Além disso, foi possível perceber que estes apresentaram comportamentos totalmente diferentes de uma litologia para outra, inclusive no mesmo depósito. Os elementos cujas concentrações eram inferiores a 1% foram os mais sensíveis a baixas recuperações. Porém, pode-se dizer que esta sensibilidade é aparente, visto que a diferença de 0.01 para 0.02 é de 100%.

O ferro apresentou-se quase constante, mesmo para recuperações baixas, em todos os minérios estudados. O erro máximo obtido foi de 10% para recuperações de 25%, o que é um erro pequeno visto o quanto se perde de material. As recuperações de 66 e 75% apresentaram erros inferiores a 5%. O mesmo ocorre para o FeO, que não apresentou grandes variações, tanto para minérios magnetítico quanto para minérios não-magnetíticos. Portanto, conclui-se que perdas de testemunho não impactam na determinação do ferro e seu óxido.

Para os contaminantes, foram detectados comportamentos bastante peculiares. A sílica, por exemplo, apresentou erros menores que o Fe para todas as recuperações em todas as litologias. Em contrapartida, o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é sensível a baixas recuperações esteja ele em concentrações elevadas ou não. Em alguns casos, mesmo recuperações de 75% geraram desvios máximos de mais de 30%. Portanto, se a alumina for um contaminante muito importante no depósito, mesmo perdas pequenas de testemunho podem gerar grandes erros nos teores lidos.

Tanto os teores de fósforo quanto de manganês das litologias estudadas eram muito baixos. Para o fósforo, como muitas amostras tinham seus teores abaixo do limite de detecção, elas acabavam com o mesmo valor, o que limita as comparações, visto que não há variância entre os resultados. Das amostras que puderam ser avaliadas, 2 grupos foram identificados: um com desvios máximos superiores a 50% e

outro com desvios máximos inferiores a 35%, ambos independentes da recuperação. Mesmo assim, como os teores são muito baixos, essa sensibilidade é aparente e, portanto, conclui-se que litologias com baixas concentrações de fósforo não geram grandes impactos. Em contrapartida, mesmo em poucas concentrações, o manganês apresentou comportamentos completamente diferentes de uma litologia para outra. Mas, no geral, os desvios chegam a 50% para recuperações de metade do intervalo.

Este estudo mostrou que perdas nos testemunhos provocam impactos diferentes nos principais contaminantes de minério de ferro e esses impactos nem sempre dependem da concentração dos contaminantes, como a alumina, que gerou impactos em grandes e pequenas concentrações. Para as litologias estudadas, foi comprovado que mesmo recuperações de 75% podem gerar desvios significativos na determinação de teores de alguns contaminantes e que recuperações de 25% podem não gerar desvios para outros contaminantes. Infelizmente, não é possível definir uma recuperação mínima ideal, visto que existe muita variação no comportamento dos elementos/óxidos de uma litologia para outra e de um depósito para outro. Porém, é importante saber que os desvios gerados nas perdas dos testemunhos podem, sim, gerar impactos significativos na estimativa de recursos e na reconciliação. E esses desvios são diferentes para espécies químicas diferentes.

Este tipo de estudo é recomendado para aqueles que têm interesse em saber quais são os elementos/óxidos que geram mais impacto quando ocorre perda de testemunho. Além disso, é possível quantificar este impacto para cada espécie química analisada. Com a quantificação, será possível definir uma recuperação mínima ideal de testemunho que possa ser utilizado em avaliações posteriores, como estimativa de recursos e reconciliação.

Maiores sequências de amostras permitem fazer este estudo para outros valores de recuperação simulada, como 90, 80, 70%. Esse é o caso do ouro, cujo suporte amostral é de geralmente 1 metro e os furos são de grande extensão, possibilitando, assim, um grande volume de dados e, conseqüentemente, uma boa análise estatística.

---

---

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABZALOV, M. 2008. *Quality Control of Assay Data: A Review of Procedures for Measuring and Monitoring Precision and Accuracy*. Exploration and Mining Geology, vol. 17, n. 3-4, p. 131-144.
- AGARWAL, J.C., BROWN, S.R. and KATRAK, S.E., 1984. *Taking the sting out of project start-up problems*. Engineering and Mining Journal, September.
- ANNELS, A.E. 1991. *Mineral Deposit Evaluation: A Practical Approach*. London: Chapman & Hall, 436 p.
- AusIMM, 2012. *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code)*. Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Mineral Council of Australia. Disponível em [http://www.jorc.org/docs/JORC\\_code\\_2012.pdf](http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf). Acesso em abril de 2014.
- BURMEISTER, B. 1988. *From Resource to Reality: A critical Review of the Achievements of New Australian Gold Mining Projects During 1983-1987*. Macquarie University.
- CHEMALE JR, F; TAKEHARA, L. 2013. *Minério de ferro: geologia e geometalurgia*. São Paulo: Editora Blücher, p. 45-60.
- CLOW, G. 1991. *Why Gold Mines Fail*. Northern Miner Magazine, vol. 6, n. 2, p. 31-34.
- DOMINY, S.C., 2002b. *Authors' reply to 'Comments on classification and reporting of mineral resources for high-nugget effect gold vein deposits, by M. Vallée*. Exploration and Mining Geology, v. 11, n. 1-4, p. 119-124.
- DOMINY, S.C., ANNELS, A.E., PLATTEN, I.M., RAINE, M.D., 2003b. *A review of problems and challenges in the resource estimation of high-nugget effect lode-gold deposits*. In Proceedings, Fifth International Mining Geology Conference 2003. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Special Publication 8/2003, p. 279-298.
- DOMINY, S.C., JOHANSEN, G.F., CUFFLEY, B.W., PLATTEN, I.M. and ANNELS, A.E., 2000a. *Estimation and reporting of mineral resources for coarse gold-bearing veins*. Exploration and Mining Geology, 9, p. 13-42.
- DOMINY, S.C., NOPPÉ, M.A., ANNELS, A.E. 2002a. *Errors and uncertainty in mineral resource and ore reserve estimation: the importance of getting it right*. Exploration and Mining Geology, v. 11, n. 1-4, p. 77-98.
- DOMINY, S.C., PLATTEN, I.M. and RAINE, M.D., 2003a. *Grade and geological continuity in high-nugget effect gold-quartz reefs: Implications for resource estimation and reporting*. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 112, p. B239-B259.
-

- 
- ELLIOTT, S.M., SNOWDEN, D.V., BYWATER, A., STANDING, C.A. and RYBA, A.1997. *Reconciliation of the McKinnons Gold Deposit, Cobar, New South Wales*. In Proceedings Third International Mining Geology Conference, pp113-122 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- ELLIOTT, S.M., SNOWDEN, D.V., BYWATER, A., STANDING, C.A. and RYBA, A.2001. *Reconciliation of the McKinnons Gold Deposit, Cobar, New South Wales*. In Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice (Ed: A C Edwards), pp257-268 (The Australasian Institute of Mining and metallurgy: Melbourne).
- GILFILLAN, J.F. 1998. *Testing the data—The Role of technical due diligence*. Ore reserves and Finance Seminar. Sydney June 1998. AusIMM, Melbourne.
- GOLDSMITH, T. 2002. *Resource and Reserves — Their impact on financial reporting, valuations and the expectations gap*. In Proceedings, CMMI Congress 2002. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p. 1-5.
- HARQUAIL, D. 1991. *Investing in Junior Mining Companies*. In Proceedings, 6th Mineral Economics Symposium of CIM, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Canada, 10 p.
- KNOLL, K. 1989. *And Now the Bad News*. Northern Miner Magazine, v. 4, n. 6, p. 48-52.
- LI, S. 2006. *Quantification of Geological Risks and Their Propagation in Coal Resources Estimation and Classification*. Australian Mining Technology Conference. September, p. 447-453.
- MORLEY, C.; SNOWDEN, V.; DAY, D. 1999. *Financial Impact of Resource/Reserve Uncertainty*. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, p. 293-301.
- NEUSS, I. 2001. *Outokumpu — Base Metals Best Practice*. In Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice (Ed: A C Edwards), The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne p. 49–56.
- NOPPÉ, M.A., 2004. *Reconciliation: Importance of good sampling and data quality assurance-quality control (QA/QC)*. In Proceedings, EGRU Mining and Resource Geology Symposium. EGRU Contribution 62, p. 107-113.
- PARKER, H. 1979. *The Volume-variance relationship: a useful tool for mine planning*. Engineering and Mining Journal, v. 180, p. 106-123.
- ROZMAN, L.I. *Measuring and managing the risk in resource and reserves*. Ore Reserves and Finance Seminar. AusIMM, Sydney, 1998.
- SINCLAIR, A.J., 1998. *Geological controls in resource/reserve estimation*. Exploration and Mining Geology, 7, p. 29-44.
-

- 
- SINCLAIR, A.J. & BLACKWELL, G.H. 2002. *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 381 p.
- SINCLAIR, A.J. & VALLÉE, M. 1998. *Preface – Quality Assurance, Continuous Quality Improvement and Standards in Mineral Resource Estimation*. Special Edition of Exploration and Mining Geology, 7 (1, 2):iii-v.
- SNOWDEN, D.V. 1996. *Practical interpretation of resource classification guidelines*, AusIMM Annual Conference “Diversity, the Key to Prosperity”, Perth.
- SOUZA, L.E. 2002. *Estimativa de Incertezas e sua Aplicação na Classificação de Recursos Minerais*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 170 p.
- STEPHENSON, P.R., ALLMAN, A., CARVILLE, D.P., STOKER, P.T., MOKOS, P., TYRRELL, J. and BURROWS, T., 2006. *Mineral resource classification – it’s time to shoot the ‘spotted dog’!* In Proceedings Sixth International Mining Geology Conference, p 91-96 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- STEPHENSON, P.R. and STOKER, P.T. 2001. *Classification of Mineral Resources and Ore Reserves - Common Sense and Good Communication in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, p.653-660.
- STEPHENSON, P.R. & VANN, J. 2001. *Common Sense and Good Communication in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation*. In Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, p. 13-20.
- STONE, J.G. & DUNN, P.G. 1996. *Ore Reserve Estimates in the Real World*. Society of Economic Geologists. Second Edition, Littleton, 160 p.
- VALLÉE, M., 1998a. *Quality assurance, continuous quality improvement and standards*. Exploration and Mining Geology, v. 7, p. 1-14.
- VALLÉE, M., 1998b. *Sampling quality control*. Exploration and Mining Geology, v. 7, p. 107-116.
- VALLÉE, M., 2002. *Comments on “Classification and Reporting of Mineral Resources for High-Nugget Effect Gold Vein Deposits.”* Exploration and Mining Geology, v. 11, p. 113-117.
- VALLÉE, M. and SINCLAIR, A.J., 1993. *Quality management methods for more reliable estimations of deposits and reserves*. In Proceedings, Volume 2, XXIV APCOM Symposium. Edited by J. Elbrond and X. Tang. p. 461-468.
-

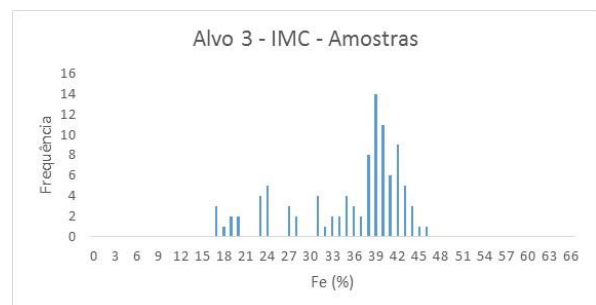
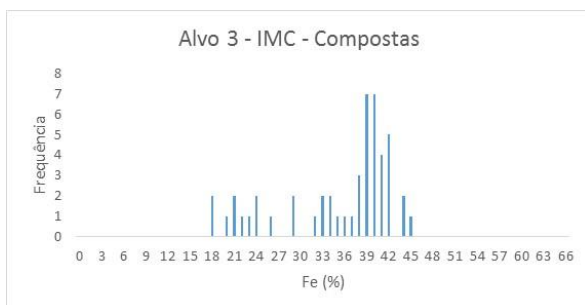
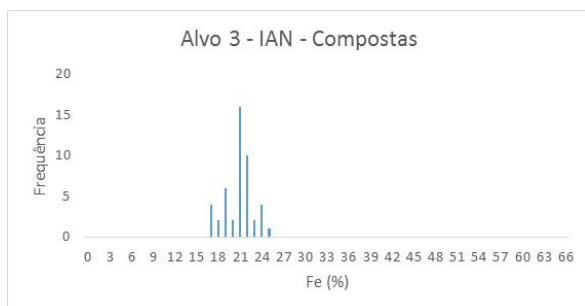
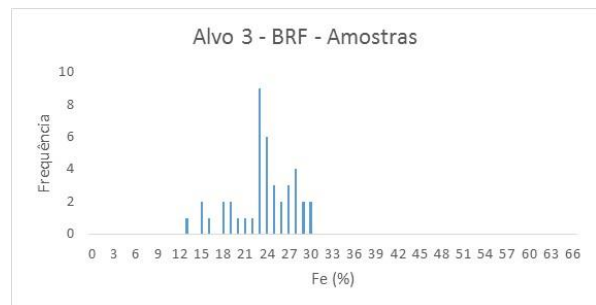
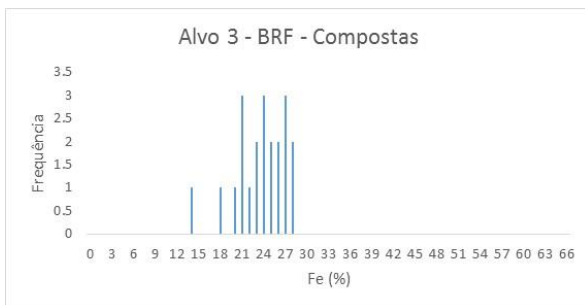
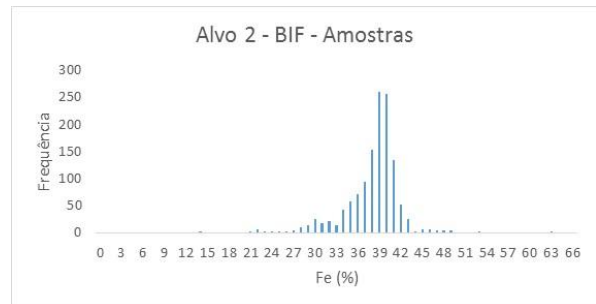
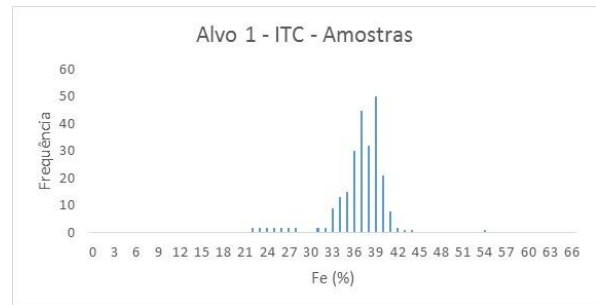
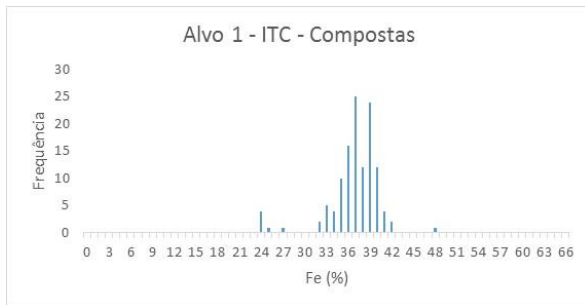
WEATHERSTONE, N. 2000. *Rio Tinto's Adoption of the JORC Code as a World Reporting Standard*. Mineral Industry Consultants Association (MICA), The Codes Forum, Sydney, Australia. Disponível em <http://www.mica.org.au/pdf/weatherstone1.pdf>. Acesso em março de 2014.

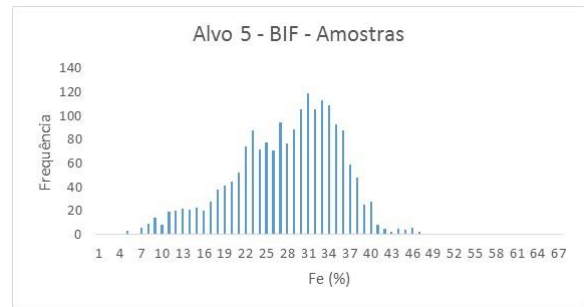
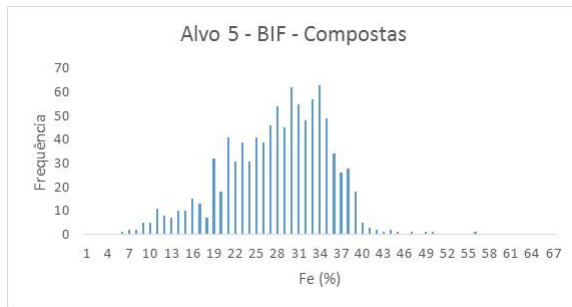
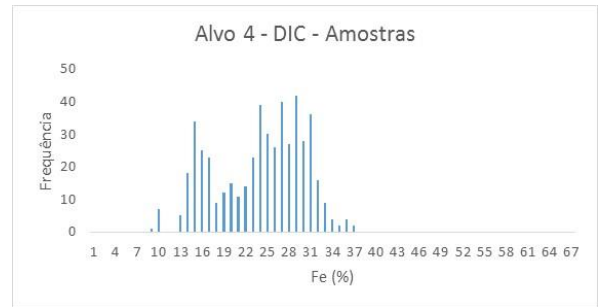
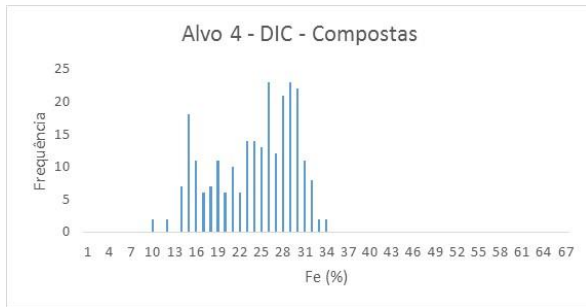
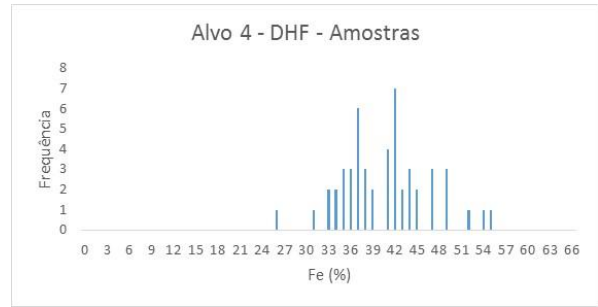
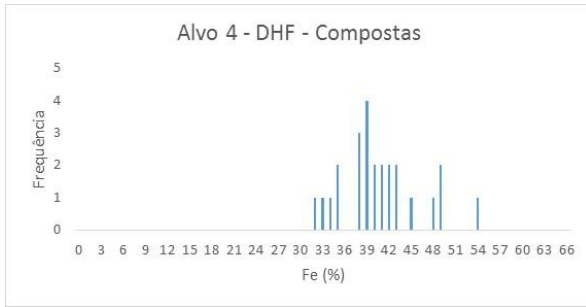
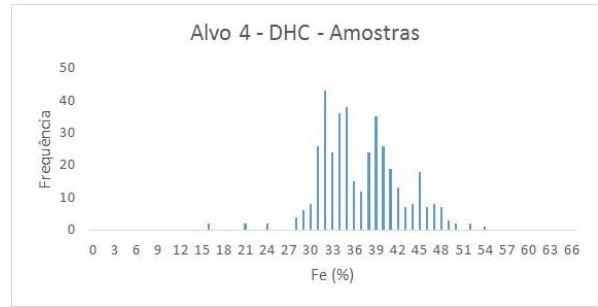
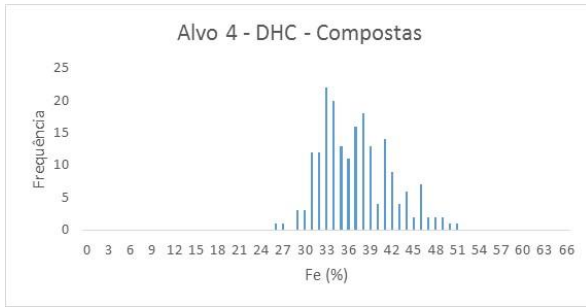
---



