

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Dissertação de Mestrado

Fontes de amido aplicáveis à flotação de minério de ferro

Autor: Wellington Ribeiro Moreira
Orientador: Professor Paulo Roberto Gomes Brandão

Outubro/2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Wellington Ribeiro Moreira

FONTES DE AMIDO APLICÁVEIS À FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em
Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais

Área de concentração: Tecnologia Mineral
Orientador: Professor Paulo Roberto Gomes Brandão

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
Outubro/2013

DEDICATÓRIA

A Deus, Nosso Senhor, Criador do Céu e da Terra.
Aos meus pais, Nair Ribeiro Moreira e João Moreira Neto,
à minha esposa Rubiany e filhos Mateus e Mariane,
sempre presentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente colaboraram na preparação deste trabalho e, em especial:

Ao professor Paulo Roberto Gomes Brandão, pela orientação, confiança e pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao professor Antônio Eduardo Clark Peres, pela amizade e acolhida no ingresso no PPGEM.

Ao professor Luiz Cláudio M. Montenegro, pelo fundamental apoio nas realizações dos ensaios de flotação em bancada.

Ao amigo e professor Carlos Alberto Pereira, pelos ensinamentos e exemplo de perseverança e humildade.

Aos amigos e espelhos profissionais, Eng. Geraldo Magela André Silva pela ideia sobre o tema e Eng. Sérgio Luiz R. Mendes pelo incentivo na minha formação e ingresso no PPGEM.

À amiga e incentivadora Engenheira Vânia L. L. Andrade (VALE), pelo incondicional apoio, confiança e defesa deste trabalho dentro da VALE S/A.

À toda equipe da GEDMF, e aos Engenheiros Luiz Vasconcelos, Juliano Pereira e Marco Túlio, em nome da VALE S/A, pelo apoio e oportunidade de desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos colegas Eng. Alysson Borges e Eng. Nilson de Paula pelo apoio nas análises químicas e à toda equipe do CPT de Alegria – VALE S/A.

À amiga Eng. Delciane Pórfiro pelo apoio nos testes exploratórios de flotação, essenciais, para definição dos parâmetros de flotação.

Ao Técnico do Laboratório de Tratamentos de Minérios do DEMIN Alberto e aos bolsistas Jelson e Rodrigo pelo apoio na execução dos testes.

Ao Coordenador de Olericultura Georgeton S. R. Silveira e Coordenador de Projetos Leonardo Brumano Kalil, ambos funcionários da Emater – MG, pelo apoio na obtenção e procedência das farinhas de raspa de mandioca, banana verde, araruta seta e batata doce.

Ao Pesquisador Nuno R. Madeira, funcionário da Embrapa Hortaliças do Distrito Federal, pelo apoio na obtenção das farinhas de taro japonês, inhame São Tomé, mandioquinha salsa branca e fração aérea da mandioquinha salsa branca.

À Professora Mônica Pirozi (UFV) pelo apoio nas análises centesimais das fontes de amido e apoio na revisão bibliográfica.

Ao Pesquisador e funcionário da Embrapa-RJ Carlos W. Piler pela realização dos ensaios de viscosidade, DRX, granulometria e DSC e apoio na revisão bibliográfica.

À Universidade Federal de Minas Gerais e o PPGEM pela oportunidade de obtenção do Título de Mestrado.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	11
2 – OBJETIVO	14
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 – FLOTAÇÃO: ASPECTOS GERAIS	15
3.2 – FLOTAÇÃO: RESUMO SOBRE REAGENTES	17
3.3 – FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	18
3.4 – REAGENTES UTILIZADOS NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	21
3.4.1 - AMINA E SUAS PROPRIEDADES	21
3.4.2 - AMIDO E SUAS PROPRIEDADES	22
3.4.3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO AMIDO EM RELAÇÃO A SUA ORIGEM	26
3.4.4 - CRISTALINIDADE DO GRÂNULO DE AMIDO	29
3.4.5 - GELATINIZAÇÃO E A SUA RELAÇÃO COM A VISCOSIDADE DE PASTA	31
3.4.6 - ESTUDOS COM AMIDOS LIGADOS À FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	35
4 – METODOLOGIA	41
4.1 – AMOSTRA DE MINÉRIO DE FERRO	41
4.1.1 – CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	41
4.1.2 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	41
4.1.3 – ANÁLISE QUÍMICA VIA FRX	41
4.1.4 – ANÁLISE MINERALÓGICA	42
4.2 – ENSAIOS TECNOLÓGICOS	43
4.3 – ENSAIOS EXPLORATÓRIOS DE FLOTAÇÃO EM BANCADA	44
4.4 – CURVA DE DOSAGEM DE AMIDO DE MILHO	46
4.5 – CINÉTICA DE FLOTAÇÃO	49
4.6 – FONTES DE AMIDO – DEFINIÇÃO E RASTREABILIDADE	50
4.7 – FONTES DE AMIDO – PREPARAÇÃO DAS FARINHAS	53
4.8 – ENSAIOS DE FLOTAÇÃO COM AS DIFERENTES FONTES DE AMIDO	56
4.8.1 – PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE AMIDO GELATINIZADO E AMINA	56
4.8.2 – ENSAIOS DE FLOTAÇÃO EM BANCADA.....	57
5 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	63
5.1.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	63
5.1.2 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....	64
5.1.3 MINERALOGIA	66
5.2 TESTES DE FLOTAÇÃO EM BANCADA	67
5.3 TESTES DE REPETIBILIDADE	74
5.4 MIX DE AMIDOS – MISTURA DE TIPOS DE AMIDO	75
5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES DE AMIDO	77
5.5.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS AMIDOS.....	77
5.5.2 TEMPERATURA DE GELATINIZAÇÃO VIA DSC	79
5.5.3 CRISTALINIDADE VIA DRX	80