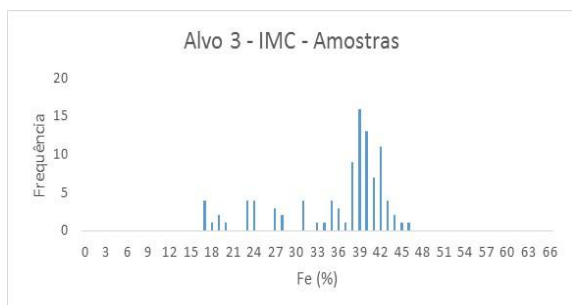
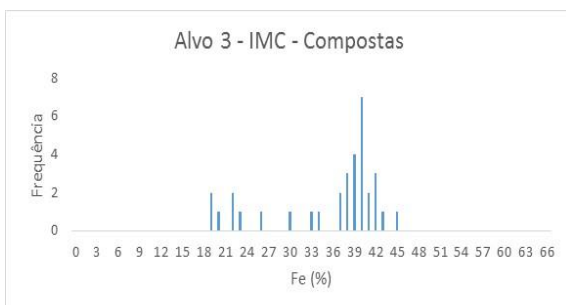
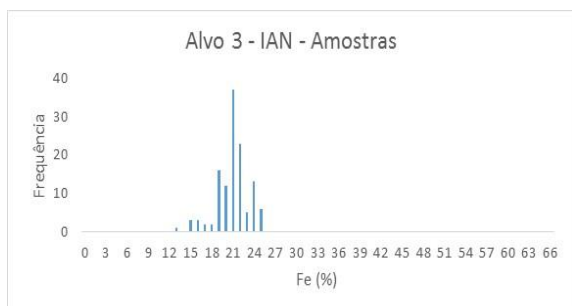
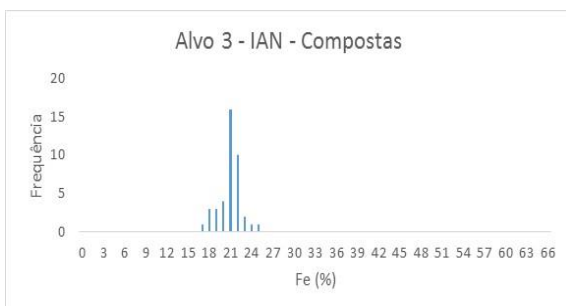
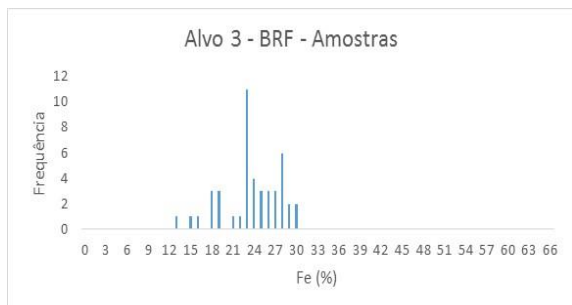
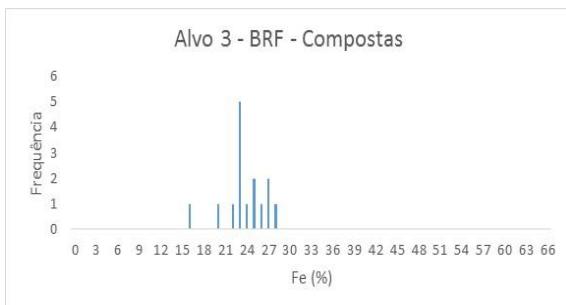
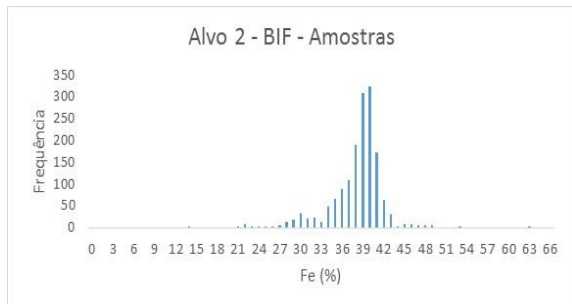
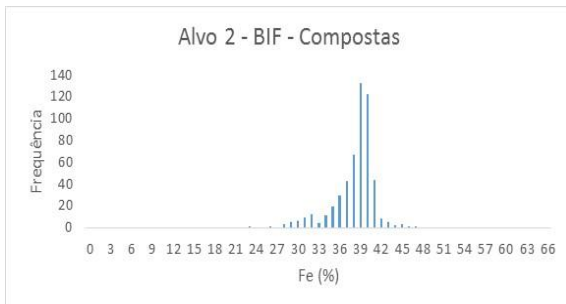
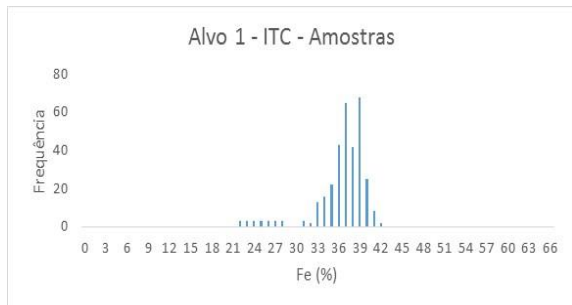
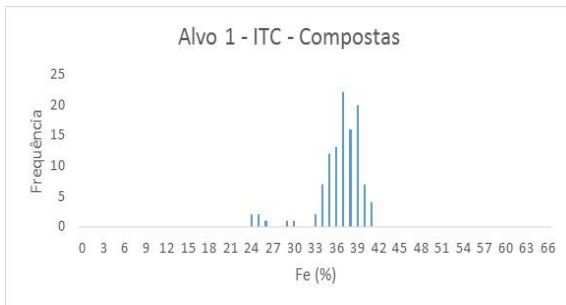


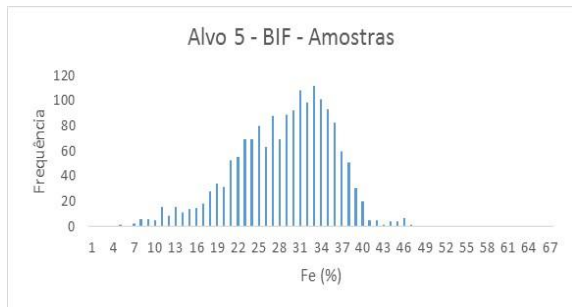
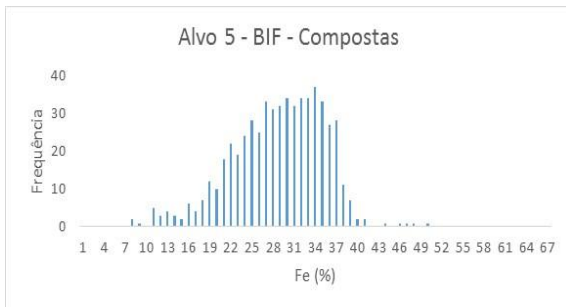
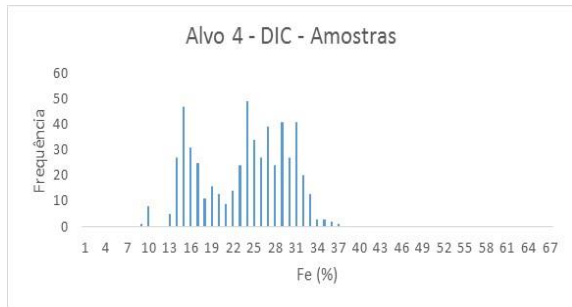
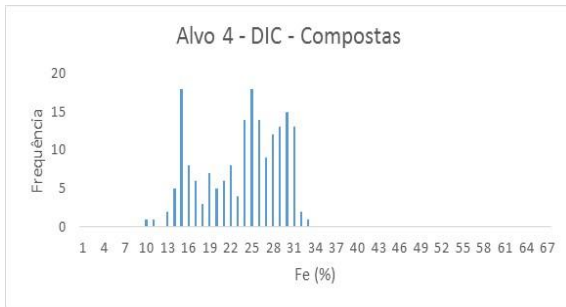
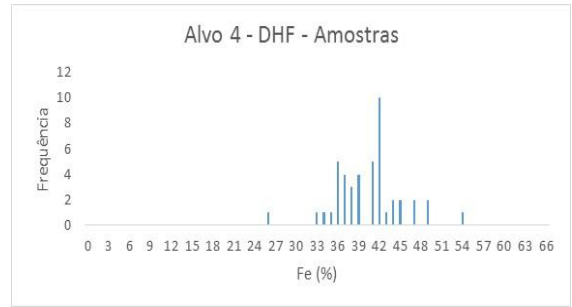
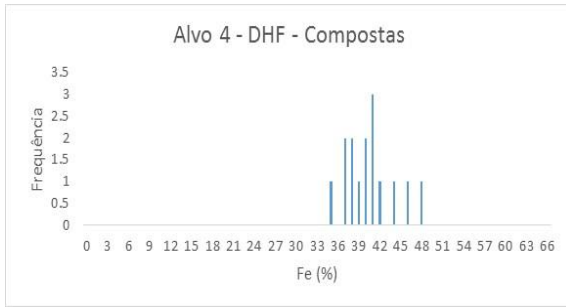
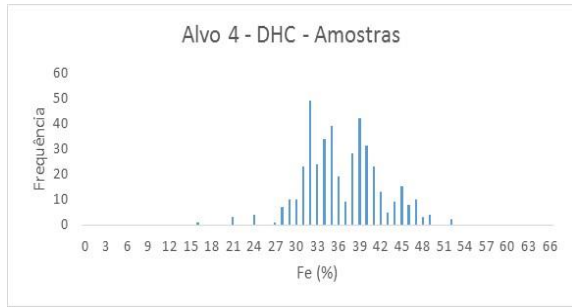
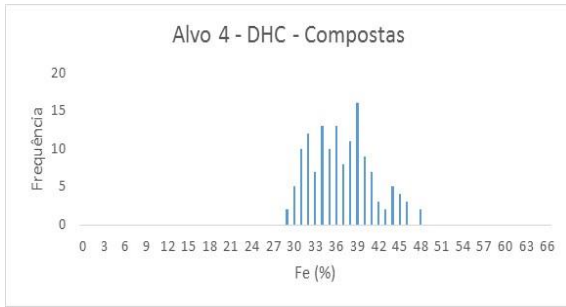
## Histogramas de ferro para compostas de 2 amostras



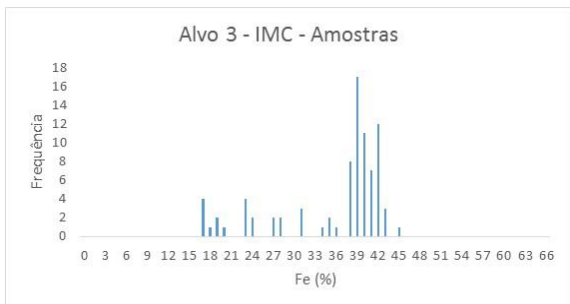
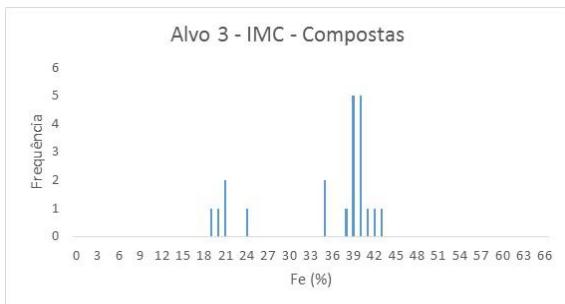
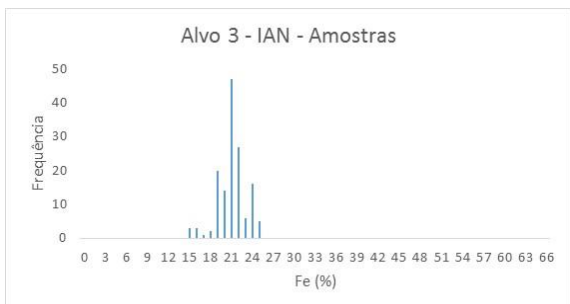
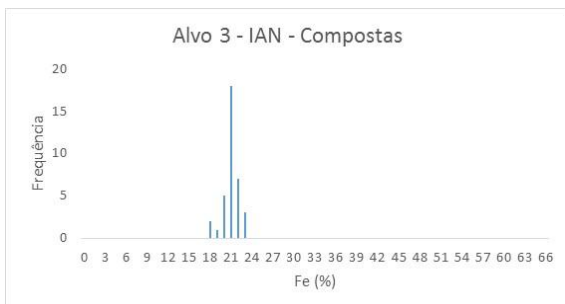
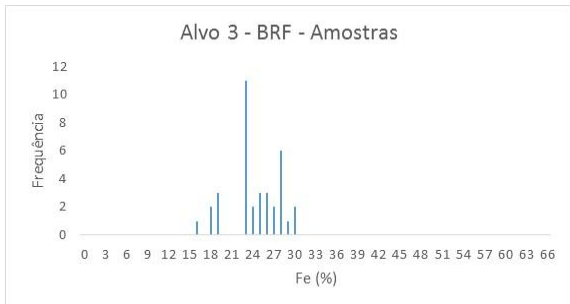
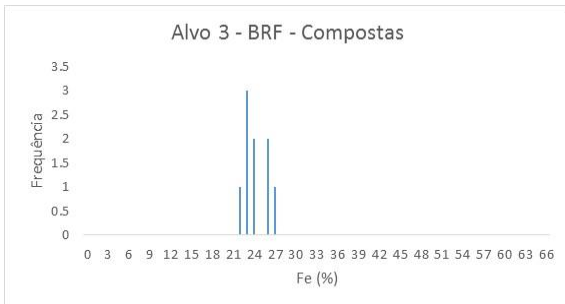
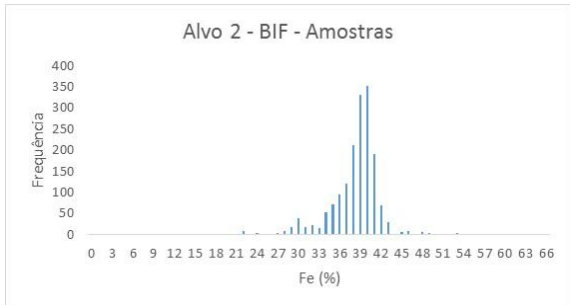
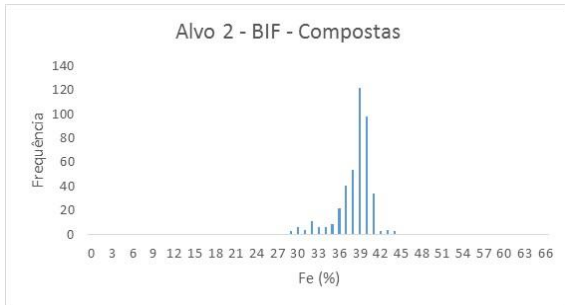
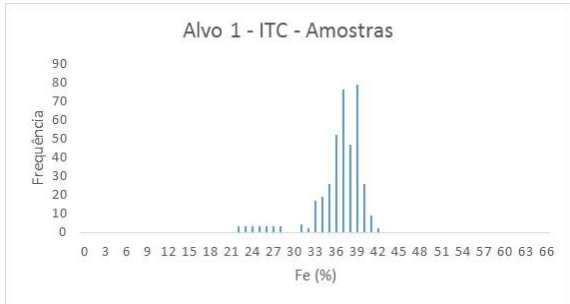
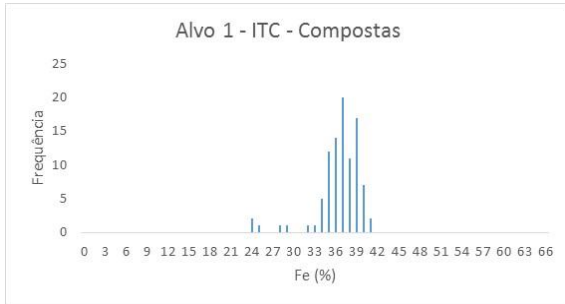


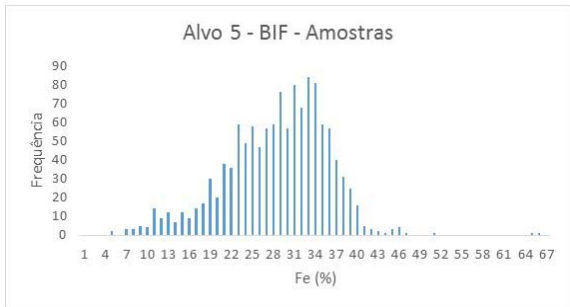
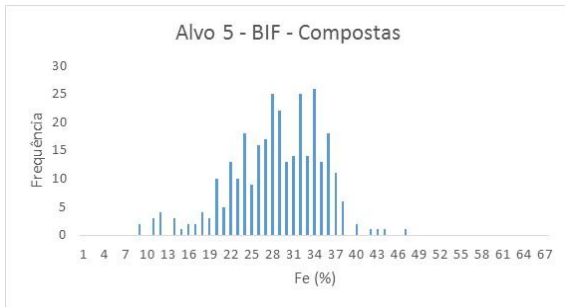
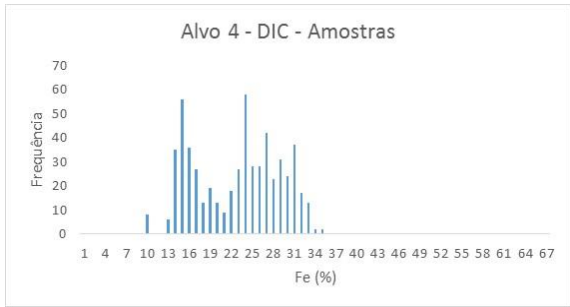
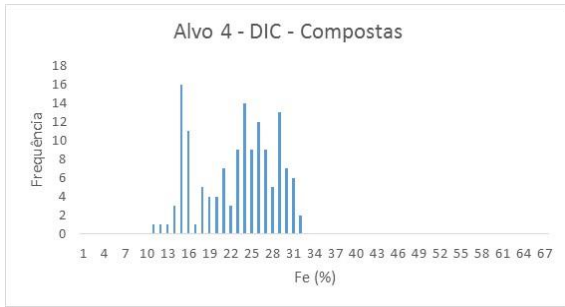
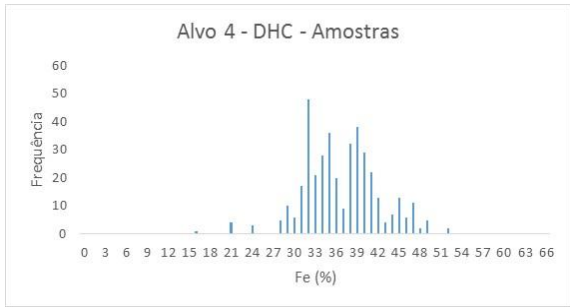
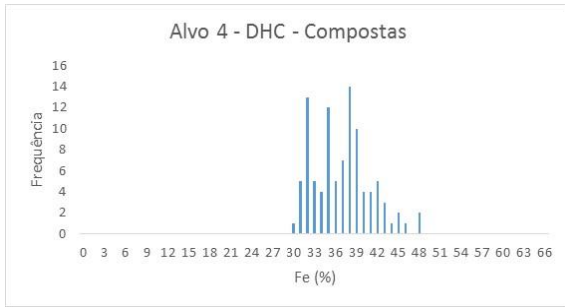
## Histogramas de ferro para compostas de 3 amostras



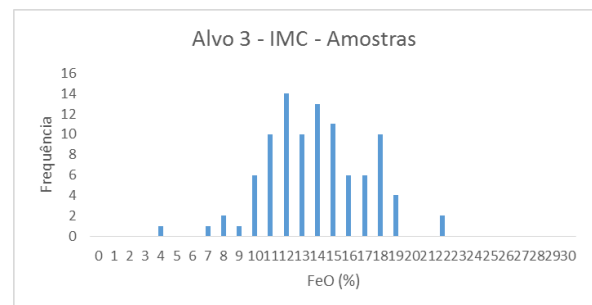
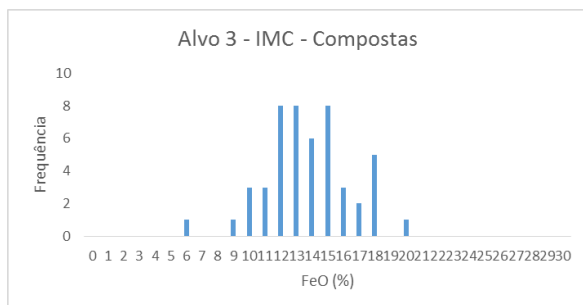
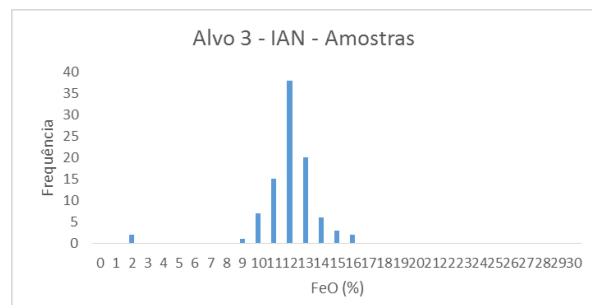
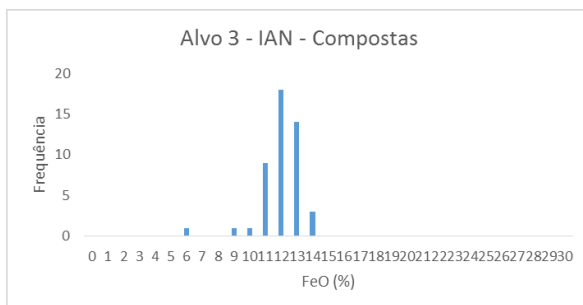
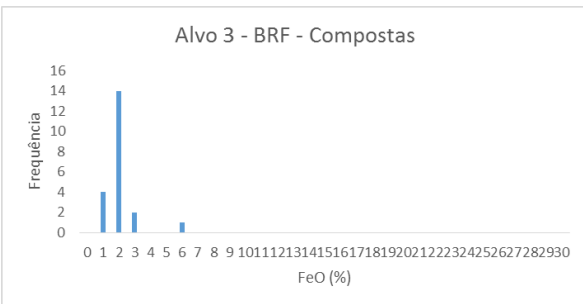
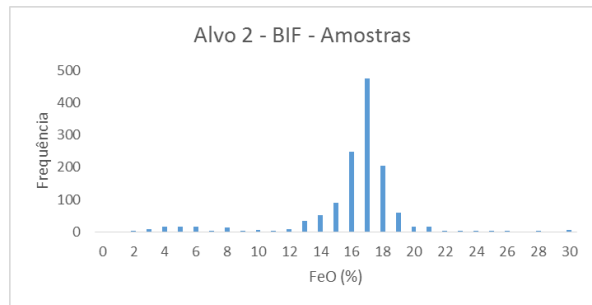
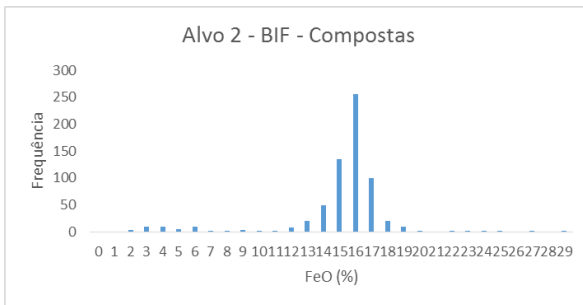
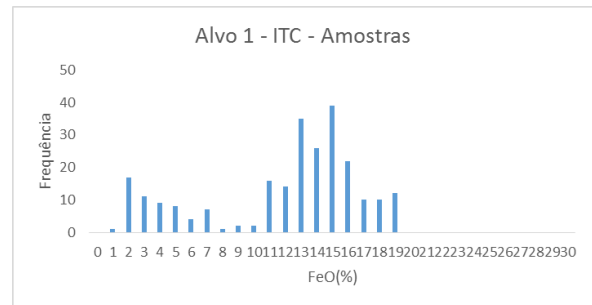
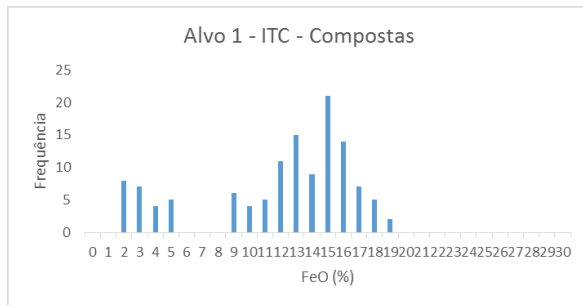


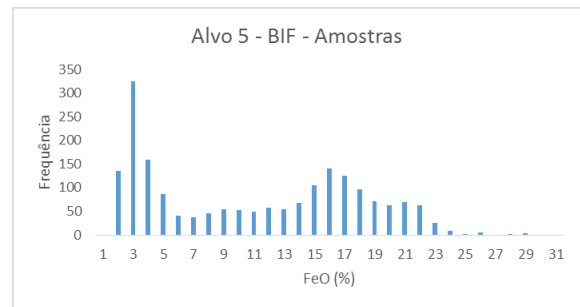
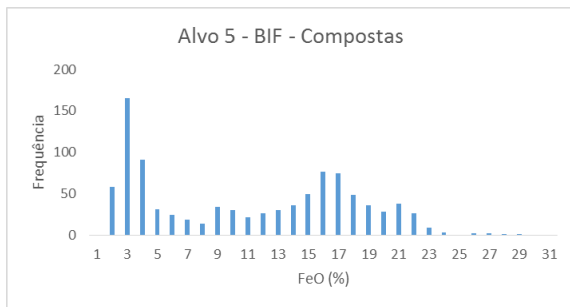
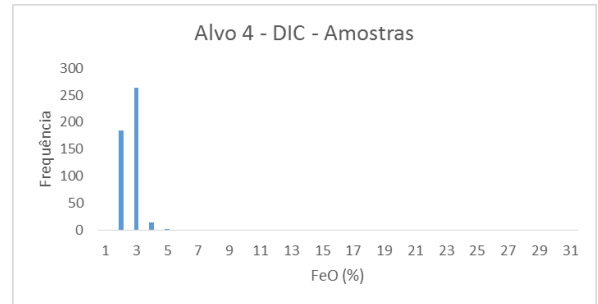
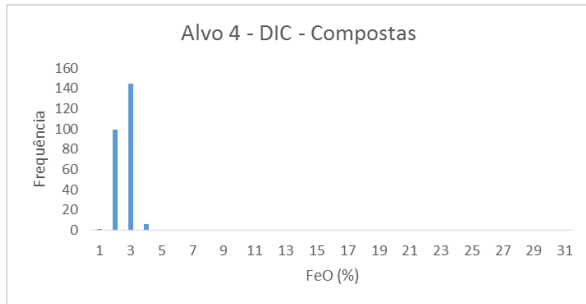
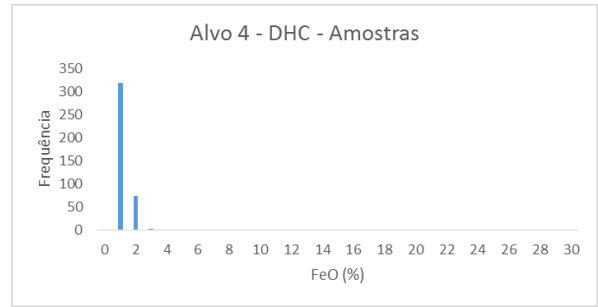
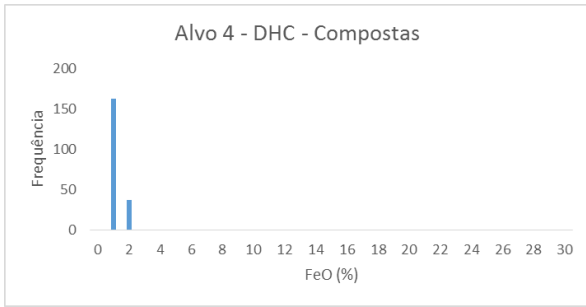
## Histogramas de ferro para compostas de 4 amostras





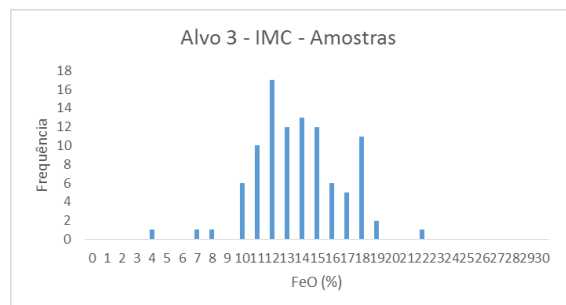
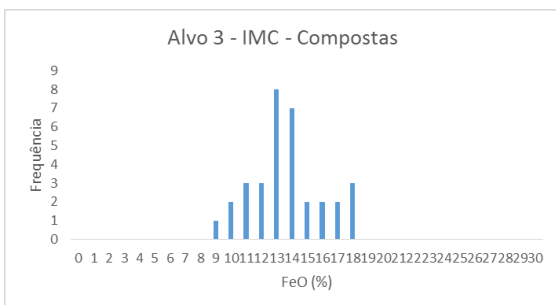
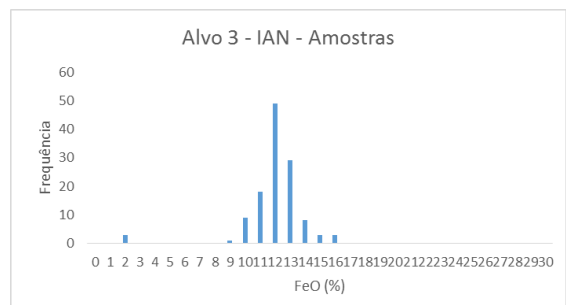
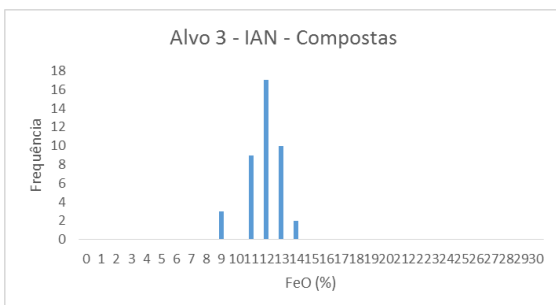
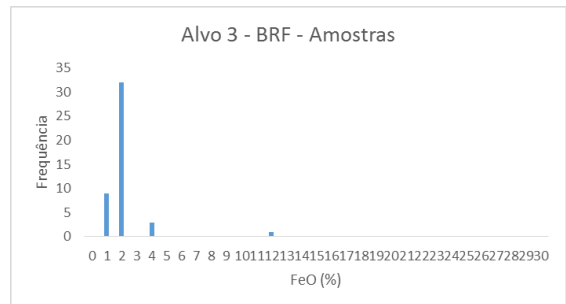
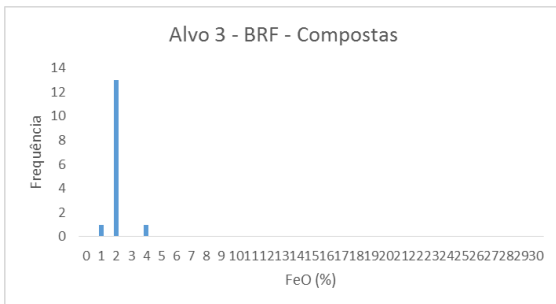
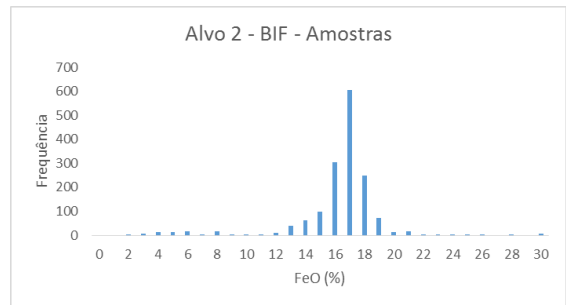
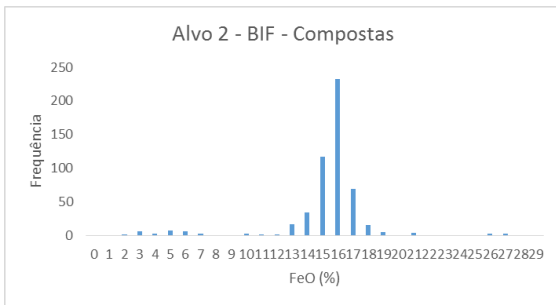
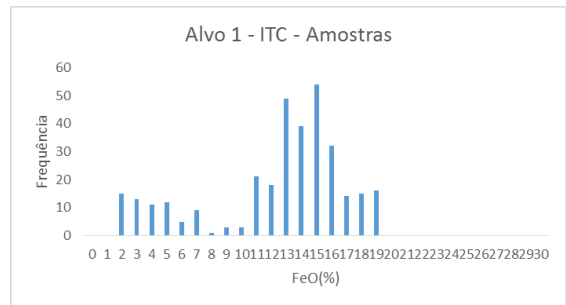
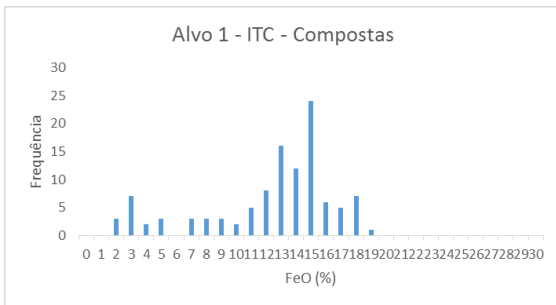
## Histogramas de óxido de ferro para compostas de 2 amostras

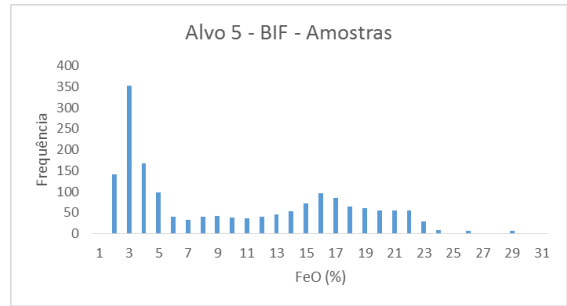
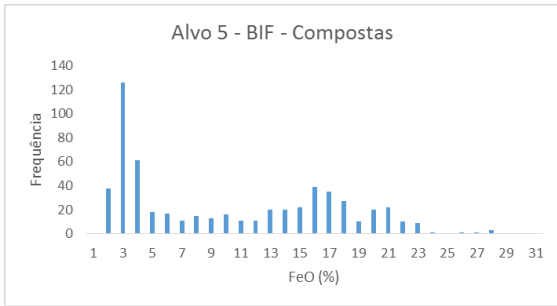
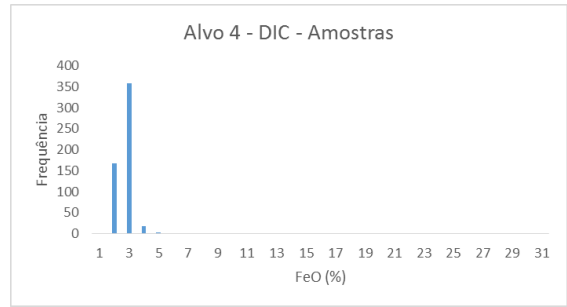
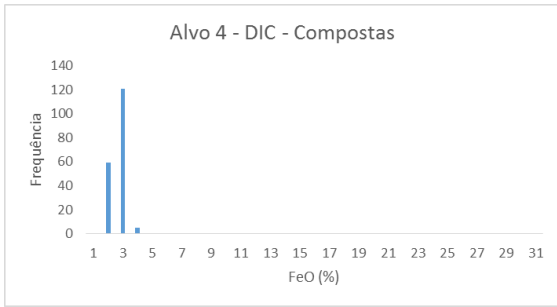
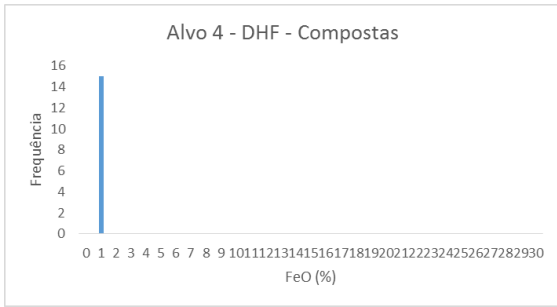
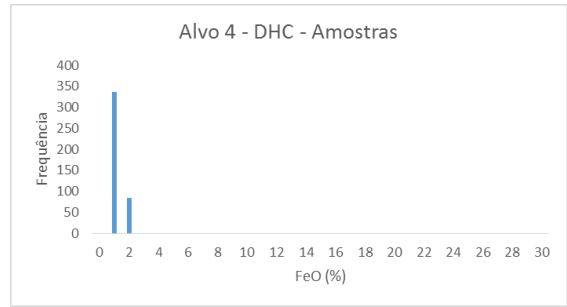
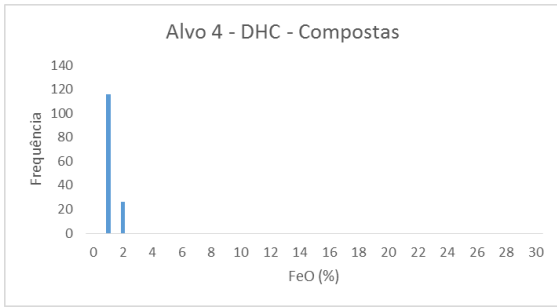




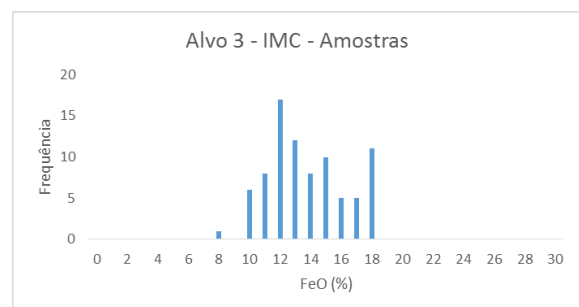
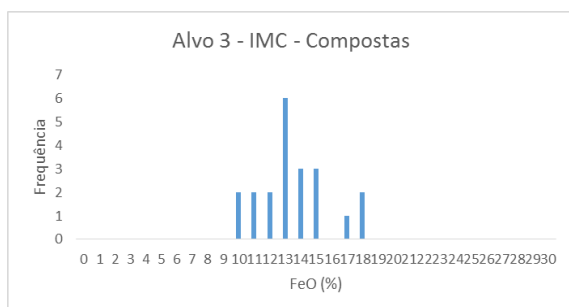
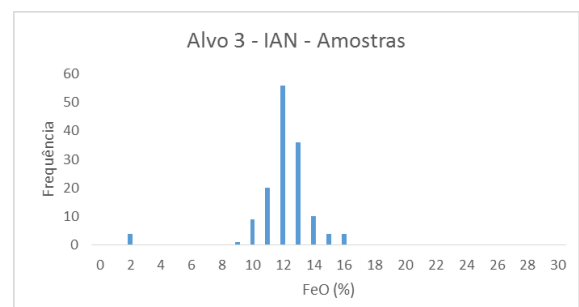
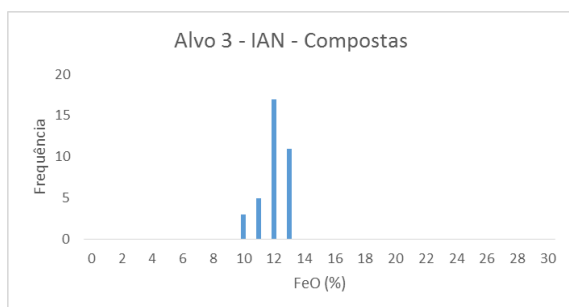
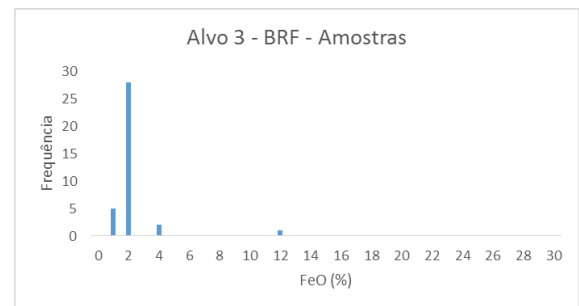
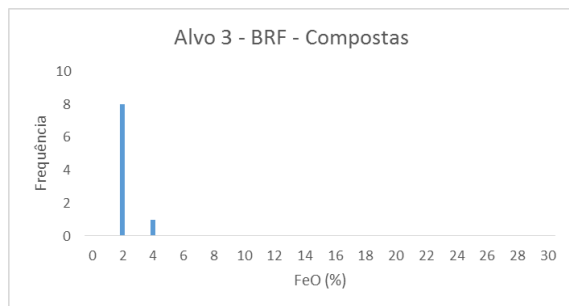
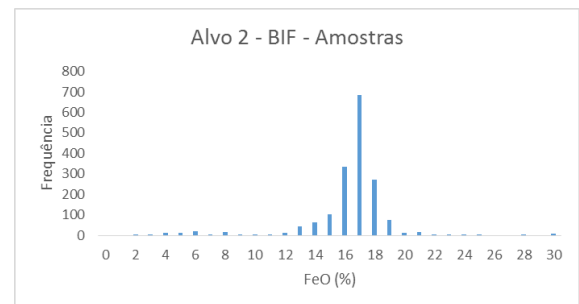
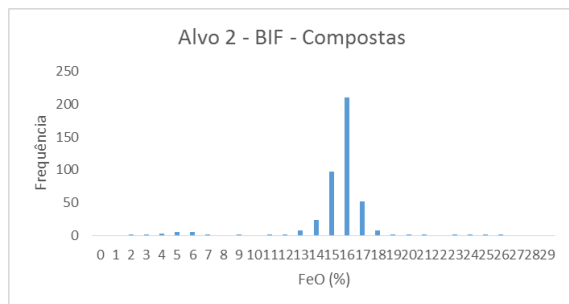
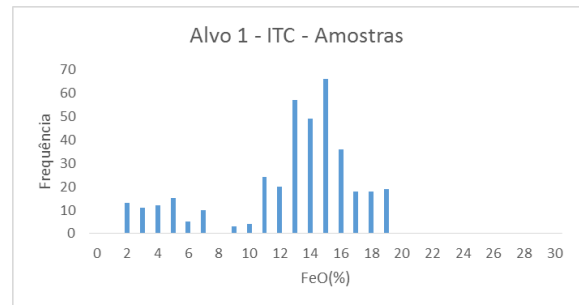
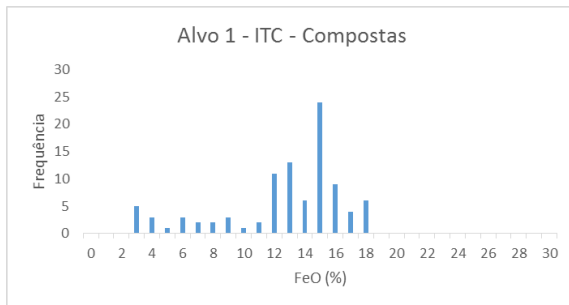