5.5.4 GRANULOMETRIA DAS FONTES DE AMIDO.....	81
5.5.5 VISCOSIDADE DAS SOLUÇÕES DE AMIDO.....	81
5.6 RELAÇÃO AMILOPECTINA E RECUPERAÇÃO METALÚRGICA.....	83
6 – CONCLUSÕES.....	87
7 – RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS.....	89
8 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – ESTRUTURAÇÃO E DIVISÕES DOS REAGENTES UTILIZADOS NA FLOTAÇÃO.....	18
FIGURA 3.2 – EFEITO DO PERCENTUAL DE LAMAS NA FLOTAÇÃO.....	20
FIGURA 3.3 - CARACTERÍSTICAS DE SOLUÇÃO DE DODECILAMINA, 5×10^{-5} M.....	22
FIGURA 3.4 - ESTRUTURA MOLECULAR DA AMIOSE UNIDAS EM A-(1-4).....	24
FIGURA 3.5 – ESTRUTURA RAMIFICADA DA AMILOPECTINA UNIDAS EM A-(1-4) E A-(1-6).	25
FIGURA 3.6 – MODELO DE ESTRUTURA INTERNA DO GRÂNULO DE AMIDO.	29
FIGURA 3.7 - REGIÕES AMORFAS E CRISTALINAS DA AMILOPECTINA.	30
FIGURA 3.8 – CURVA DE VISCOSIDADE TÍPICA OBTIDA PELO RVA.....	34
FIGURA 3.9 – RAZÃO DE GRITZ / SODA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO DE GRITZ NÃO GELATINIZADA.	37
FIGURA 3.10 – FRAÇÃO DE GRITZ NÃO GELATINIZADA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE GELATINIZAÇÃO..	37
FIGURA 3.11 - MECANISMOS DE COMPLEXAÇÃO ENTRE A SUPERFÍCIE HEMATITA COM AS MOLÉCULAS DE AMIDO DE TRIGO.	39
FIGURA 4.1 – SOLUÇÃO DE AMINA E DAS SUSPENSÕES DE AMIDO GELATINIZADAS, AMBAS A 1%. ...	45
FIGURA 4.2 – VARIÁVEIS UTILIZADAS NOS TESTES DE FLOTAÇÃO PARA DEFINIÇÃO DA CURVA DE DOSAGEM DE AMIDO DE MILHO.	47
FIGURA 4.3 - CURVA DE DOSAGEM DE AMIDO DE MILHO (FUBÁ)	48
FIGURA 4.4 - CINÉTICA DE FLOTAÇÃO COM AMIDO DE MILHO (FUBÁ).....	50
FIGURA 4.5 – PREPARAÇÃO DAS FARINHAS DE BANANA, BATATA DOCE E ARARUTA.	55
FIGURA 4.6 – SUSPENSÃO DE AMIDO DE BANANA VERDE GELATINIZADO E SOLUÇÃO DE AMINA.	57
FIGURA 4.7 – CÉLULA DE FLOTAÇÃO EM BANCADA DA CDC – LABORATÓRIO DEMIN/UFMG	58
FIGURA 4.8 – DEFINIÇÃO DA VAZÃO DE AR PARA OS TESTES DE FLOTAÇÃO EM BANCADA.	59
FIGURA 4.9 – PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO DO TESTE DE FLOTAÇÃO EM BANCADA.....	62
FIGURA 5.1 – CURVA DE PASSANTE ACUMULADO DA AMOSTRA TAL QUAL E CORRIGIDA.	64
FIGURA 5.2 – ANÁLISE QUÍMICA POR FAIXA GRANULOMÉTRICA	65
FIGURA 5.3 – RECUPERAÇÃO METALÚRGICA EM FUNÇÃO DO TIPO DE AMIDO E DOSAGEM.....	70
FIGURA 5.4 – TEOR DE SÍLICA NO CONCENTRADO EM FUNÇÃO DO TIPO DE AMIDO E DOSAGEM.....	71

FIGURA 5.5 – TEOR DE FERRO NO REJEITO EM FUNÇÃO DO TIPO DE AMIDO E DA DOSAGEM.....	72
FIGURA 5.6 – ÍNDICE DE SELETIVIDADE DE GAUDIN EM FUNÇÃO DO TIPO DE AMIDO E DA DOSAGEM.	73
FIGURA 5.7 – RECUPERAÇÃO METALÚRGICA EM FUNÇÃO DOS MIX E TIPOS DE AMIDO.	76
FIGURA 5.8 CORRELAÇÃO ENTRE A DOSAGEM DE AMILOPECTINA E RECUPERAÇÃO METALÚRGICA...	86

LISTA DE TABELAS

TABELA III.1 - ANÁLISES QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA TÍPICAS DOS AMIDOS DE MILHO	28
TABELA III.2 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS PRINCIPAIS FONTES BOTÂNICAS DE AMIDO.....	28
TABELA IV.1 - PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES EXPLORATÓRIOS	45
TABELA IV. 2 - RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES DE FLOTAÇÃO EM BANCADA	48
TABELA IV.3 – CARACTERÍSTICAS DOS GRÂNULOS DE AMIDO DE DIFERENTES FONTES BOTÂNICAS....	52
TABELA V.1 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA.....	63
TABELA V.3 – ANÁLISE QUÍMICA GLOBAL VIA FRX DA AMOSTRA DE MINÉRIO.....	65
TABELA V.4 – ANÁLISE MINERALÓGICA	66
TABELA V.5 – TESTES DE REPETIBILIDADE E ESTATÍSTICA DESCRITIVA.	74
TABELA V.6 – RESULTADOS DOS TESTES COM OS MIX DE DIFERENTES FONTES DE AMIDO	76
TABELA V.7 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS FARINHAS DE AMIDO	78
TABELA V.8 – TEMPERATURA DE GELATINIZAÇÃO DAS FONTES DE AMIDO.....	79
TABELA V.9 – PERCENTUAIS DE CRISTAL EM CADA FONTE DE AMIDO	80
TABELA V.10 – GRANULOMETRIA DE AMIDOS: RETIDO SIMPLES E MALHA (μm) CORRESPONDENTE.	81
TABELA V.11 – PONTOS DE VISCOSIDADE DE CADA FONTE DE AMIDO	82
TABELA V.12 – RELAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE FLOTAÇÃO	84
TABELA V.13 – RELAÇÃO ENTRE AMILOPECTINA E RECUPERAÇÃO METALÚRGICA	85
TABELA V.14 – RELAÇÃO ENTRE AMILOPECTINA E RECUPERAÇÃO METALÚRGICA – MÉDIA MÓVEL ...	85

RESUMO

Estudou-se o desempenho de 10 (dez) amidos provenientes de diferentes fontes botânicas como depressor de minerais de ferro na flotação catiônica reversa de minério de ferro através de ensaios de flotação em célula de bancada.

O minério utilizado foi um itabirito friável com 100% passante em massa na malha de 0,210mm. Esta amostra apresentou alto grau de liberação do quartzo (99,0%) e teores de ferro: 45,33%, sílica: 33,15%, alumina: 0,40% e PPC:1,10%.

As fontes botânicas de amido estudadas foram aquelas cujas propriedades físico-químicas (relação amilopectina/amilose, tamanho dos grânulos, temperatura de gelatinização e viscosidade de suspensão) se aproximam ao amido oriundo do milho. A gelatinização das suspensões de amido foi efetuada com relação amido:NaOH de 10:1, e a água utilizada para diluição de até 1% (p/v) foi aquecida a 90°C.

Testes de cinética de flotação definiram o tempo de flotação dos ensaios em 100s e, pela curva de saturação de dosagem de amido, foram determinados três pontos de dosagem para comparação entre os resultados: 500g/t, 1000g/t e 1500g/t.

Os resultados mostraram que os amidos testados podem tecnicamente ser utilizados em substituição ao amido de milho. Além disso, os amidos de araruta, banana verde, mandiocinha salsa branca e a raspa de mandioca mostraram melhor desempenho que o amido de milho convencional, em relação aos índices de recuperação metalúrgica, teor de sílica no concentrado e teor de ferro no flotado (rejeito).

ABSTRACT

The performance of ten (10) starches from different botanical sources has been studied as depressant for iron minerals in the cationic reverse flotation of iron ore by means of bench flotation cell tests.

The ore used was a friable itabirite with 100% in mass passing in the 0.210mm screen. This sample showed a high degree of quartz liberation (99.0%) and the following contents: iron: 45.33%, silica: 33.15%, alumina: 0.40% and LOI: 1.10%.

The botanical sources of starch studied were those whose physicochemical properties (amylopectin/amylose ratio, granule size, gelatinization temperature and suspension viscosity) approached the starch derived from corn. The gelatinization of starch suspensions has been performed with 10:1 starch:NaOH ratio, and the water used for dilution of up to 1% (w/v) was heated to 90°C.

Flotation kinetics tests have defined the flotation tests time in 100s and based on the saturation curve of starch dosage, three points for addition were determined for comparative results: 500g/t, 1000g/t and 1500g/t.

The results show that the starches tested can technically be used to replace corn starch. Furthermore, arrowroot, green banana, white sauce cassava starches and cassava scraps showed better performance than the conventional cornstarch in relation to the metallurgical recovery index, silica content in the concentrate and iron content in the float (tailings).

1 – INTRODUÇÃO

A extração e a transformação dos minérios de ferro representam um segmento significativo no cenário econômico para o Brasil. Conforme o Sumário Mineral Volume 31, publicado pelo DNPM em 2011, a produção mundial de minério de ferro em 2010 foi de cerca de 2,4 bilhões de toneladas, sendo que a produção brasileira representou 15,5% desta, ou seja, o Brasil em 2010 produziu aproximadamente 370 milhões de toneladas (Mt). Destes 370 Mt, 29,4% referem-se a produção de *pellet feed* como um todo.

Com a exaustão das reservas de altos teores de ferro, as empresas que realizam o aproveitamento econômico das jazidas de minério de ferro vêm na atualidade desenvolvendo estudos técnicos e econômicos para a viabilidade de lavra e beneficiamento de minérios de ferro marginais, isto é, estudam como viabilizar as reservas de baixo teor de ferro.

Devido às características de formações geológicas, as reservas de baixo teor de ferro, exigem estudos de processos detalhados e qualificados, principalmente em relação ao grau de liberação das partículas minerais constituintes deste minério. Assim, para o minério de ferro de baixo teor torna-se inevitável a necessidade de redução a frações granulométricas finas, abaixo de 150 μ m, para sua posterior concentração, principalmente pelo método de concentração por flotação, largamente utilizado na indústria mineral.

A flotação, atualmente, é o processo de concentração mais empregado para a separação seletiva de minérios para a fração granulométrica abaixo de 150 μ m e grande parte do desenvolvimento da indústria mineral só é possível graças a este processo de concentração. A operação unitária de concentração por flotação vem sendo estudada cada vez mais com o objetivo de aprimorar o processo no que tange à maximização da recuperação metálica e recuperação mássica, de maneira a se obter concentrados com melhor qualidade, rejeitos com menor teor de ferro e redução de custos, ligado principalmente ao consumo específico de reagentes.

Na flotação catiônica reversa de minério de ferro utiliza-se o amido de milho como o agente depressor universal, ou seja, o amido de milho é responsável pela depressão

de óxidos e hidróxidos de ferro e por isso este reagente impacta significativamente na recuperação metalúrgica do processo. E este vem sendo utilizado na flotação de minério de ferro no Brasil desde 1978.