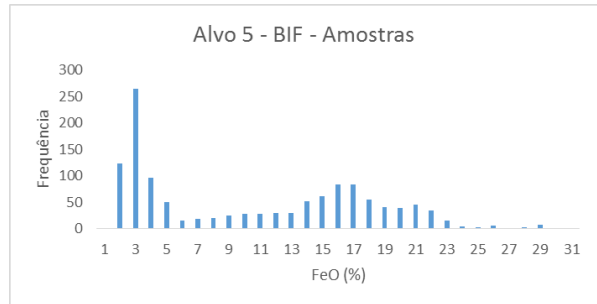
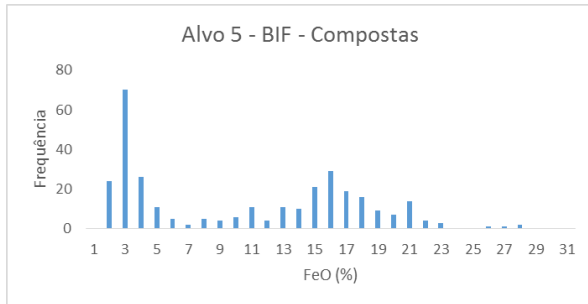
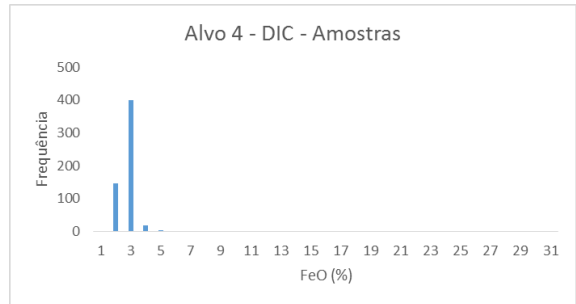
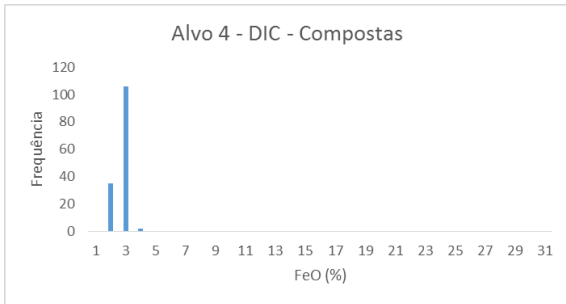
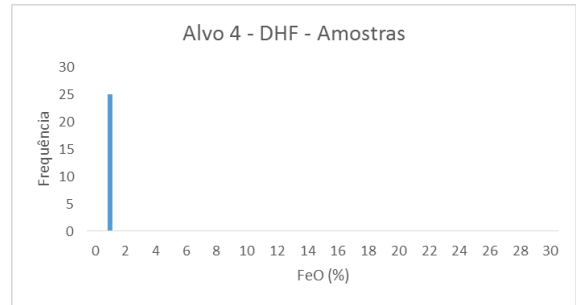
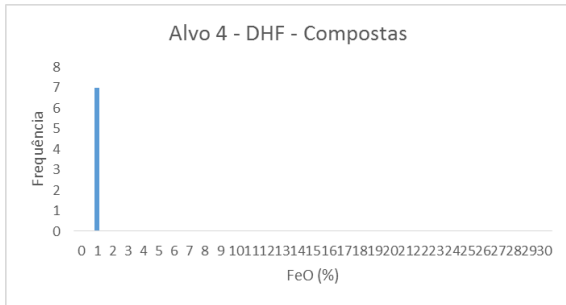
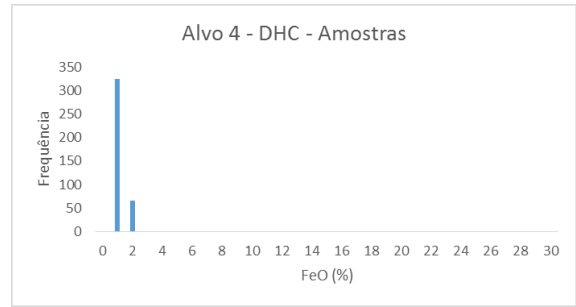
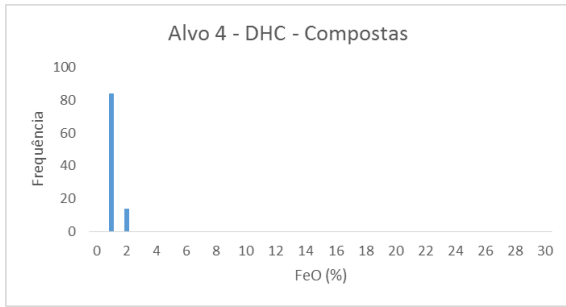
## Histogramas de óxido de ferro para compostas de 3 amostras



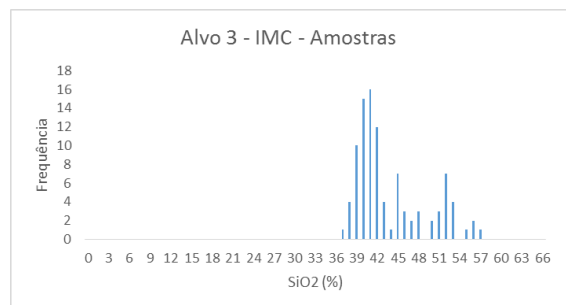
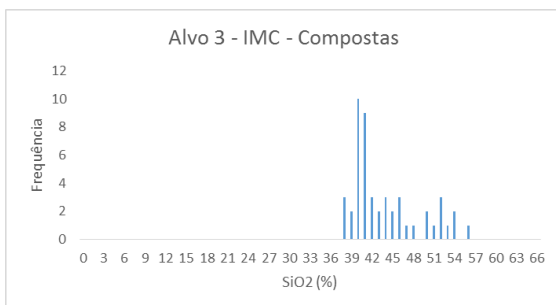
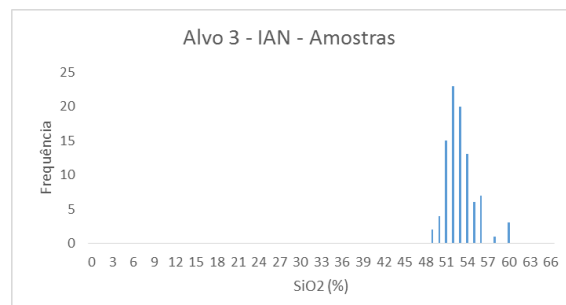
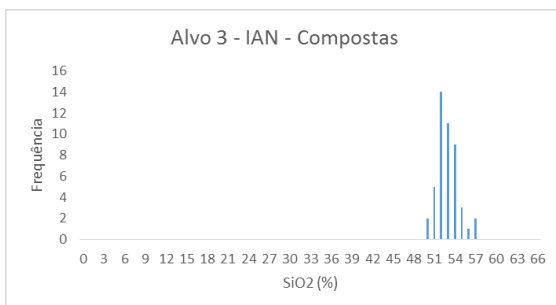
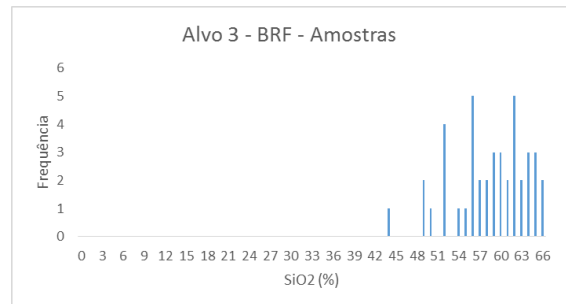
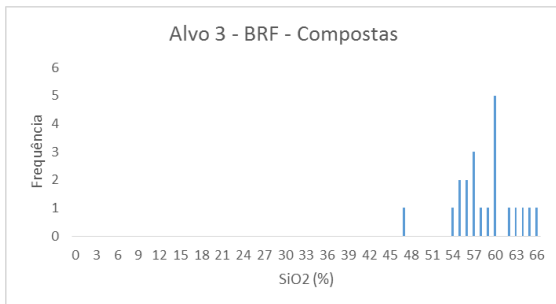
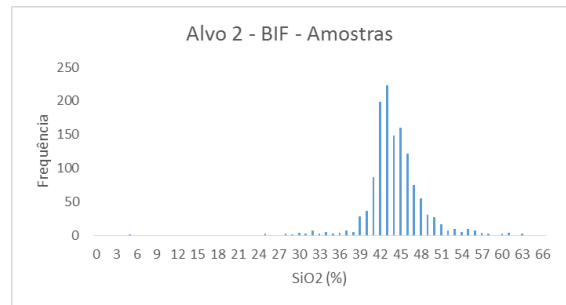
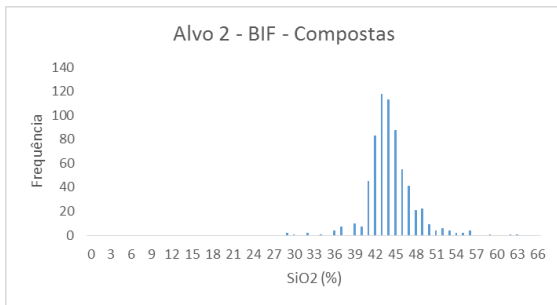
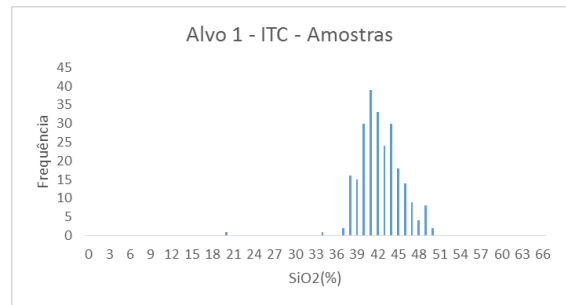
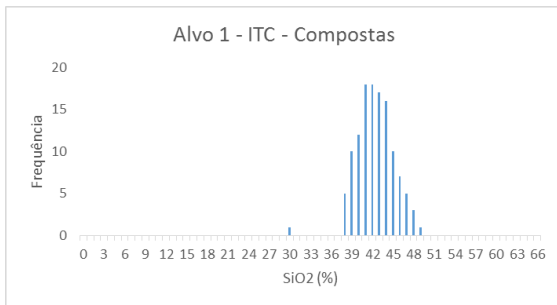


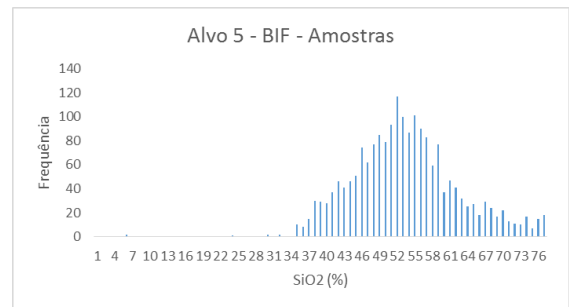
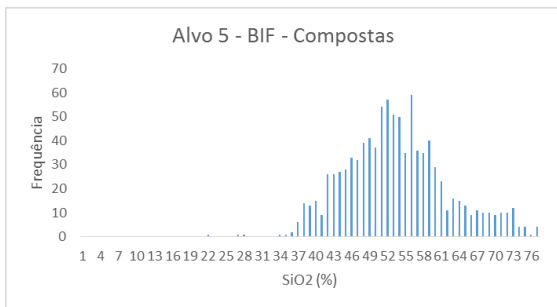
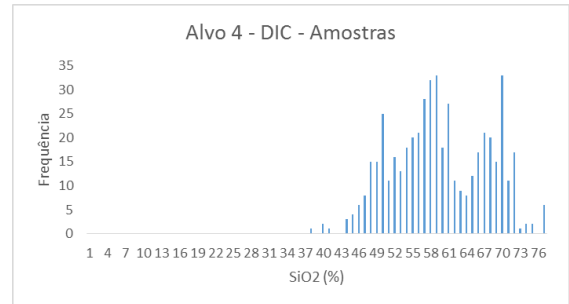
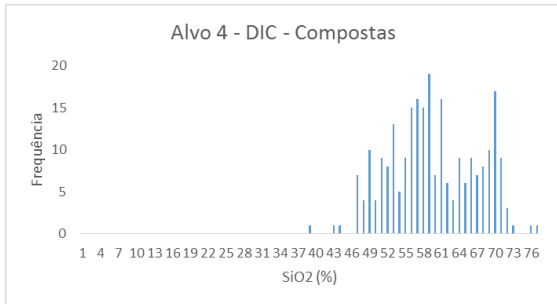
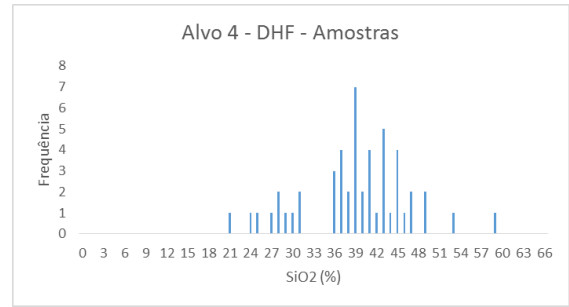
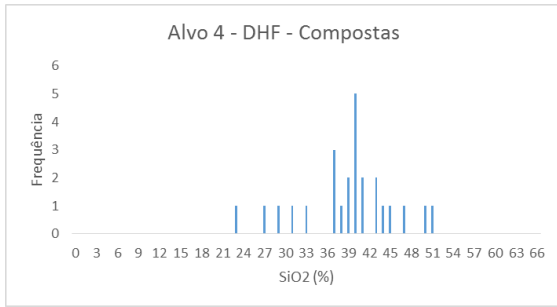
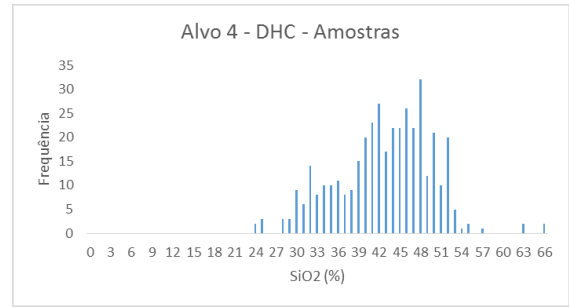
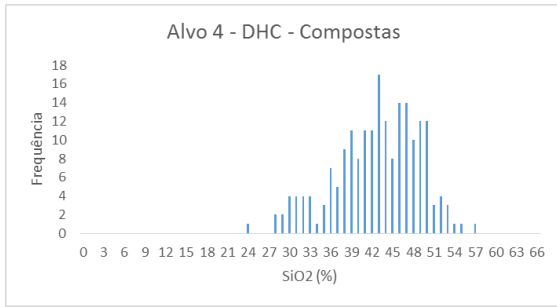
## Histogramas de óxido de ferro para compostas de 4 amostras



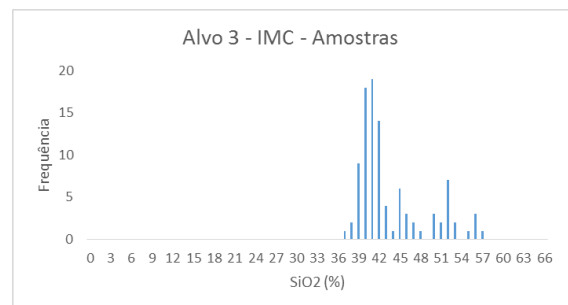
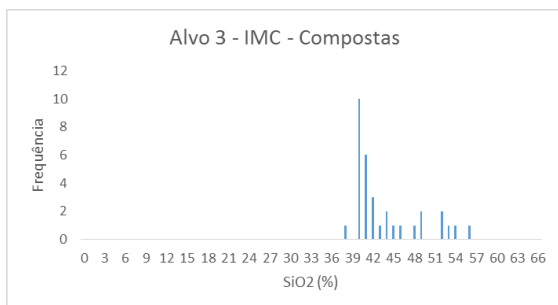
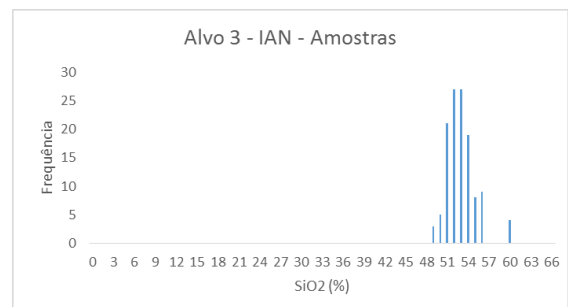
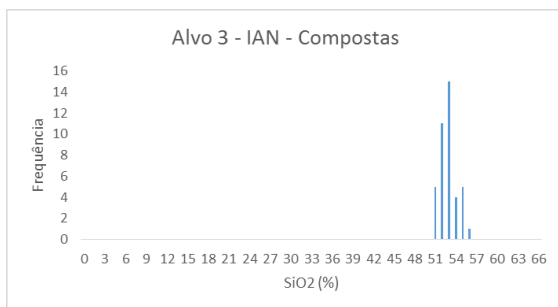
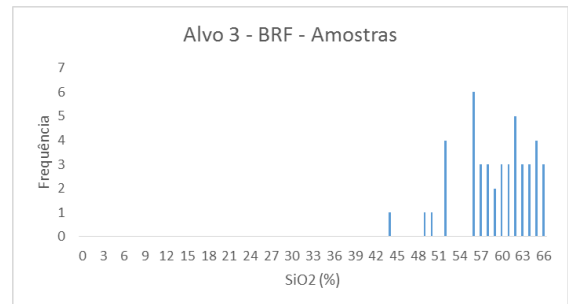
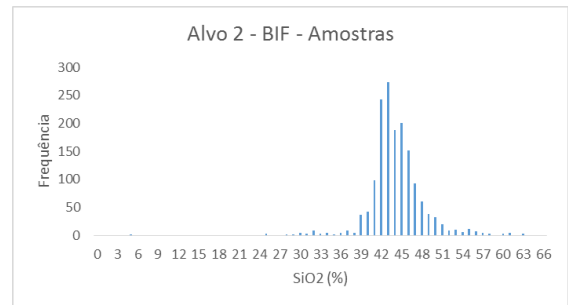
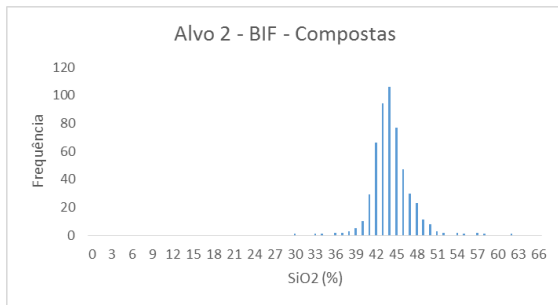
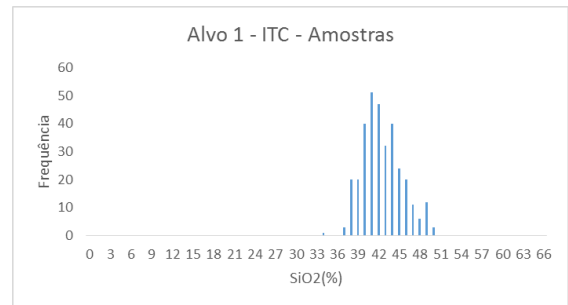
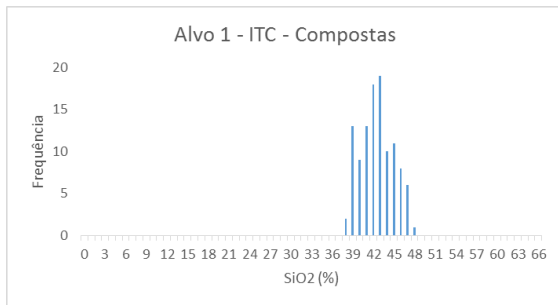


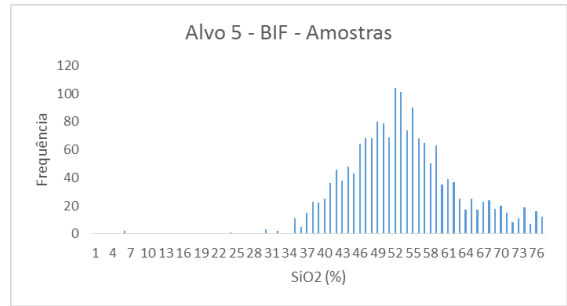
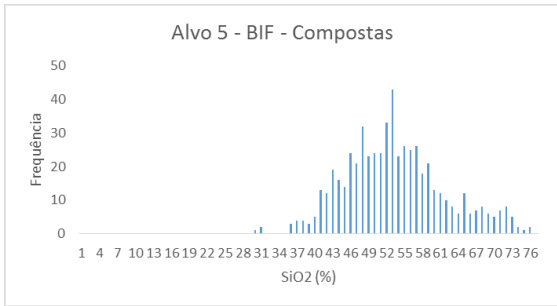
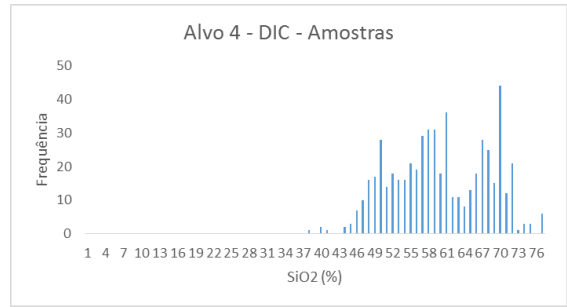
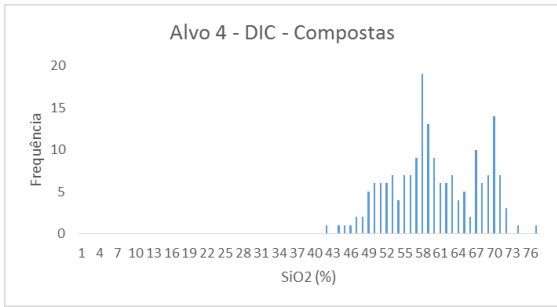
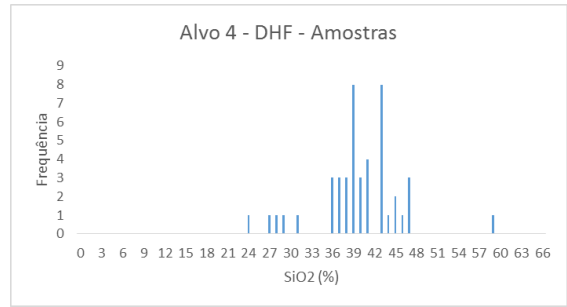
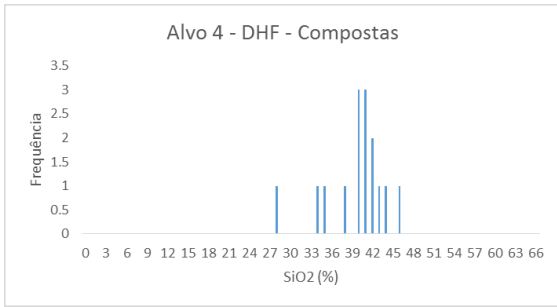
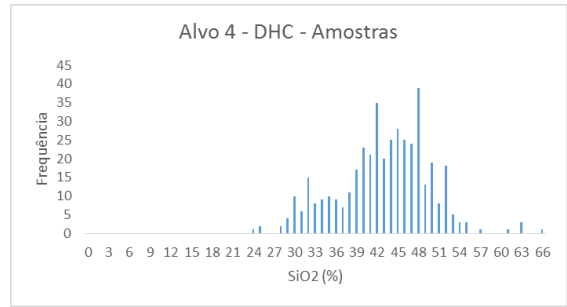
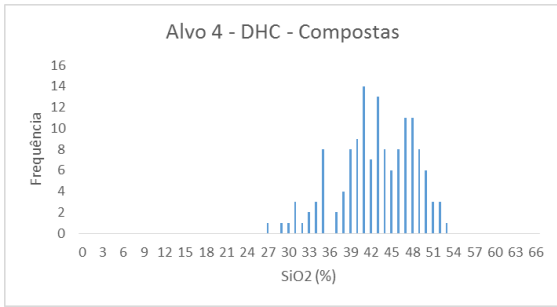
## Histogramas de sílica para compostas de 2 amostras





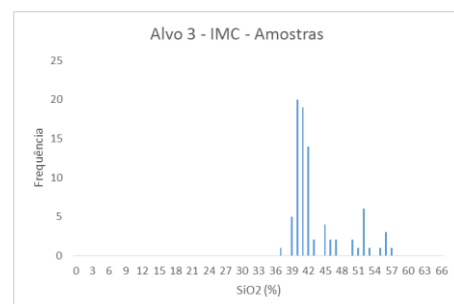
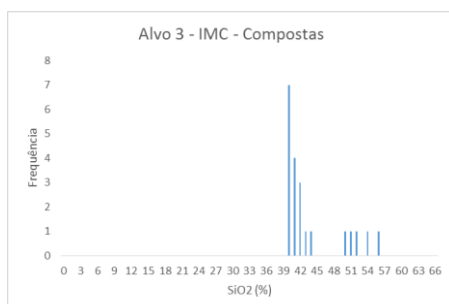
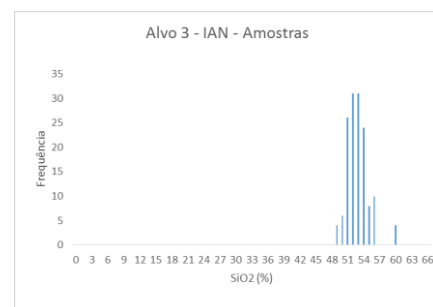
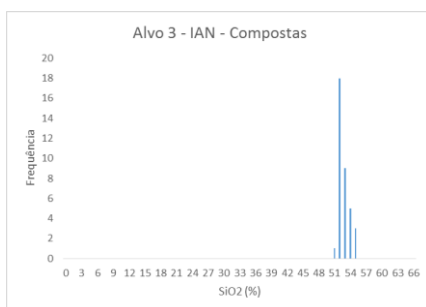
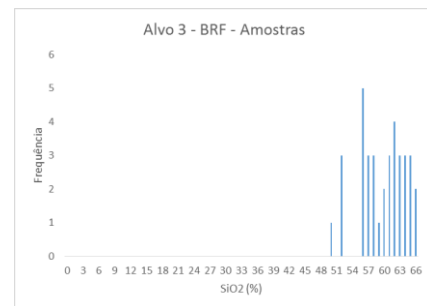
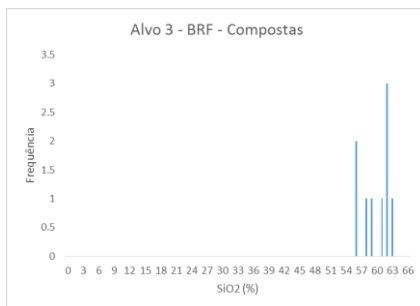
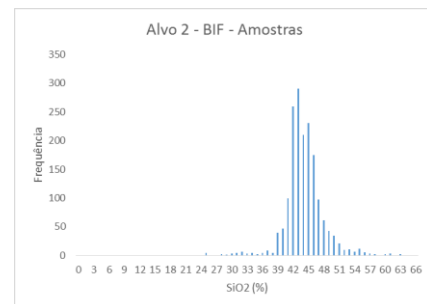
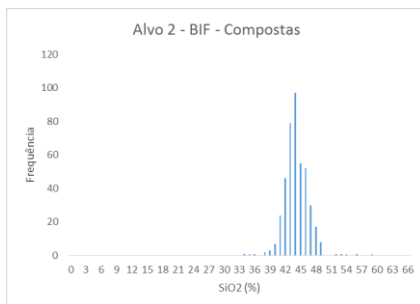
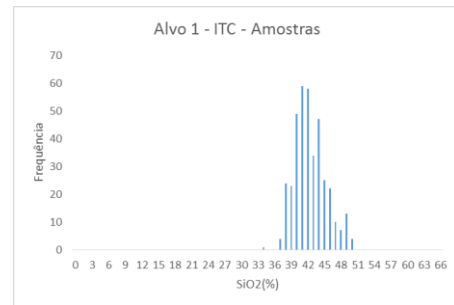
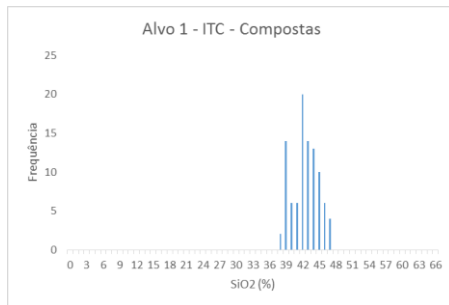
## Histogramas de sílica para compostas de 3 amostras

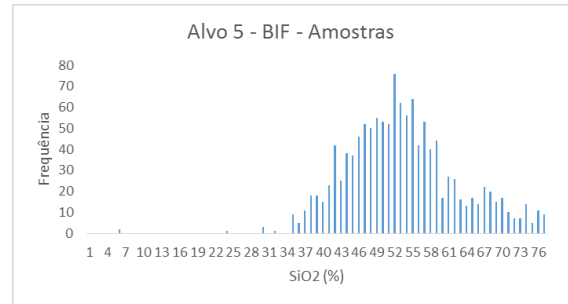
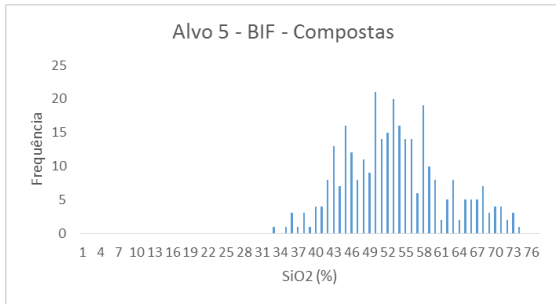
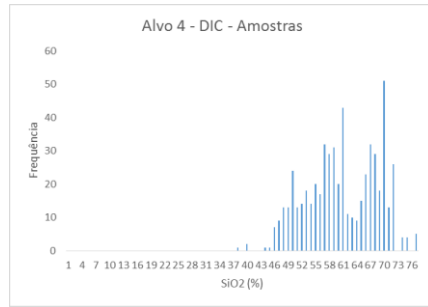
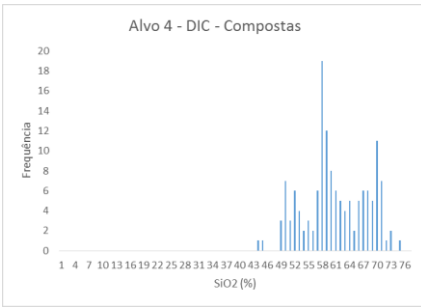
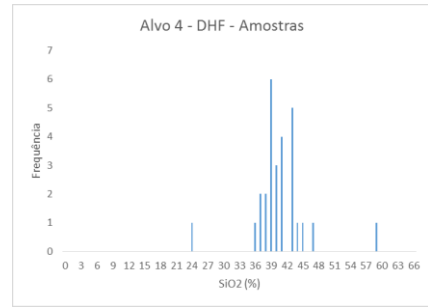
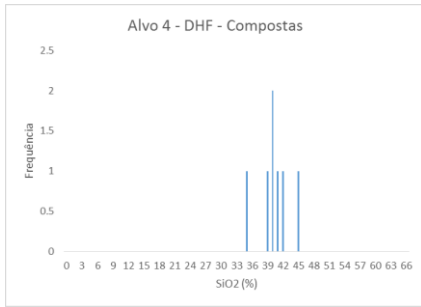
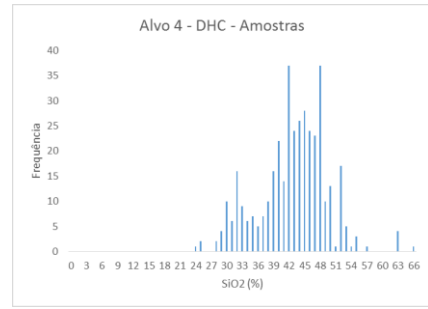
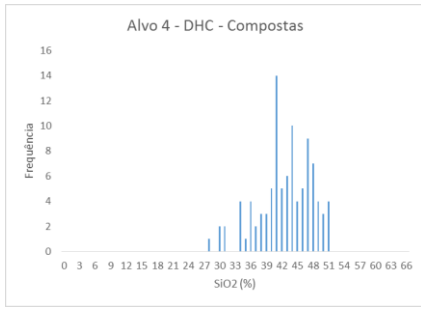




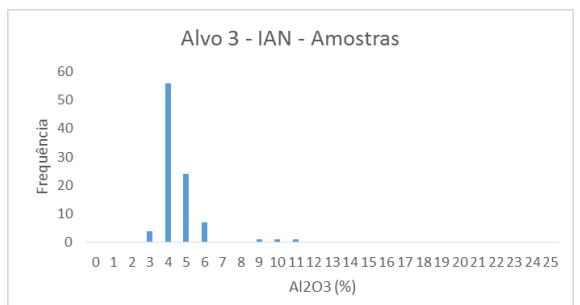
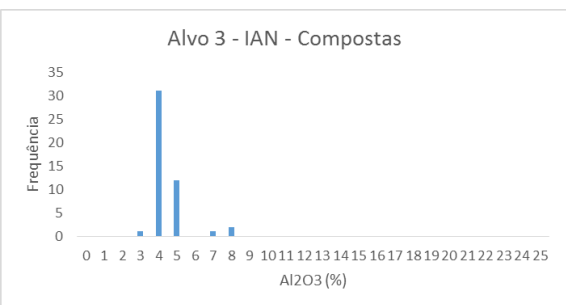
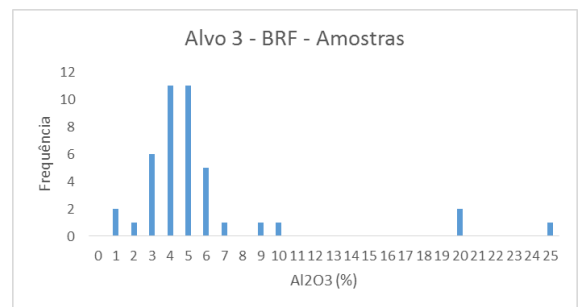
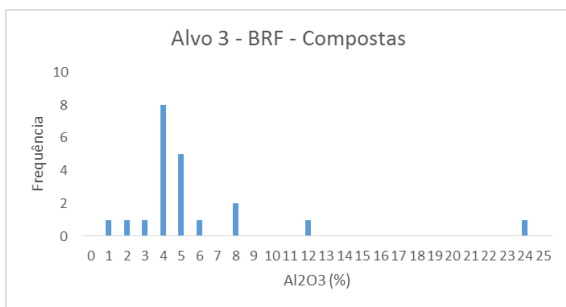
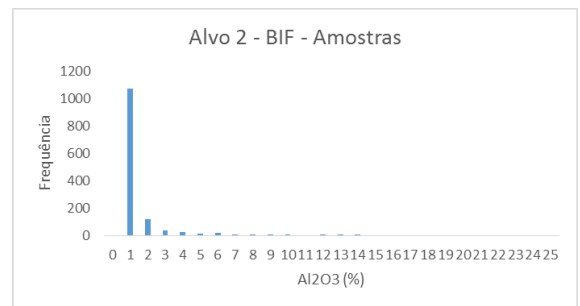
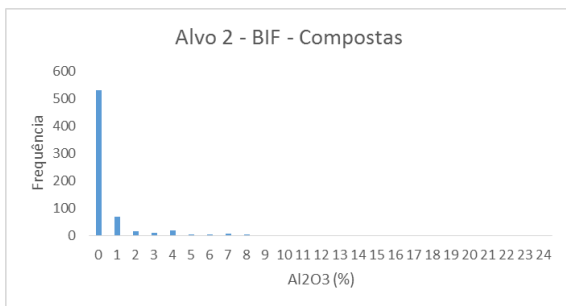
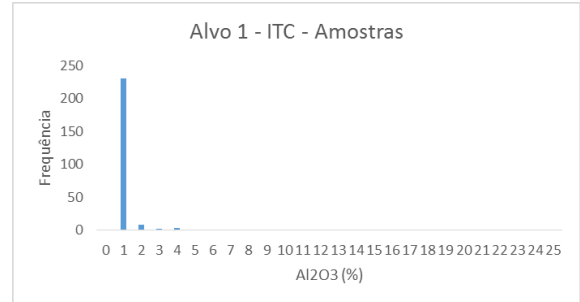
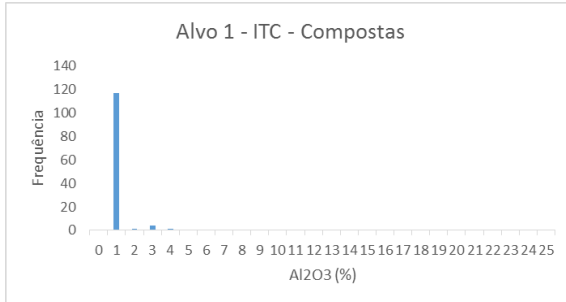


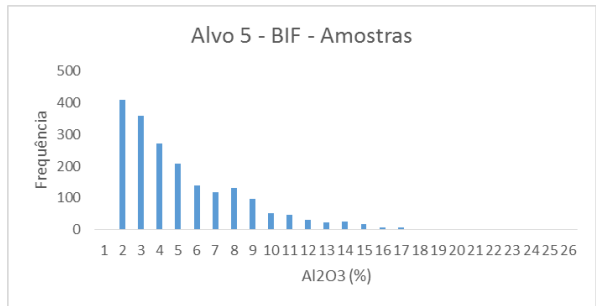
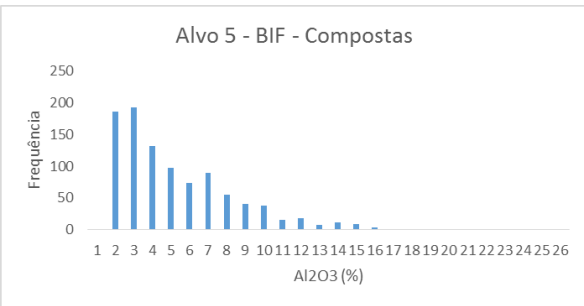
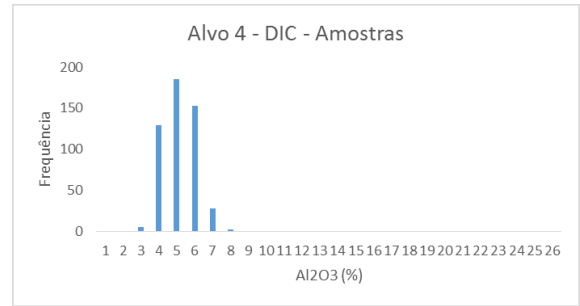
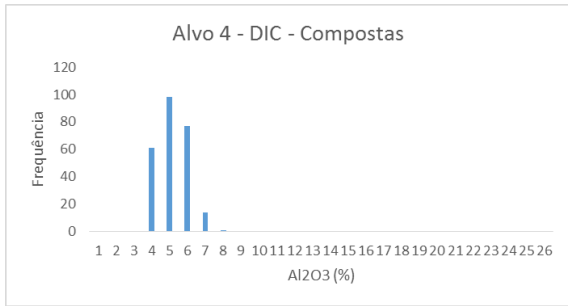
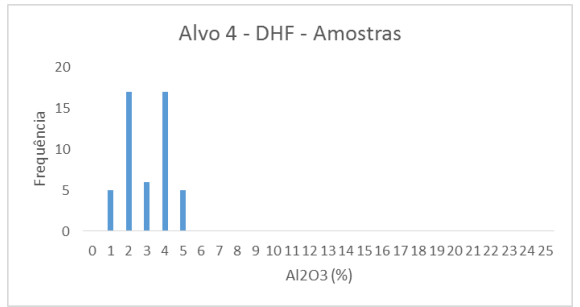
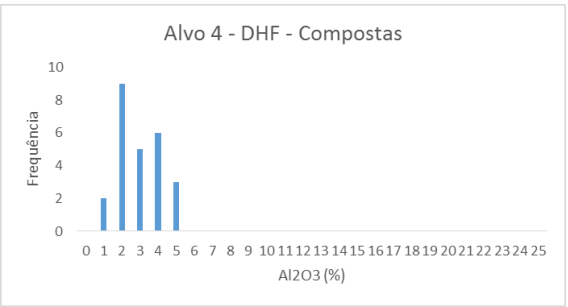
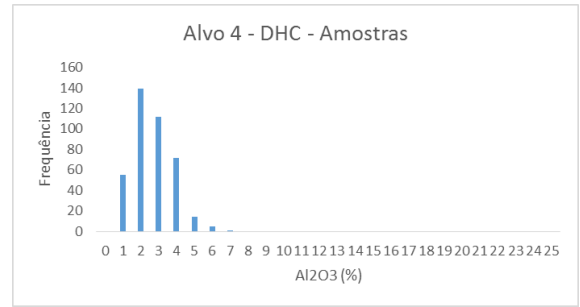
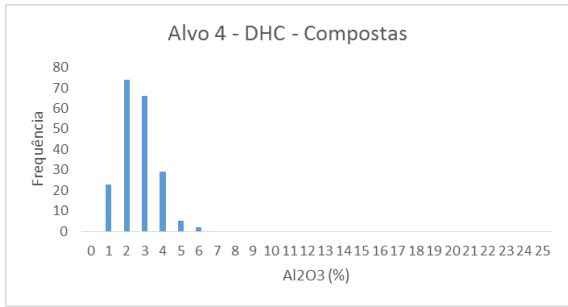
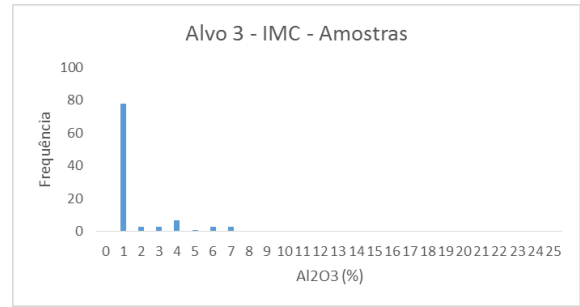
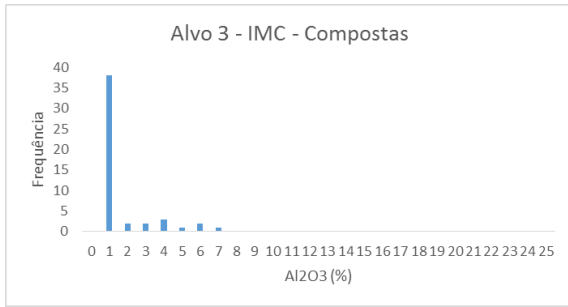
## Histogramas de sílica para compostas de 4 amostras



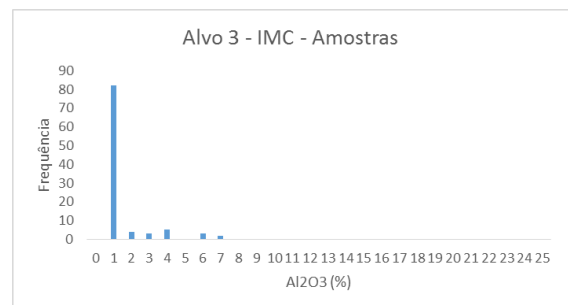
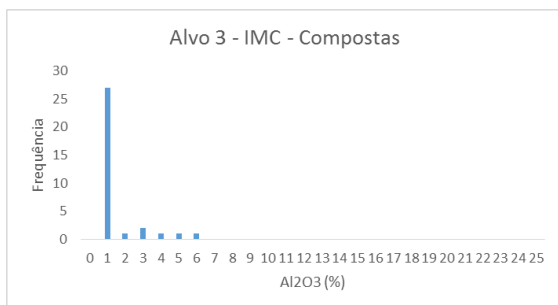
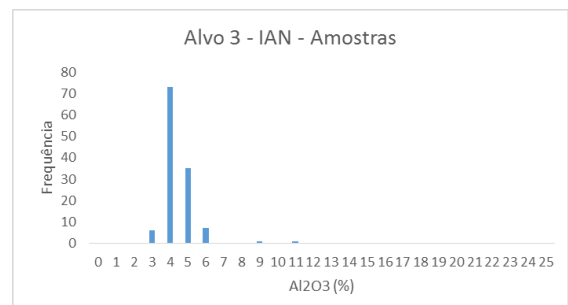
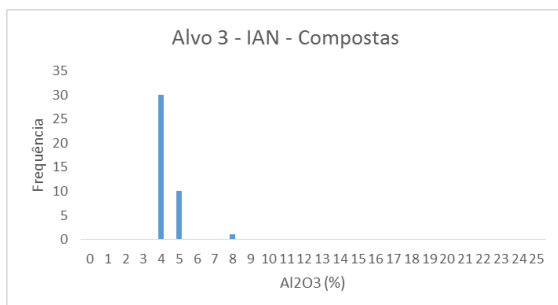
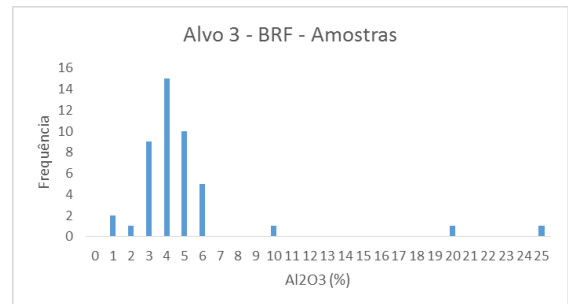
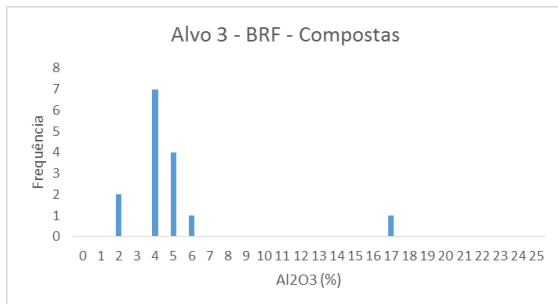
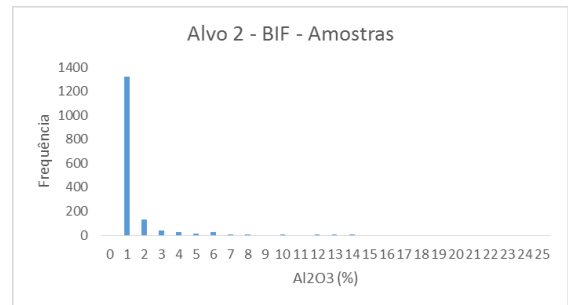
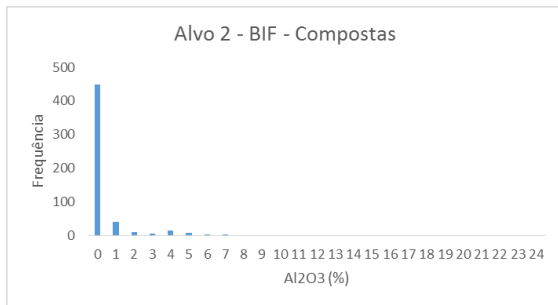
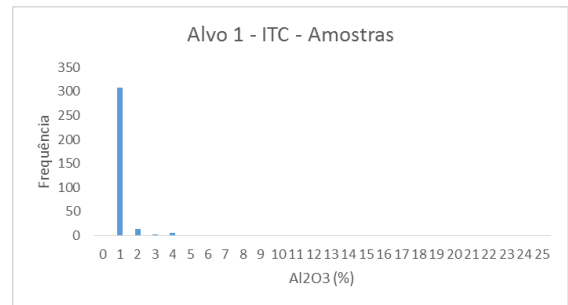
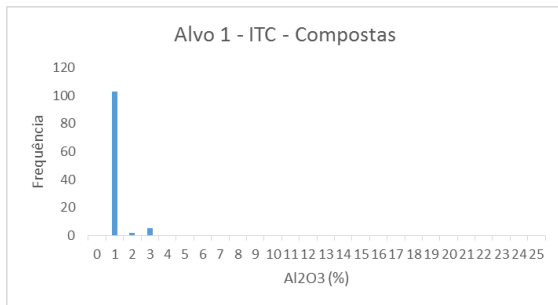