Em 2011, conforme informações internas, o consumo anual de amido de milho na Vale foi de 44 mil toneladas de amido de milho. Com a entrada dos novos projetos, tais como Apolo, que visam beneficiar exclusivamente minérios itabiríticos, existe a expectativa interna de em 2017 o consumo interno de amido de milho na Vale chegar a aproximadamente 160 mil toneladas de amido milho.

Nos últimos anos, os estudos que envolvem o uso de depressores naturais e/ou sintéticos vêm aumentando significativamente na indústria mineral. TURRER (2007) estudou a aplicação de reagentes depressores alternativos ao amido de milho, tais como, carboximetilcelulose, lignossulfonato, poliacrilamida, goma de guar e ácido húmico na flotação catiônica reversa de minério de ferro.

Porém, a decisão de qual depressor utilizar, natural ou sintético, em uma usina de flotação reversa de minério de ferro, não deve considerar somente seu desempenho em relação ao processo, mas fatores externos como: preço, disponibilidade (produção e mercado), biodegradabilidade, toxicidade, e variáveis de processo, como características do minério e a interação com o coletor, pesam nesta análise.

O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento da flotação catiônica reversa de minério ferro em relação a 10 (dez) diferentes fontes de amido através de ensaios de flotação em bancada em célula mecânica.

Os índices escolhidos para as análises e comparação entre os resultados foram: a recuperação metalúrgica (RFe), o teor de sílica no concentrado (SiO_2Conc), o teor de ferro no rejeito (Fe_{rej}) e o índice de seletividade de Gaudin (IS).

A recuperação em massa e a qualidade final de cada concentrado obtido são apresentadas nos capítulo 5 – Resultados e discussão.

A amostra utilizada nos ensaios foi um minério de itabirito friável com teores de ferro, sílica, alumina e PPC, de respectivamente, 45,33%, 33,15%, 0,40% e 1,10%. Esta

amostra possui 98% passante de sua massa na malha de 0,210mm e é oriunda do projeto Itabiritos Mariana da VALE S/A.

Conforme revisão bibliográfica, definiu-se pelas fontes de amido em que as características relações amilopectina/amilose, tamanho dos grânulos, temperatura de gelatinização e viscosidade de suspensão obtida em RVA, aproximam-se das do milho.

O fubá de milho, usualmente denominado de amido de milho pelos técnicos e engenheiros de plantas de flotação de minério de ferro, foi definido como referência para o estudo. As demais fontes estudadas foram: amido de milho ceroso (tipo *waxy* com 95% de amilopectina proveniente de uma grande empresa alimentícia do Brasil), e as farinhas de araruta seta, do taro japonês, de inhame São Tomé, de mandioquinha salsa branca, da fração aérea da mandioquinha salsa branca, batata doce, banana verde Caturra e a raspa de mandioca.

A gelatinização das suspensões de amido foi preparada na concentração de 1% (peso/volume) e a relação amido: NaOH utilizada foi de 10:1.

Do teste de cinética de flotação definiu-se o tempo de flotação dos ensaios em 100 segundos. E as dosagens definidas foram: 500g/t, 1000g/t e 1500g/t, obtidas através da curva de dosagem de amido de milho (fubá).

Os resultados mostraram que os amidos testados podem tecnicamente ser utilizados em substituição ao amido de milho (fubá e/ou gritz), sendo que os amidos de araruta, banana verde, mandioquinha salsa e a raspa de mandioca mostraram melhor desempenho que o amido de milho em relação aos índices avaliados.

Os resultados desta pesquisa mostram que há possibilidades técnicas para a substituição total ou parcial do amido de milho na flotação catiônica reversa de minérios de ferro e que o desempenho de alguns amidos leva a um de menor consumo específico de reagente, o que pode acarretar em ganhos econômicos, ambientais e até mesmo viabilizar a exploração de jazidas de baixo teor de ferro.

2 – OBJETIVO

Este trabalho teve o objetivo de estudar o comportamento comparativo da flotação catiônica reversa de minério ferro em relação a dez diferentes fontes de depressores naturais (amido) através de ensaios de flotação em célula mecânica de bancada.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo verifica-se uma breve revisão bibliográfica sobre o processo de concentração por flotação aplicada ao minério de ferro, a ação depressora e de seletividade do amido neste processo, bem como as principais fontes de obtenção de amido. Ainda são abordadas as principais características dos amidos, tais como composição, viscosidade e origem. Ainda são considerados os aspectos gerais da adsorção do amido na superfície dos minérios de ferro e sua responsabilidade na seletividade do processo. E, finalmente, relatam-se também os estudos em flotação de bancada desenvolvidos com o objetivo de explorar a seletividade dos depressores para minério de ferro.

3.1 – Flotação: aspectos gerais

CHAVES *et al.* (2006) definiram o termo flotação como sendo aquele utilizado em tecnologia mineral para designar o processo de separação de partículas sólidas suspensas em uma polpa de modo a explorar as diferenças nas características de superfície das espécies minerais presentes no sistema.

CHAVES *et al.* (2006) explicam que a flotação é um processo de separação (concentração) mineral baseado nas características físico-químicas das superfícies minerais presentes no meio. A seletividade do processo ocorre devido aos diferentes graus de hidrofobicidade e hidrofiliçidade entre as diferentes espécies minerais existentes no meio (polpa). Partículas hidrofóbicas possuem afinidade ao ar (gás) – substância não-polar e partículas hidrofílicas possuem afinidade com a água – substância polar. Na natureza somente a grafita – C, a molibdenita – MoS₂, o talco – Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂, a pirofilita – Al₂Si₄O₁₀(OH)₂, o ouro nativo – Au (livre de prata) e alguns carvões – C, são naturalmente hidrofóbicos. As demais fases cristalinas (minerais) encontradas são hidrofílicas, ou seja, possui afinidade pela fase líquida, a água.