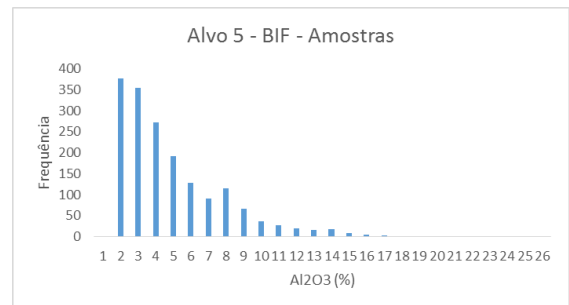
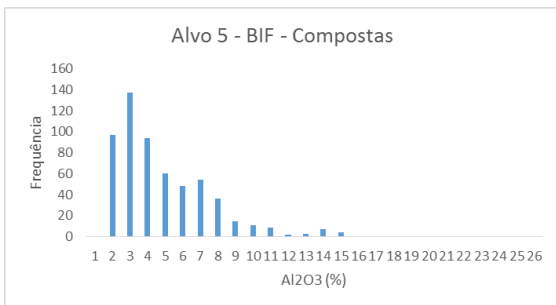
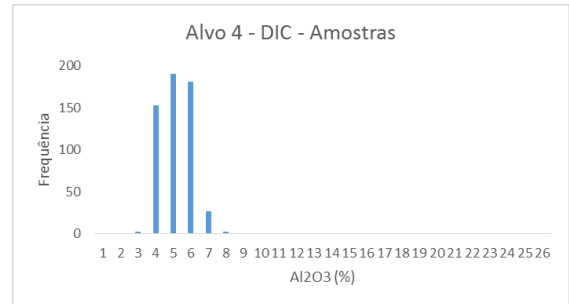
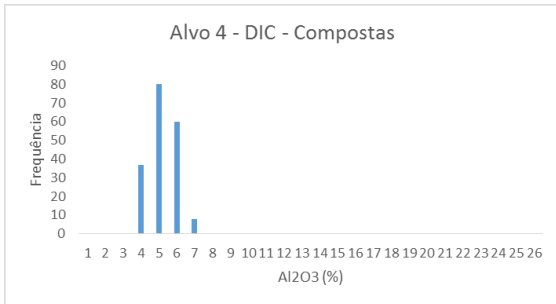
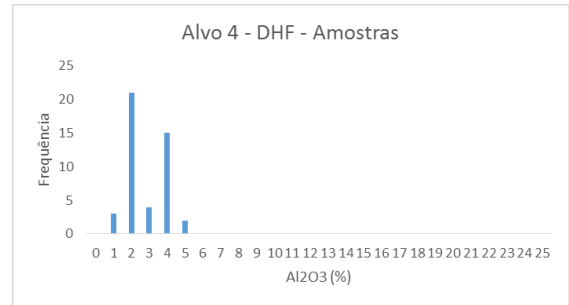
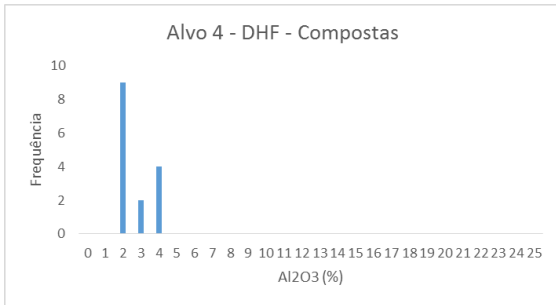
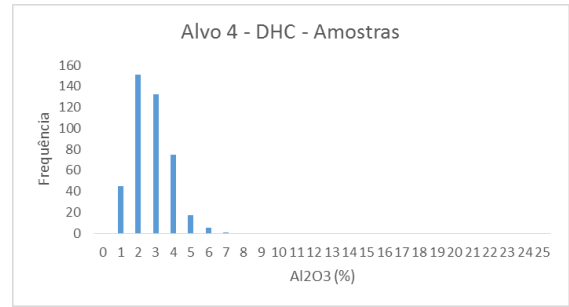
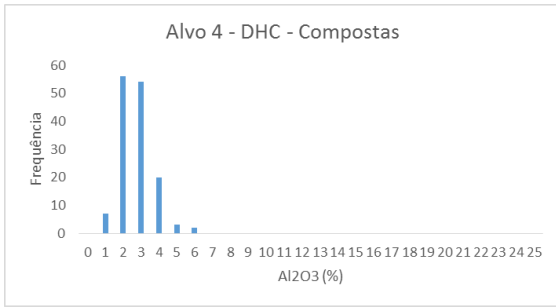
## Histogramas de óxido de alumínio para compostas de 2 amostras



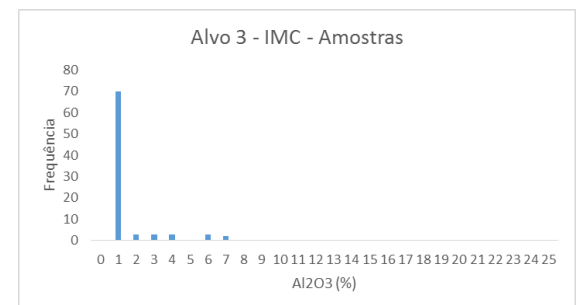
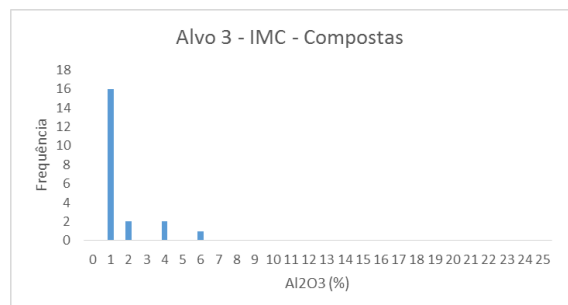
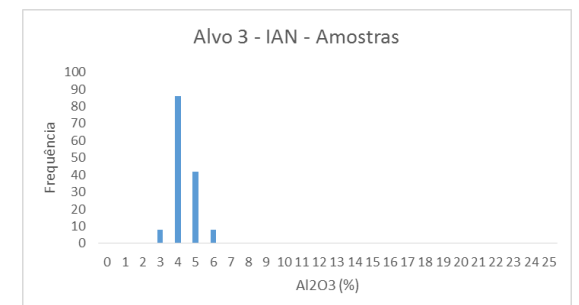
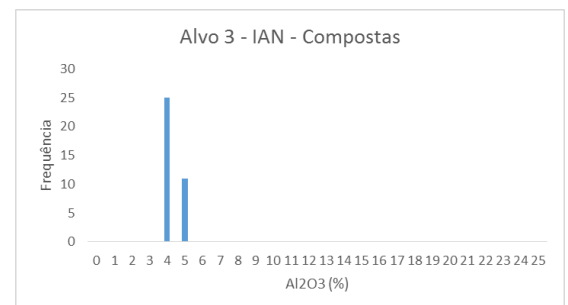
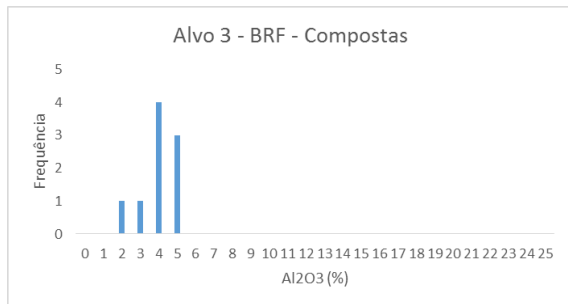
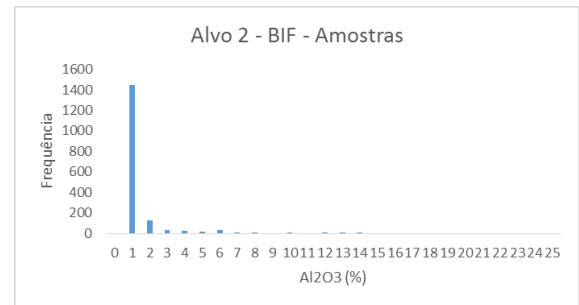
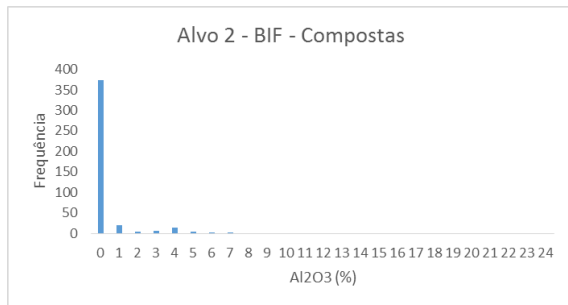
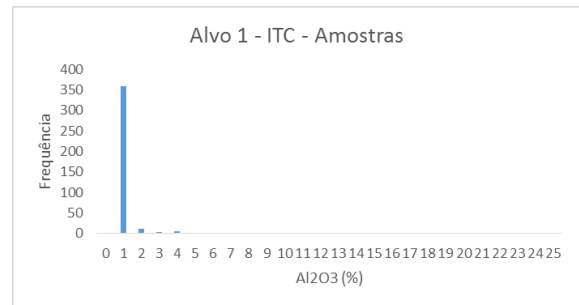
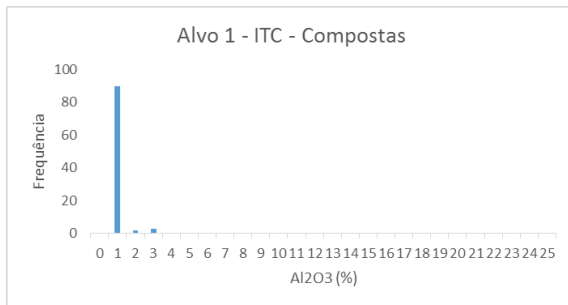


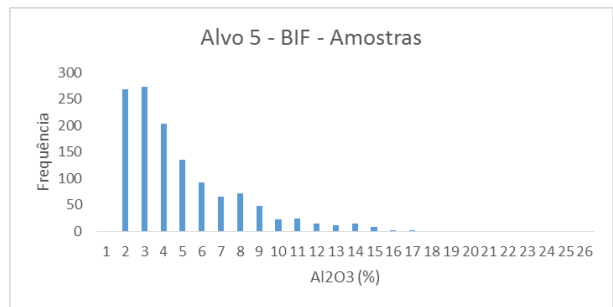
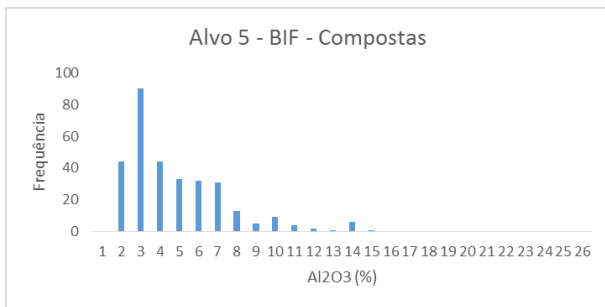
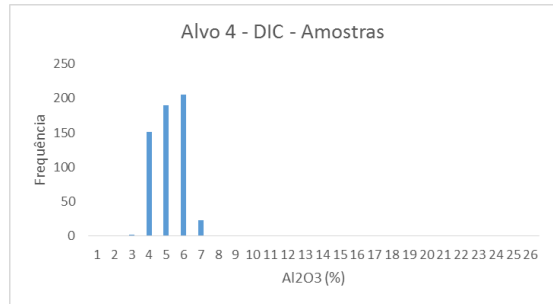
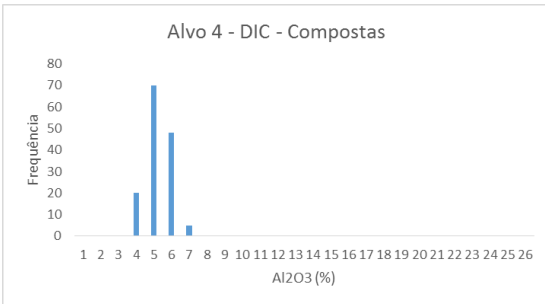
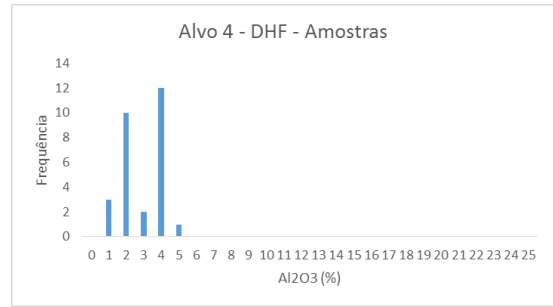
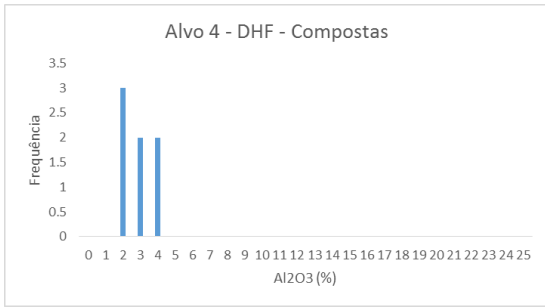
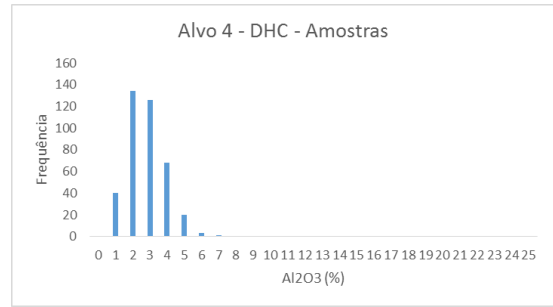
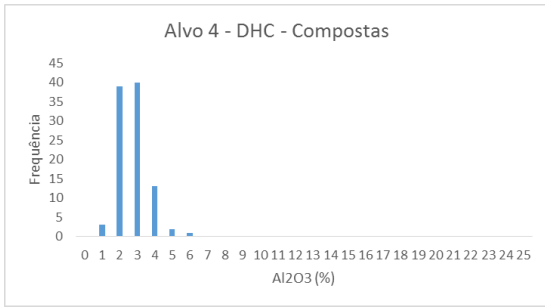
## Histogramas de óxido de alumínio para compostas de 3 amostras





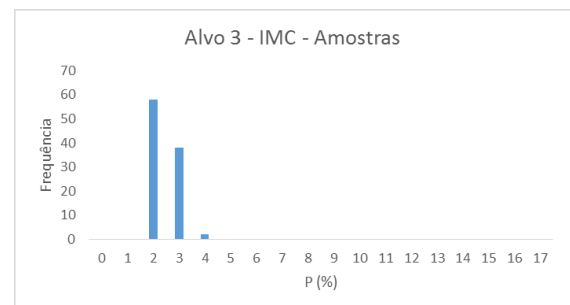
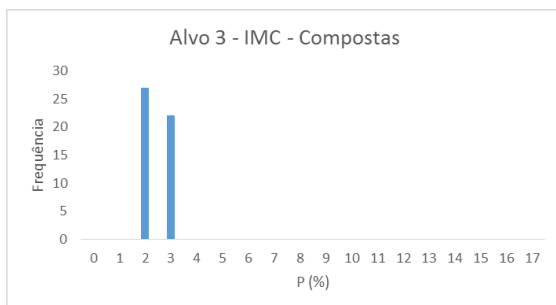
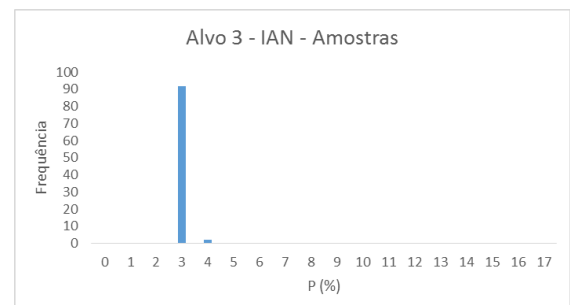
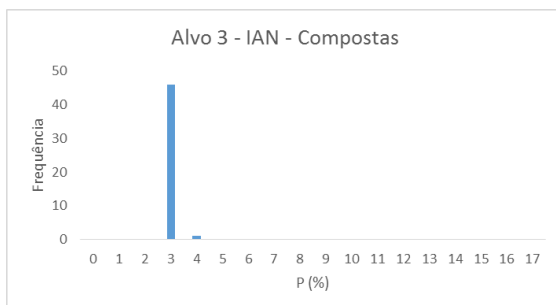
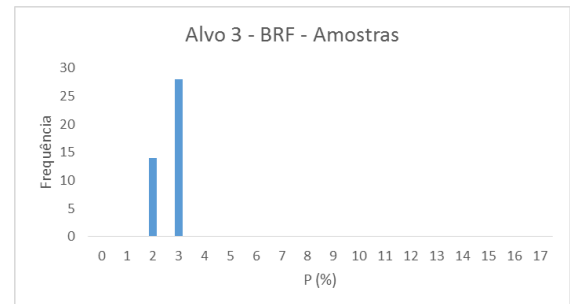
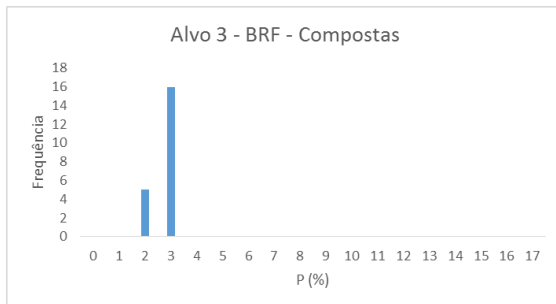
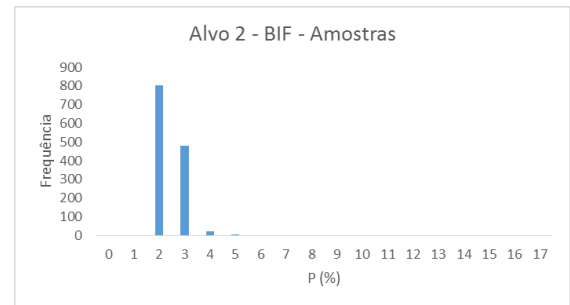
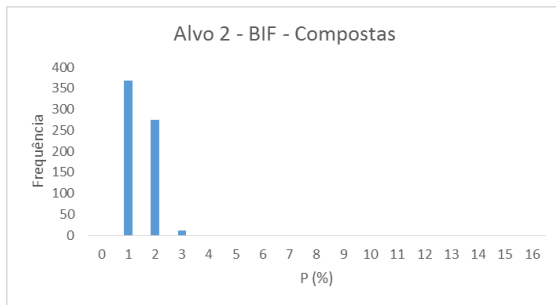
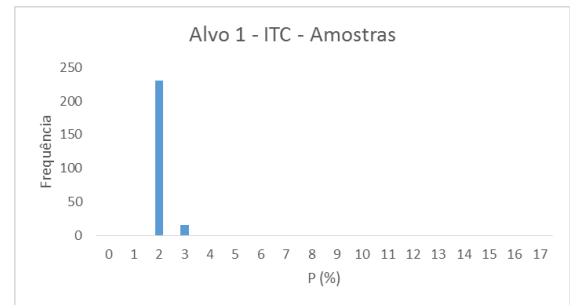
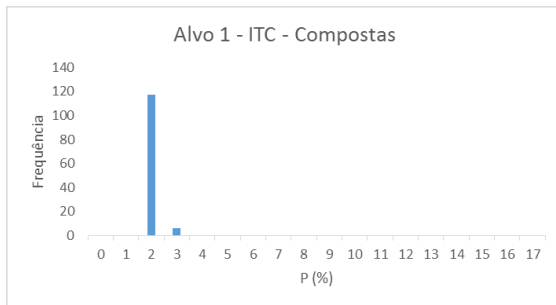
## Histogramas de óxido de alumínio para compostas de 4 amostras