CHAVES *et al.* (2006) argumentam que a simples passagem de um fluxo de ar não é suficiente para transportar as partículas hidrofóbicas presentes no bulk, sendo necessária através da adição de reagentes a formação de uma espuma estável responsável pela redução da tensão superficial na interface líquido/ar, trabalhando de

forma que ocorra o afinamento e a ruptura do filme líquido dentro do tempo de colisão e assim ocorra o processo de coleta das partículas flotadas.

FUERSTENAU *et al.* (1980) relatam que o processo de flotação foi desenvolvido no início do século passado, para a concentração de minérios complexos de baixos teores dos minerais de interesse na qual o objetivo era obter bons rendimentos metalúrgicos. Ainda relata que a primeira aplicação se deu na concentração de minérios sulfetados.

Assim, tecnicamente e economicamente, a flotação foi concebida para concentrar o mineral de interesse através da espuma, utilizando menor dosagem de reagentes, considerando que fração a ser flotada seria o menor teor em relação ao *bulk* processado. Desta forma, ficou conhecida como flotação direta.

CHAVES *et al.* (2006) descrevem que devido ao limitado número de minerais naturalmente hidrofóbicos, a aplicação do processo de concentração seria restrito. Porém os estudos realizados e que continuam em desenvolvimento sobre a relação entre as propriedades das interfaces (sólido, líquido e gasosa) da matéria, no qual é explorado principalmente os mecanismos de interação de adsorção entre reagentes e partículas minerais (fases cristalinas) é possível “transformar” uma superfície naturalmente hidrofílica em uma superfície hidrofóbica, ou vice-versa, através da adsorção de reagentes surfactantes nestas superfícies, e assim promover a seletividade do processo de flotação. Pode-se então “induzir” a propriedade diferenciadora nas fases cristalinas através da adição de reagentes no sistema.

Pode-se dizer que os reagentes, principalmente no caso dos reagentes denominados de modificadores e coletores, são os verdadeiros “operários e promotores” no processo de flotação, lógico, partindo do princípio que exista liberação entre as partículas minerais presentes no sistema e o equipamento (ou reator) utilizado seja suficientemente dimensionado para aplicar a dinâmica ao processo de separabilidade.

3.2 – Flotação: resumo sobre reagentes

CHAVES *et al.* (2006) classificam os reagentes de flotação em dois grandes grupos: orgânicos e inorgânicos. Ainda, em função do seu papel no processo de flotação os reagentes são tradicionalmente classificados em coletores, espumantes e modificadores (ou reguladores).

Os coletores são reagentes responsáveis por atuar na interface sólido-líquido de forma a alterar o caráter hidrofílico para hidrofóbico da superfície mineral. Os espumantes, geralmente, são compostos não iônicos, pertencentes à classe química dos álcoois ou dos éteres, e apresentam um caráter anfipático do tipo R-Z. O grupo polar Z é constituído de átomos ligados entre si através de ligação covalente e representam a porção hidrofílica do espumante. O radical R pode ser uma cadeia linear, ramificada ou cíclica, e representa a parte apolar do espumante. E por último, e não menos importante que os grupos citados anteriormente, enquadram-se os reagentes denominados de modificadores.

Segundo CHAVES *et al.* (2006), as funções dos reagentes em um sistema de flotação são inúmeras. Dentre elas, destacam-se:

- i) modulação do pH;
- ii) controle do estado de agregação e dispersão do *bulk* e estão intimamente relacionadas com a modulação do pH;
- iii) modulação do Eh: potencial eletroquímico, importante na flotação de sulfetos;
- iv) ativação da superfície mineral: como é o caso do sulfeto de sódio na sulfetização dos óxidos de zinco e;
- v) depressão: capaz de inibir parcialmente a ação do coletor e hidrofilar a superfície mineral em questão de modo a destiná-la para a porção do afundado do processo de flotação.

A Figura 3.1 foi proposta por BULATOVIC (2007) e apresenta a uma classificação mais detalhada dos reagentes utilizados na flotação com suas respectivas divisões.

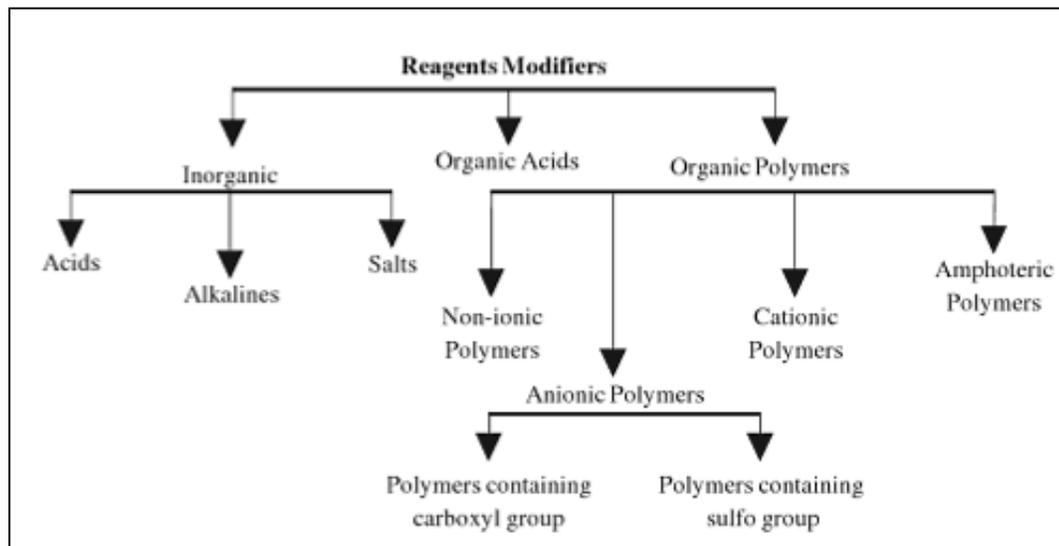


Figura 3.1 – Estruturação e divisões dos reagentes utilizados na flotação.

Fonte: BULATOVIC (2007).

3.3 – Flotação de minério de ferro

MONTE & PERES (2004) denominam a concentração de minério de ferro por flotação catiônica reversa de quartzo sendo empregadas, basicamente, as aminas como surfactante (coletor) e o amido de milho (fubá ou gritz) como o depressor dos minerais portadores de ferro.

Ou seja, a flotação de minério de ferro, na atualidade para os minérios de ferro, só é possível devido à adição de dois tipos de reagentes que atuam diretamente nas principais fases cristalinas existentes no *bulk*: a hematita (Fe_2O_3) e o quartzo (SiO_2).

O primeiro reagente a ser adicionado no processo de concentração por flotação é o amido gelatinizado, cuja sua adsorção ocorrerá preferencialmente nas partículas de Fe_2O_3 e em outros minerais portadores de ferro. Após adsorção do amido nos minerais portadores de ferro, sua superfície passará a ter um caráter hidrofílico. Práticas operacionais indicam a necessidade, no mínimo, de um tempo de condicionamento de 5 minutos.

Após o condicionamento e adsorção do amido, o próximo reagente a ser adicionado na flotação de minério de ferro, é a amina (acetato de eteramina), reagente responsável por adsorver-se nas partículas de quartzo (SiO_2) de forma que sua superfície passe a ter um caráter hidrofóbico

LIMA (1997) e BRANDÃO (2005) afirmam que o mecanismo de adsorção da amina na superfície do quartzo é eletrostático, ou seja, a cabeça polar do grupo amino NH_2 (cátion) adsorve-se eletrostaticamente no quartzo, que possui uma resultante de cargas negativas.

Estes autores relatam ainda que a quantidade de amina que se adsorve na hematita, contendo amido previamente adsorvido, é insuficiente para torná-la hidrofóbica e a quantidade de amido adsorvido sobre o quartzo, também, é insuficiente para manter o caráter hidrofílico do mineral, após adsorção da amina.

É importante observar que a flotação de minério de ferro é denominada de flotação catiônica reversa devido ao uso da amina ou suas derivações como coletor do mineral de ganga, ou seja, o termo catiônico deve-se ao fato da amina ser um surfactante catiônico (cabeça polar positiva) e o termo reversa se deve à promoção da flotação do mineral contaminante, no caso, o quartzo (SiO_2).

RABELO (1994) destaca o impacto positivo da flotação nas questões ambientais, ao possibilitar a recuperação de grandes massas de frações finas de minérios de baixos teores em ferro, rejeitadas por processos destinados somente à produção de granulados e *sínter feed*, ao longo de vários anos. A importância econômica do aproveitamento desse material também é indiscutível.

CASTRO & CRUZ (2003), ao estudarem o minério de ferro que alimenta a planta de concentração por flotação de Vargem Grande, realizaram vários testes de flotação com material menor que $150\mu\text{m}$ e deslamado em ciclones industriais. Observaram que a divisão da amostra na malha de $38\mu\text{m}$ anteriormente à flotação favorecia o desempenho desse processo. Ainda observaram que as frações maiores e menores que $38\mu\text{m}$ respondiam de forma diferente às alterações nas variáveis do processo.

Com isso, propuseram a divisão do circuito de flotação de acordo com a granulometria da alimentação.

RABELO (1994) quantificou o impacto negativo das lamas no processo de flotação do minério de ferro da mina de Alegria, conforme Figura 3.2. Demonstrou que pequenas proporções de lamas na alimentação causam uma perda elevada de ferro no rejeito, enquanto que o efeito na sílica no concentrado só começa a ser significativo para maiores quantidades de lama.

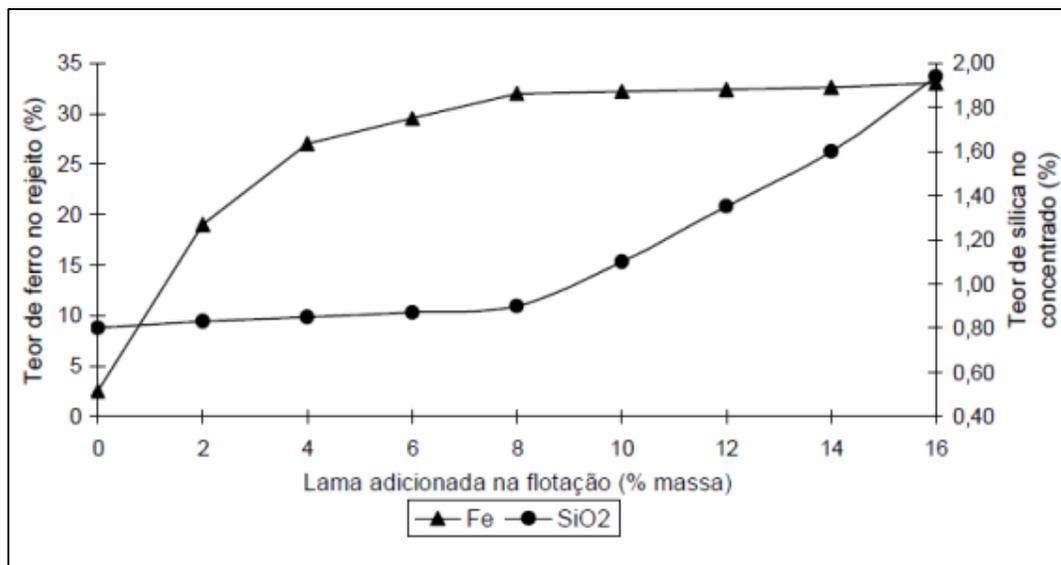


Figura 3.2 – Efeito do percentual de lamas na flotação.