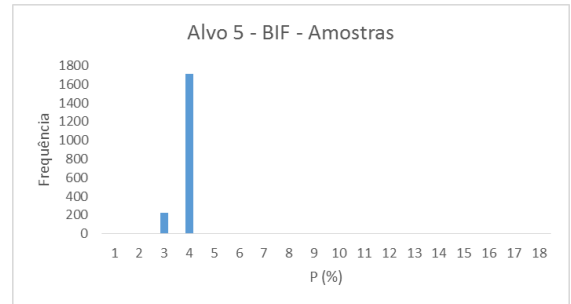
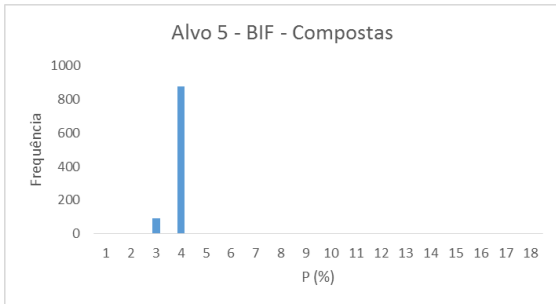
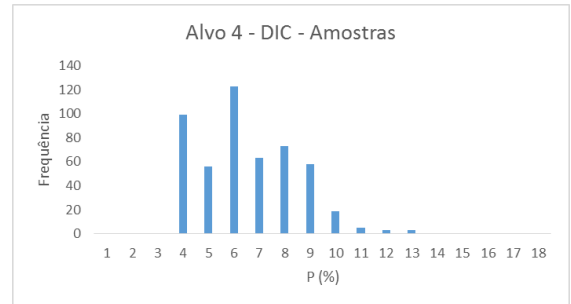
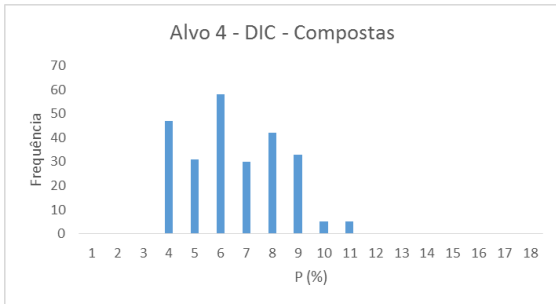
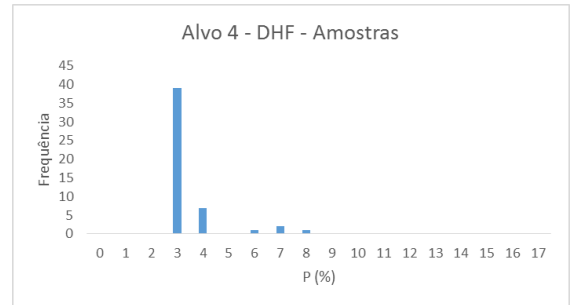
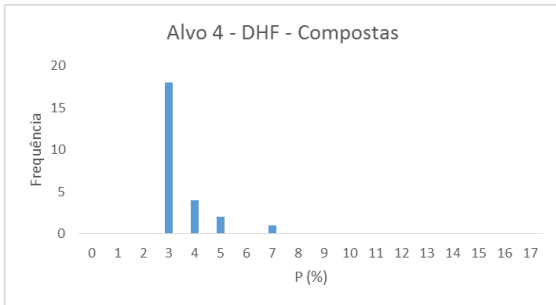
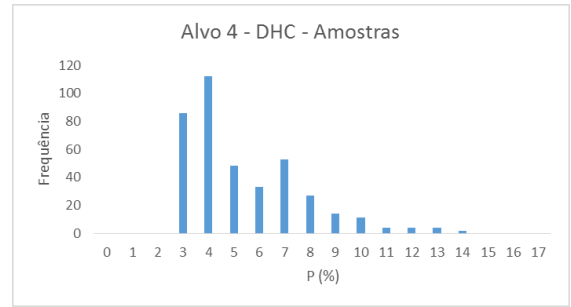
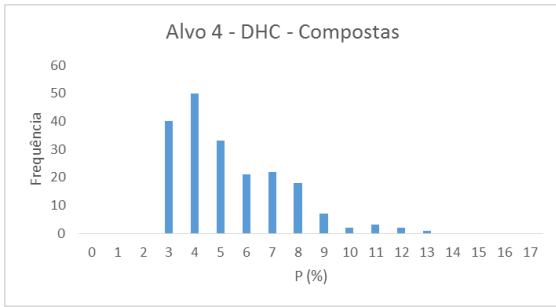




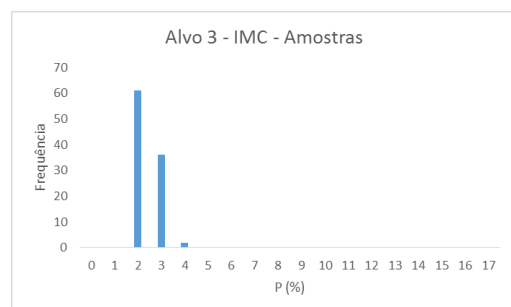
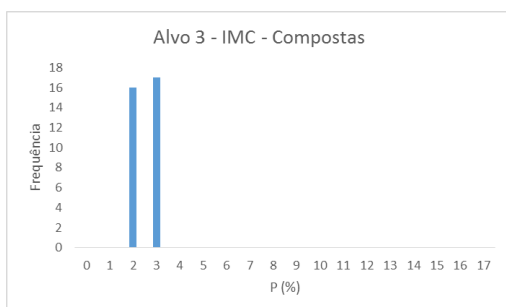
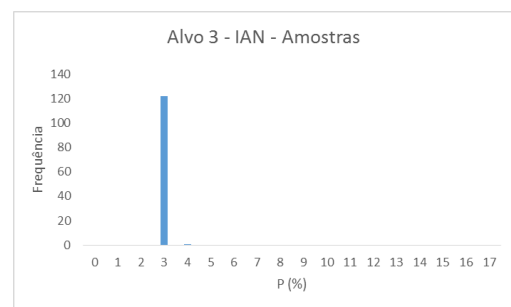
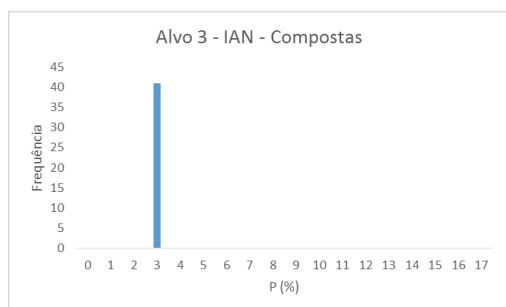
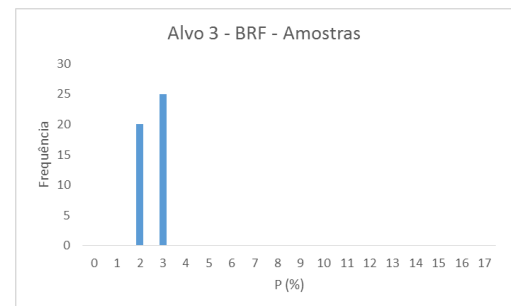
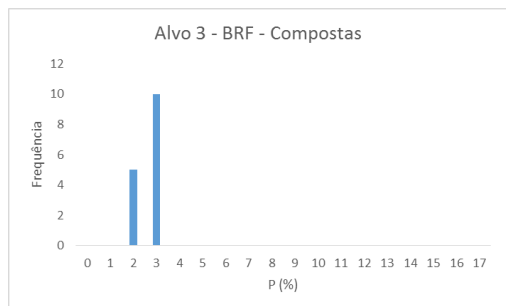
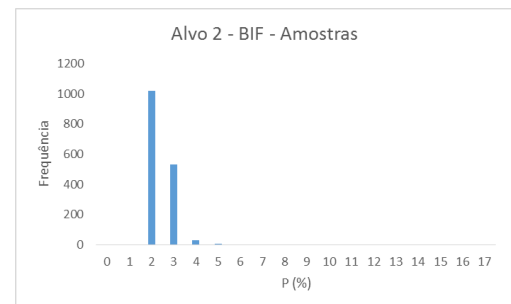
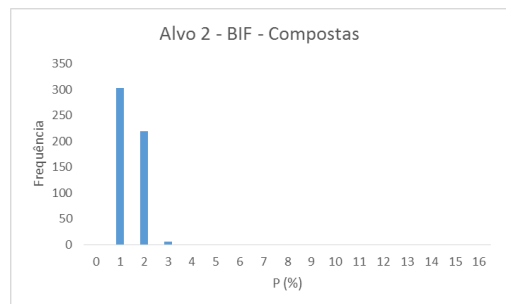
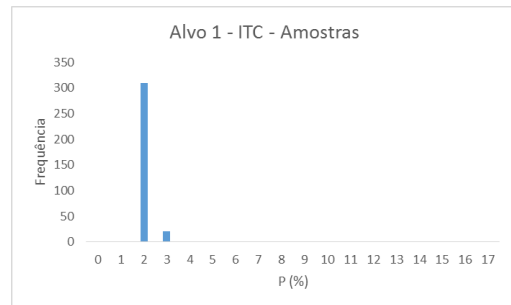
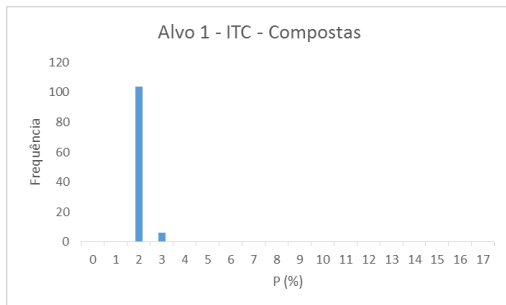


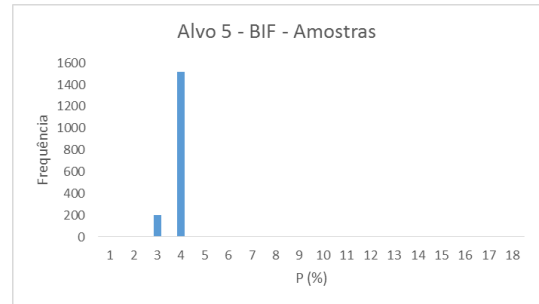
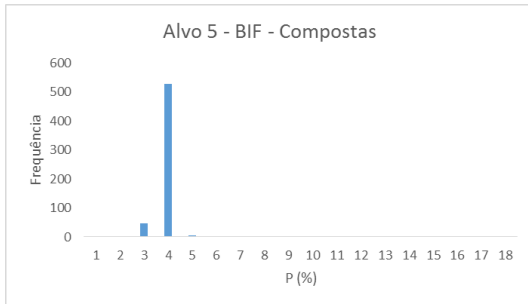
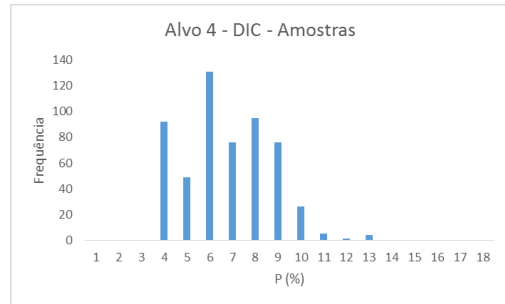
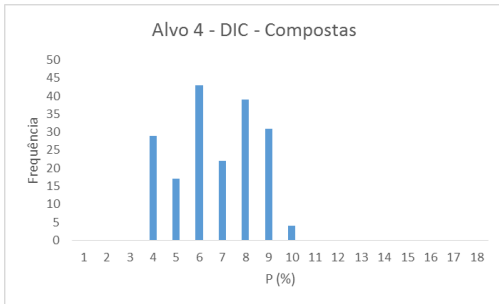
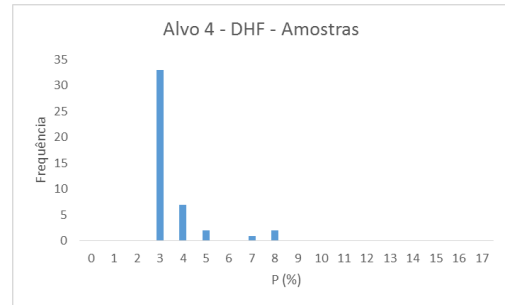
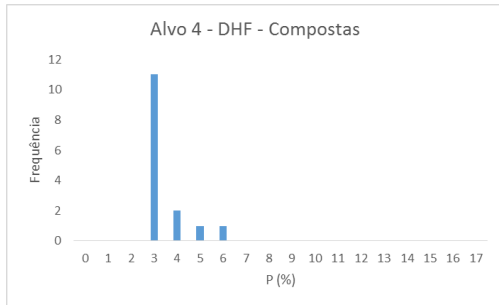
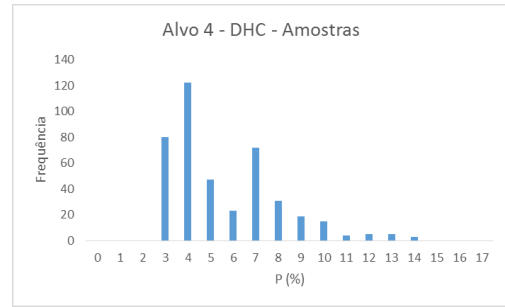
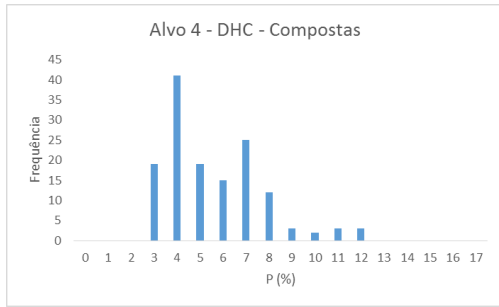
## Histogramas do fósforo para compostas de 2 amostras



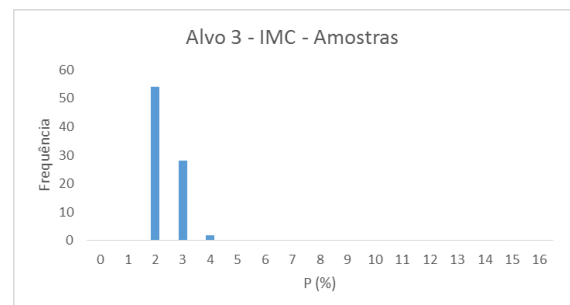
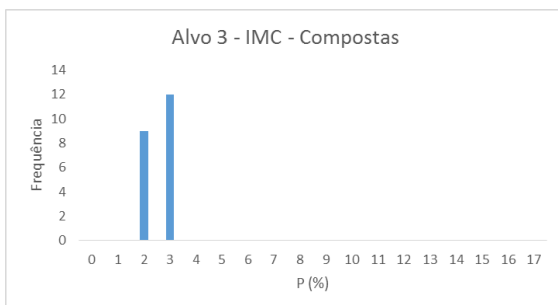
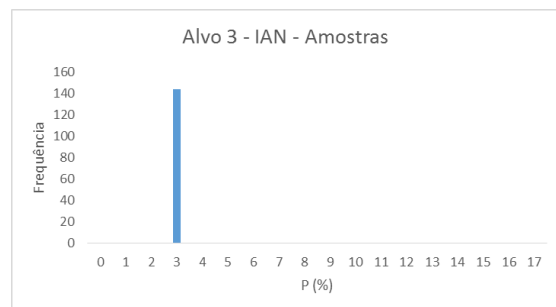
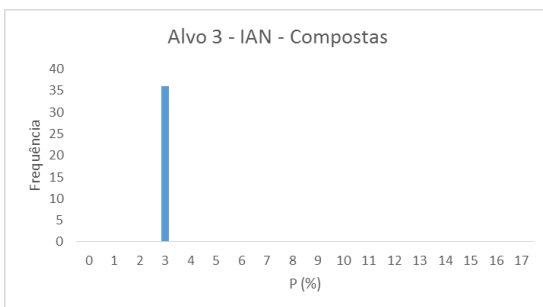
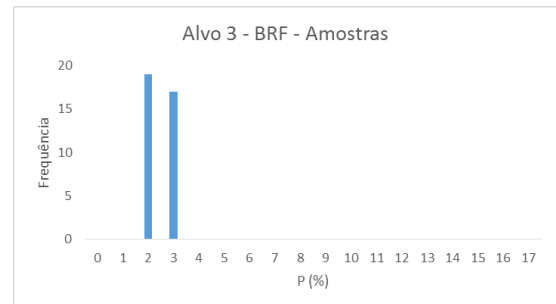
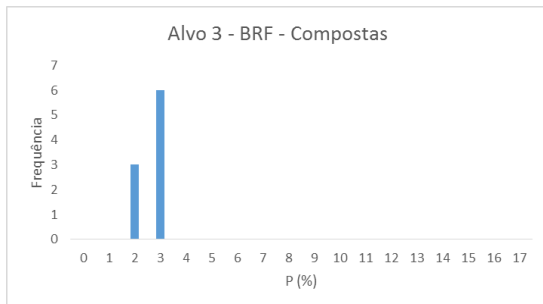
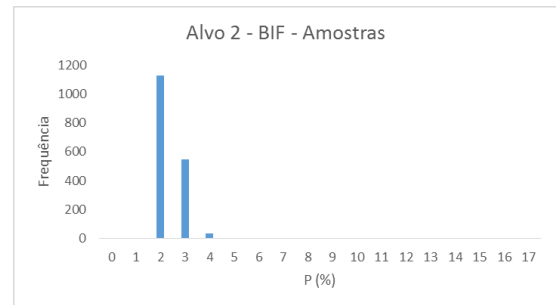
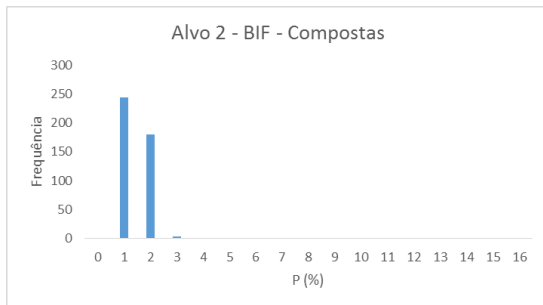
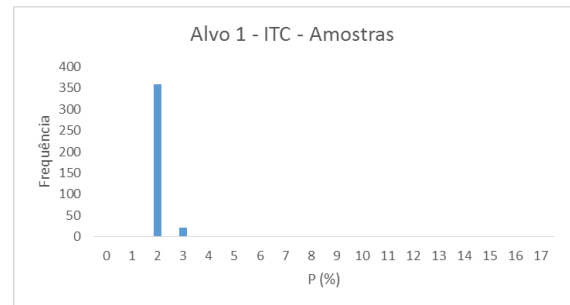
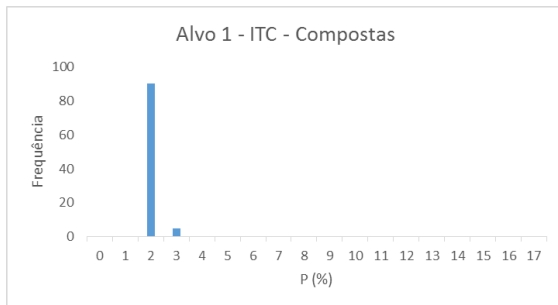


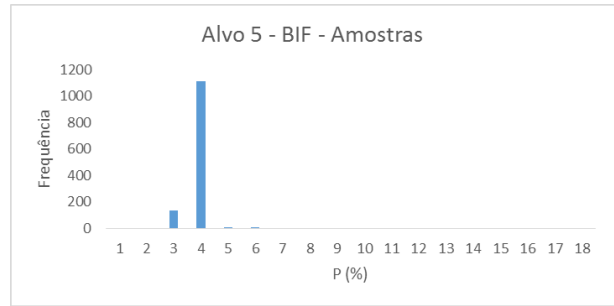
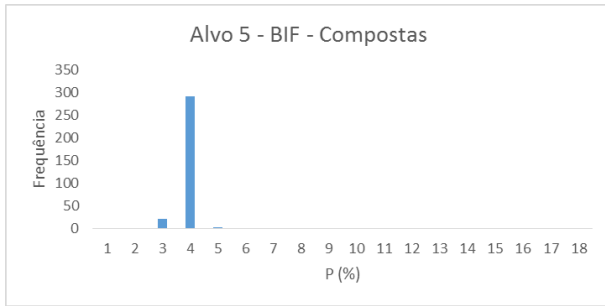
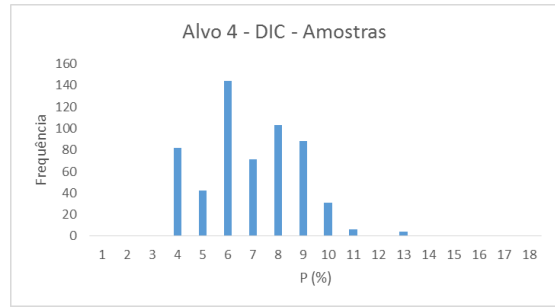
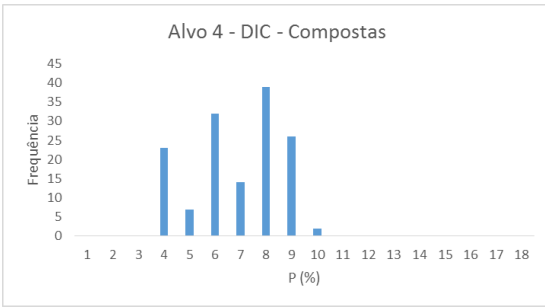
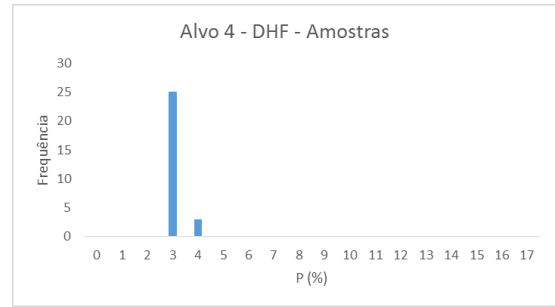
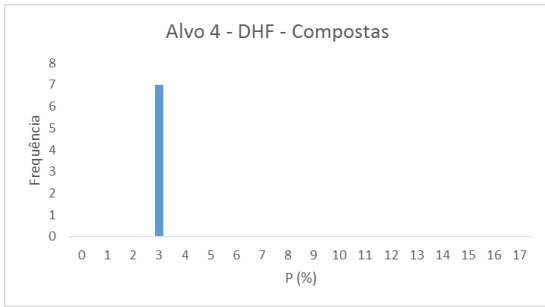
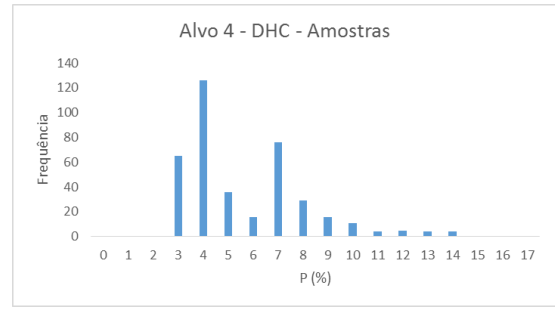
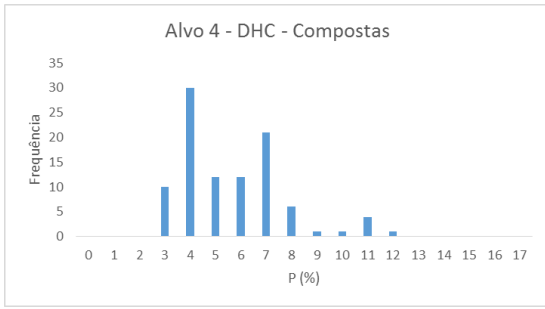
## Histogramas do fósforo para compostas de 3 amostras