Fonte: RABELO 1994.

MONTENEGRO (2001) conseguiu equacionar a probabilidade de uma determinada partícula ser coletada de um sistema constituído de j elementos químicos e i faixas granulométricas. Através de ensaios em coluna piloto e industrial, os resultados obtidos indicaram que, na flotação reversa de minério de ferro para minérios com alto grau de liberação, a flotabilidade dos minerais portadores de ferro é maior para partículas finas e é proporcional à dosagem de coletor/espumante.

MONTENEGRO (2001) explicou que a conclusão de seu trabalho supracitado, se deve a dois fenômenos que ocorrem simultaneamente: arraste e à dosagem do coletor. A flotabilidade aumenta devido ao arraste mecânico e à flotação verdadeira, pois o

transporte de água para o flotado é proporcional à dosagem de espumante e a adsorção não específica do coletor é proporcional à sua dosagem.

3.4 – Reagentes utilizados na flotação de minério de ferro

A concentração de minérios de ferro mediante a flotação catiônica reversa da ganga quartzosa é realizada com o emprego de aminas neutralizadas com a função de coletor/espumante e o gritz ou fubá de milho como agente depressor dos óxidos de ferro.

3.4.1 - Amina e suas propriedades

Na flotação catiônica reversa de ganga silicatada de minérios de ferro as aminas exercem tanto a função de coletor quanto a de espumante. Devido a seu custo elevado existem investigações visando à substituição parcial das aminas por espumantes convencionais e por óleo diesel (ação coletora), em forma de emulsões.

MONTE & PERES (2004) explicam que as aminas primárias (RNH_2) são altamente insolúveis. A transformação da amina primária em eteramina primária $\text{R-O-(CH}_2)_3\text{-NH}_2$, confere maior solubilidade ao reagente. A solubilidade é também favorecida pela neutralização parcial da eteramina, geralmente feita com ácido acético. A neutralização se faz necessária em termos da solubilidade do coletor, porém graus de neutralização elevados podem reduzir o índice de remoção de quartzo na espuma. Existe uma tendência ao emprego de decil eteraminas, de cadeia linear, com 30% de neutralização.

LEJA (1982) explica que o mecanismo atuante na adsorção de aminas em superfícies minerais é predominantemente eletrostático. O desenvolvimento de ligações hidrofóbicas entre as cadeias hidrocarbônicas das aminas, e a consequente formação de hemimicelas em superfície, também é fundamental para atingir-se o grau de hidrofobicidade necessário à flotação.

CHAVES *et al.* (2006) descrevem que as aminas (acetatos de eteraminas) apresentam propriedades de eletrólitos fracos, dissociando-se em soluções aquosas, com predominância da forma molecular (iônica) na faixa de pH da solução ácida ou pouco

alcalina predomina a espécie iônica enquanto que em faixa de pH mais alcalina predomina a espécie molecular como mostra a Figura 3.3. O caráter de espumante da amina na flotação reversa de minério de ferro é atribuído à sua espécie molecular.

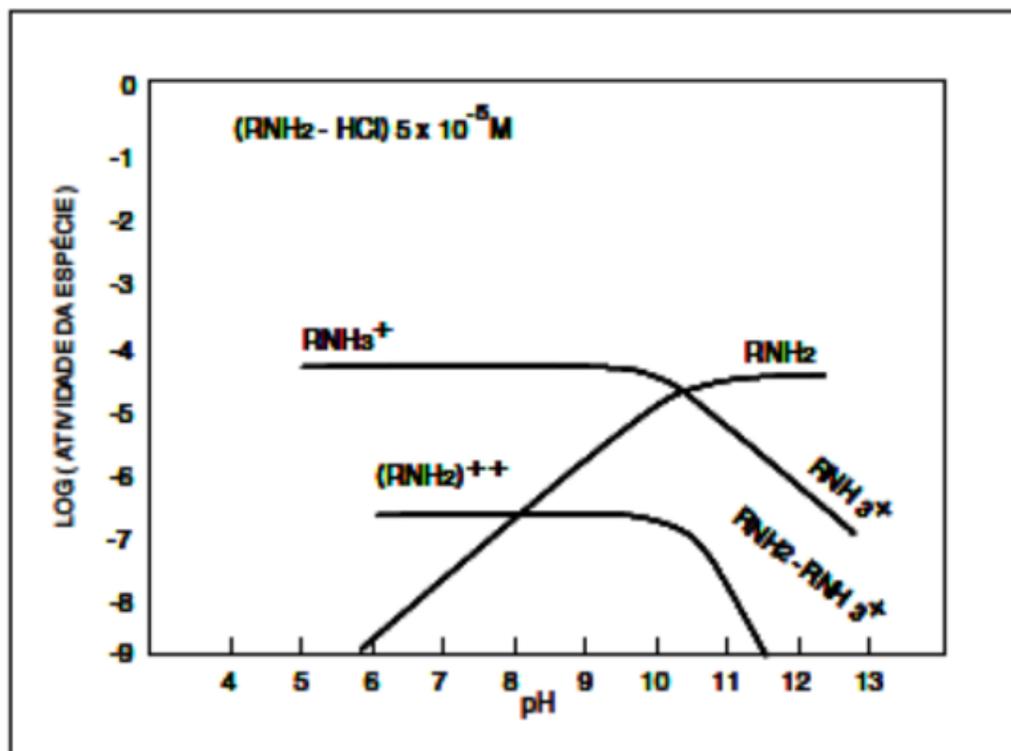


Figura 3.3 - Características de solução de dodecilamina, $5 \times 10^{-5} \text{ M}$.

Fonte: CHAVES *et al.*, (2006).