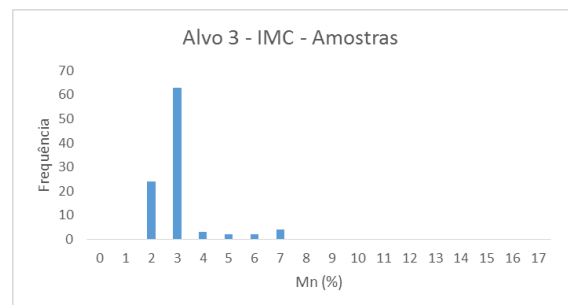
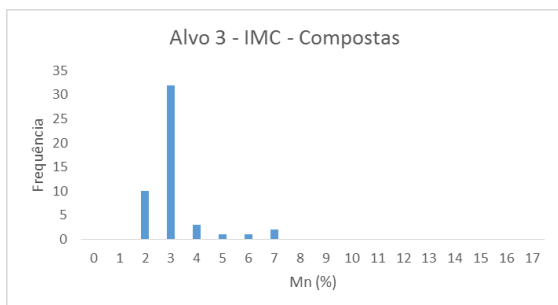
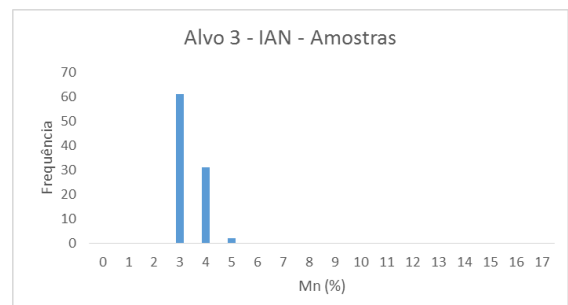
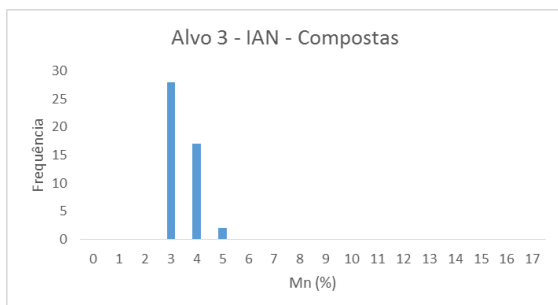
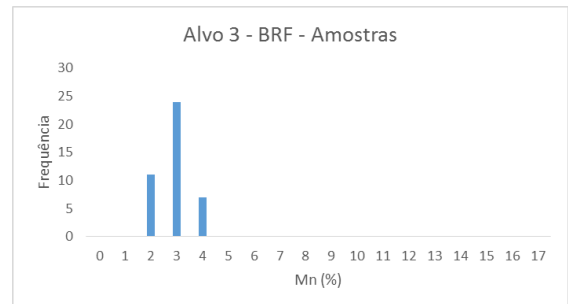
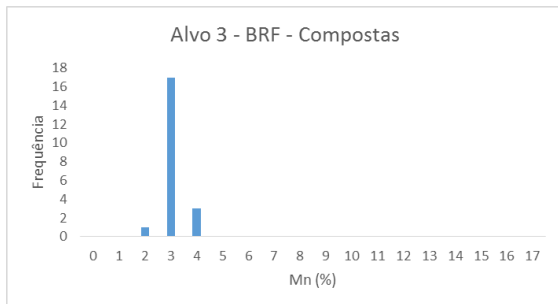
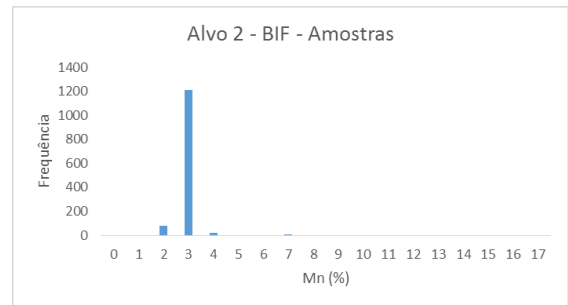
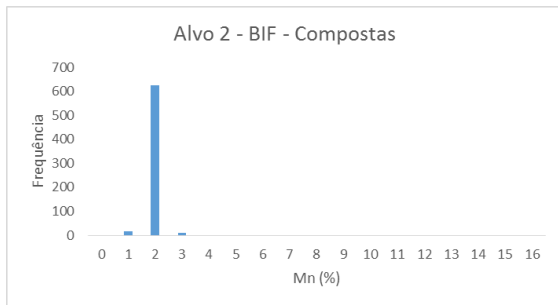
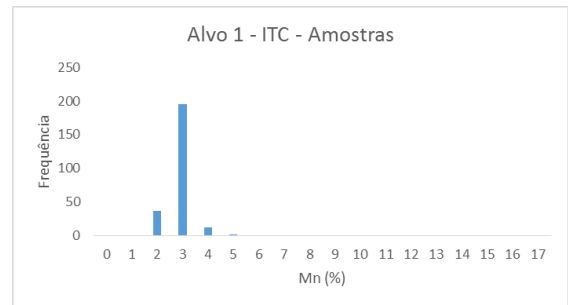
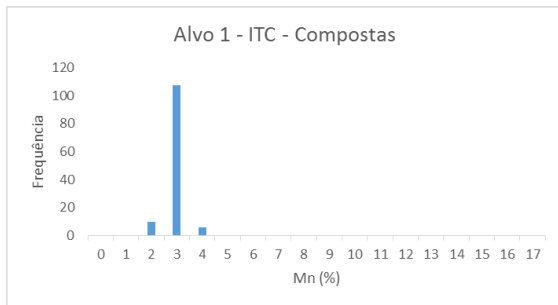


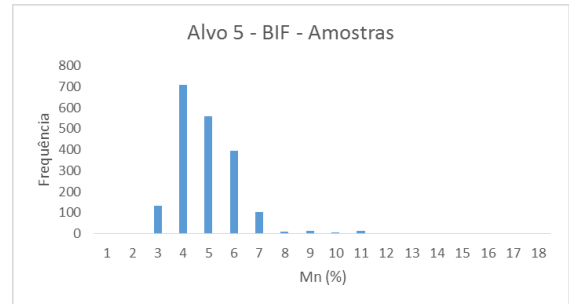
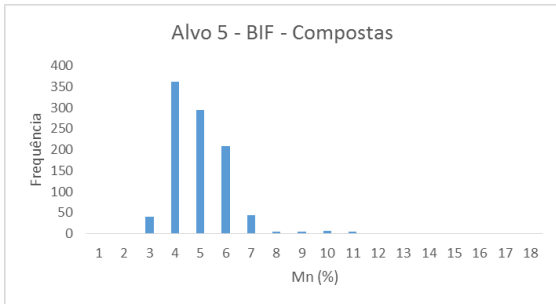
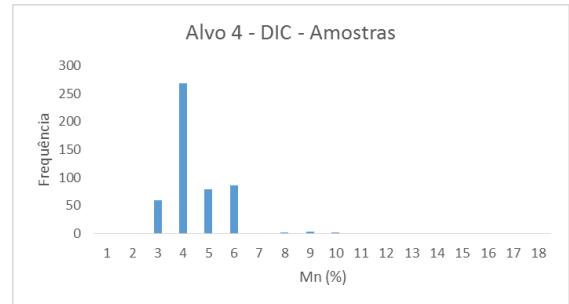
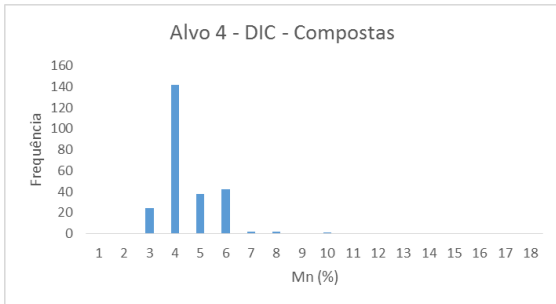
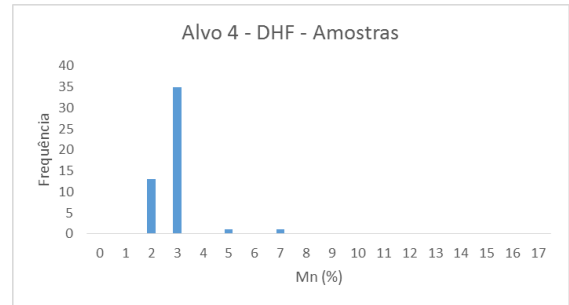
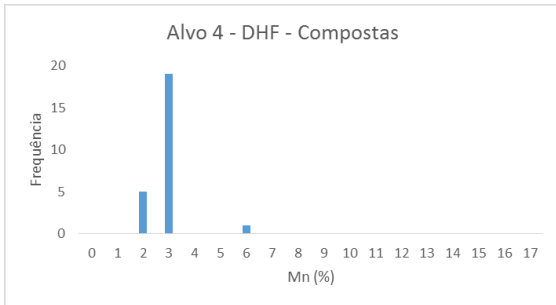
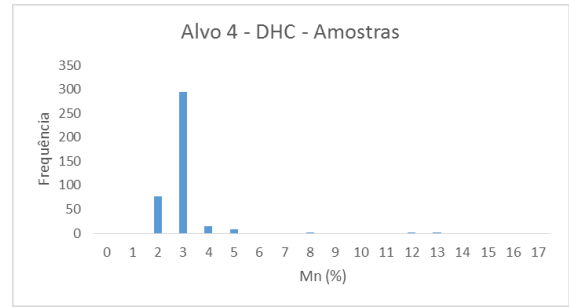
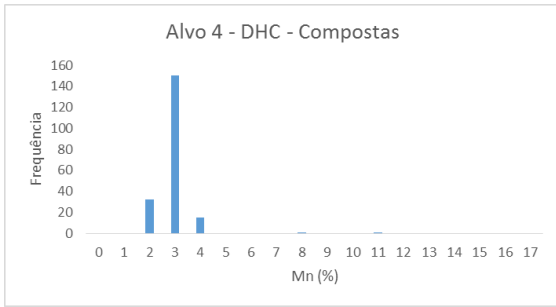
## Histogramas do fósforo para compostas de 4 amostras





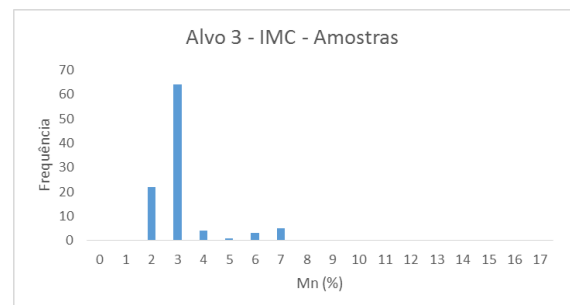
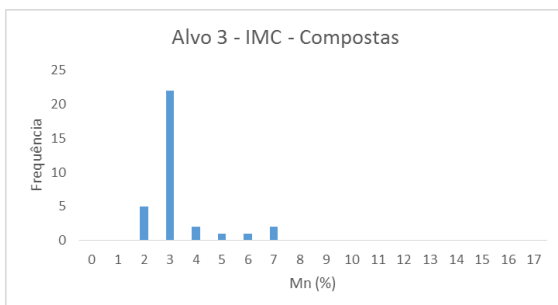
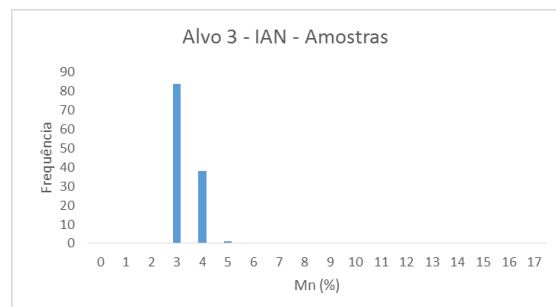
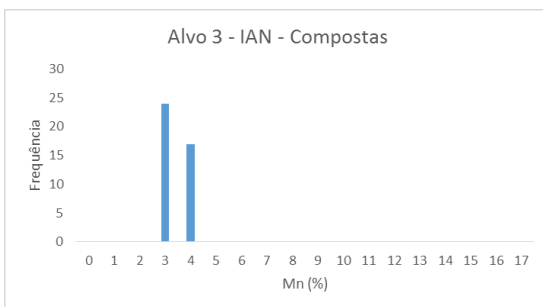
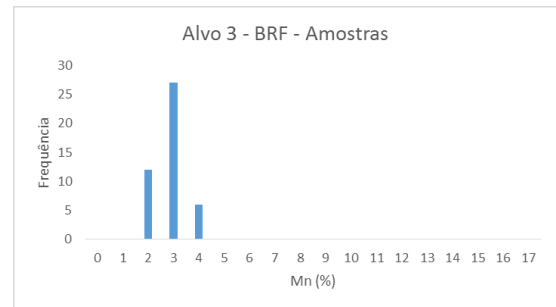
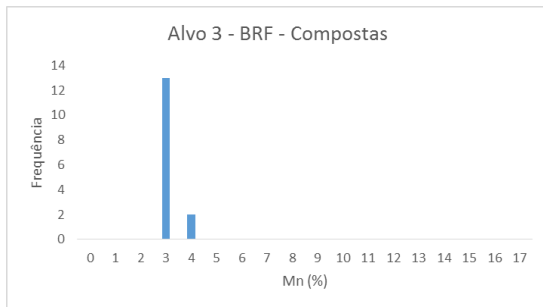
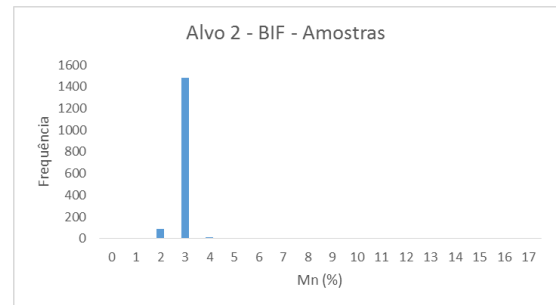
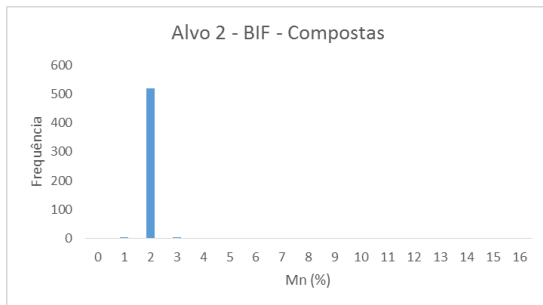
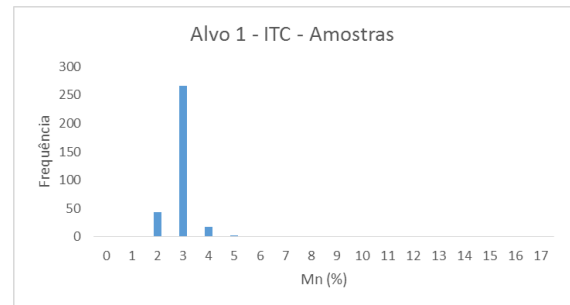
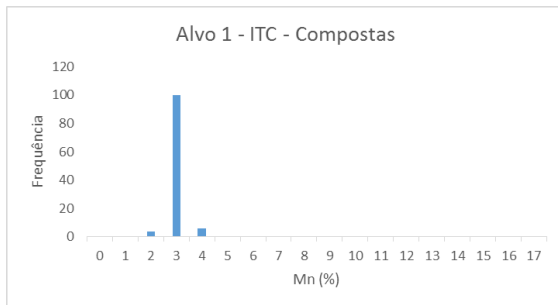
## Histogramas do manganês para compostas de 2 amostras

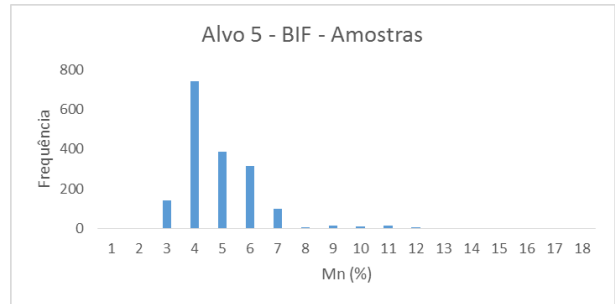
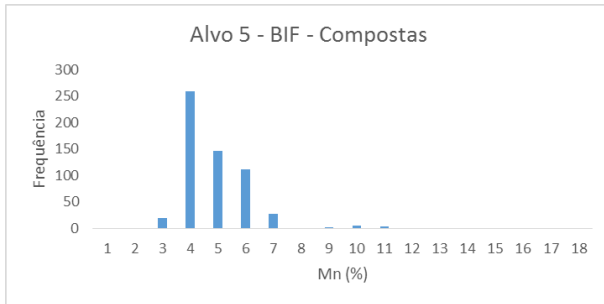
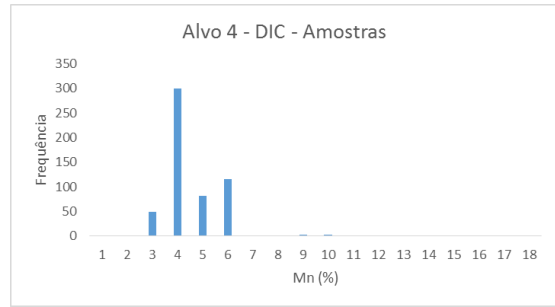
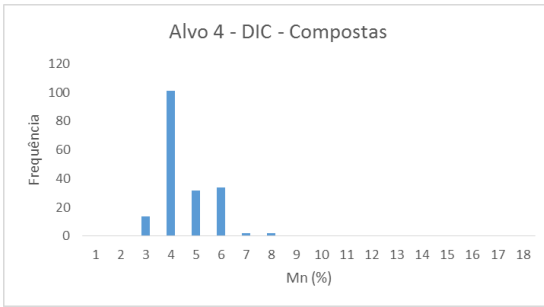
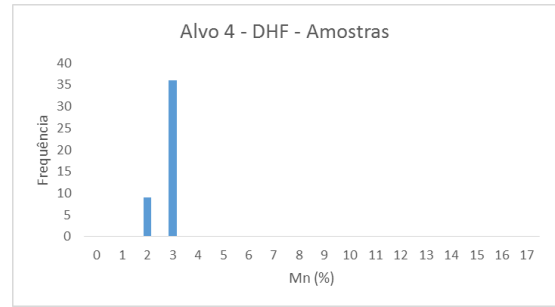
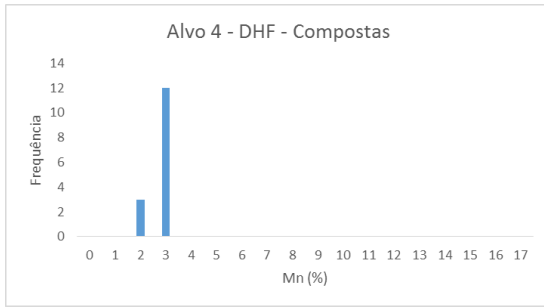
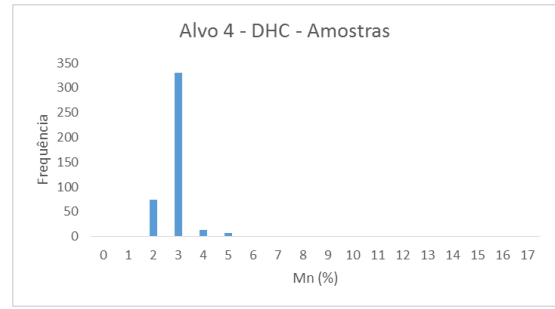
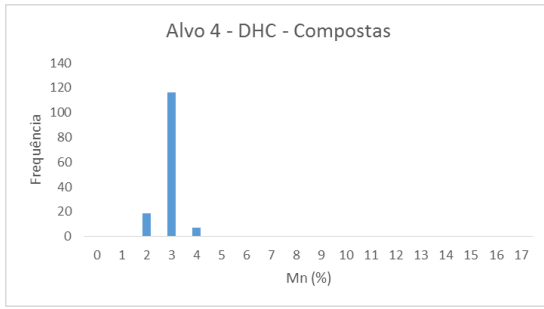






## Histogramas do manganês para compostas de 3 amostras





## Histogramas do manganês para compostas de 4 amostras