3.4.2 - Amido e suas propriedades

CEREDA (2001) relata que o amido está disponível em abundância na natureza e que é encontrado em todos componentes dos vegetais de folhas verdes, seja nas suas raízes, caules, sementes ou frutas. Depois dos açúcares mais simples (glicose, frutose, maltose e sacarose) é o principal carboidrato que as plantas superiores sintetizam pelo processo de fotossíntese. O amido serve à planta como alimento, proporcionando-lhe energia em épocas de dormência e germinação, tendo papel semelhante no ser humano, nos animais e, até mesmo, em outros organismos e formas de vida. É uma matéria-prima renovável, biodegradável e não tóxica.

CEREDA (2001) comenta que as indústrias ligadas à produção e a utilização de amido vêm estudando ao longo dos últimos 15 anos novas fontes de amido nativo com propriedades específicas e que sejam resistentes aos tratamentos industriais que deterioram a estrutura do gel de amido, tais como: resistência à temperaturas altas (hidrólise do gel de amido e diminuição da viscosidade), resistência à baixas temperaturas (aceleram a sinérese dos produtos), condições de acidez alta (desnaturalização da estrutura do gel de amido) e resistência as fortes tensões mecânicas (corte, homogeneização, entre outros).

CEREDA (2001) explica que a estrutura macro molecular do amido lhe confere propriedades particulares, tais como solubilidade, viscosidade e poder de gelatinização. Todos os amidos podem ser modificados por reações de complexação e de conversão, conduzindo à produção de moléculas de graus de complexidade variados. As razões que levam à modificação são:

- i) modificação das características de cozimento (gelatinização);
- ii) redução do processo de retrogradação do gel ou pasta de amido;
- iii) aumento da estabilidade das pastas ao resfriamento e congelamento;
- iv) aumento da transparência das pastas ou géis;
- v) aumento dos grupamentos hidrofóbicos e introdução do poder emulsificante, entre outros.

CEREDA (2001) classifica o amido como um polímero natural, formado pela condensação de moléculas de glicose geradas através do processo de fotossíntese. A fórmula química simplificada do amido é $(C_6H_{10}O_5)_n$, onde n representa o número de moléculas D(+) glicose que compõem a macromolécula de amido.

Estruturalmente, o amido é um polissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -(1,4), originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -(1,4) e α -(1,6), formando uma estrutura ramificada, conforme Figura 3.4.

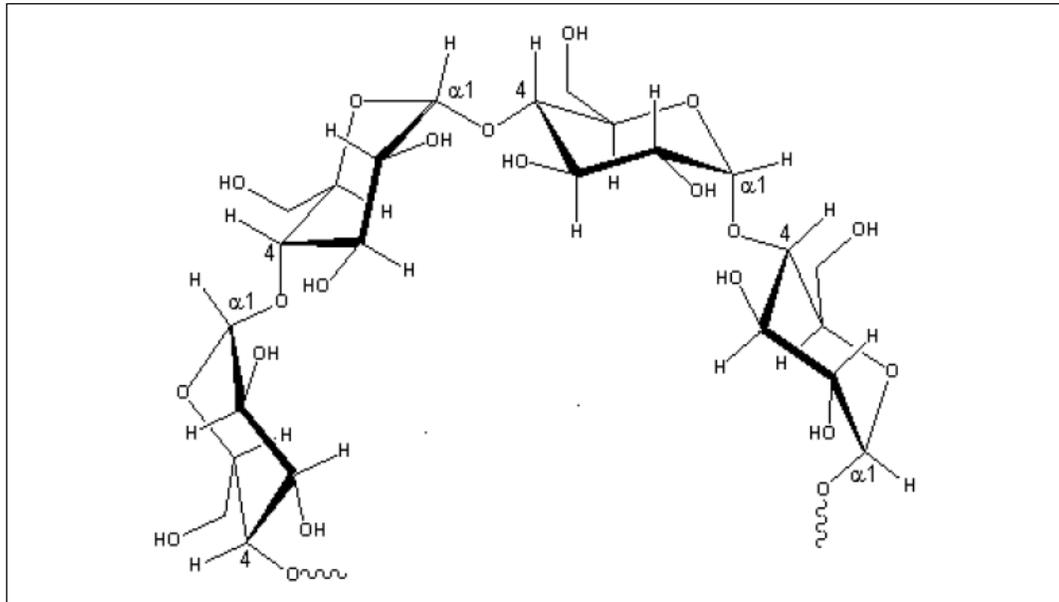


Figura 3.4 - Estrutura molecular da amilose unidas em α -(1-4).

Fonte: DENARDIN & SILVA (2009).

DENARDIN & SILVA (2009) relatam que as proporções em que essas estruturas aparecem diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta.

DENARDIN & SILVA (2009) relatam que a molécula da amilose possui número médio de grau de polimerização (DP) de 500-5000 unidades de resíduos de glicose, com comprimentos médios de cadeia (CL) de 250-670 e limite de β -amilose entre 73% e 95%, o qual está relacionado às proporções lineares e ramificadas da molécula, à quantidade e à localização das ramificações, bem como ao comprimento da cadeia. O peso molecular é da ordem de 250.000 Daltons (1500 unidades de glicose), mas varia muito entre as espécies de plantas e dentro da mesma espécie, dependendo do grau de maturação. Moléculas de amilose de cereais são geralmente menores do que aquelas de outras origens (ex. tubérculos e leguminosas). Níveis entre 15% e 25% de amilose são típicos na maioria dos grãos, contudo, alguns cereais denominados cerosos (*waxy*), como milho, arroz e cevada, são virtualmente livres de amilose, enquanto mutantes com altos níveis de amilose também são conhecidos. Os mutantes amilose *extender* (*ae*) do milho apresentam conteúdos de amilose que variam de 50%

a 85%. Já mutantes *ae* do arroz apresentam conteúdos de amilose que variam de 35% a 40%.

A Figura 3.5 ilustra a estrutura da molécula de amilopectina, conforme DENARDIN & SILVA (2009).

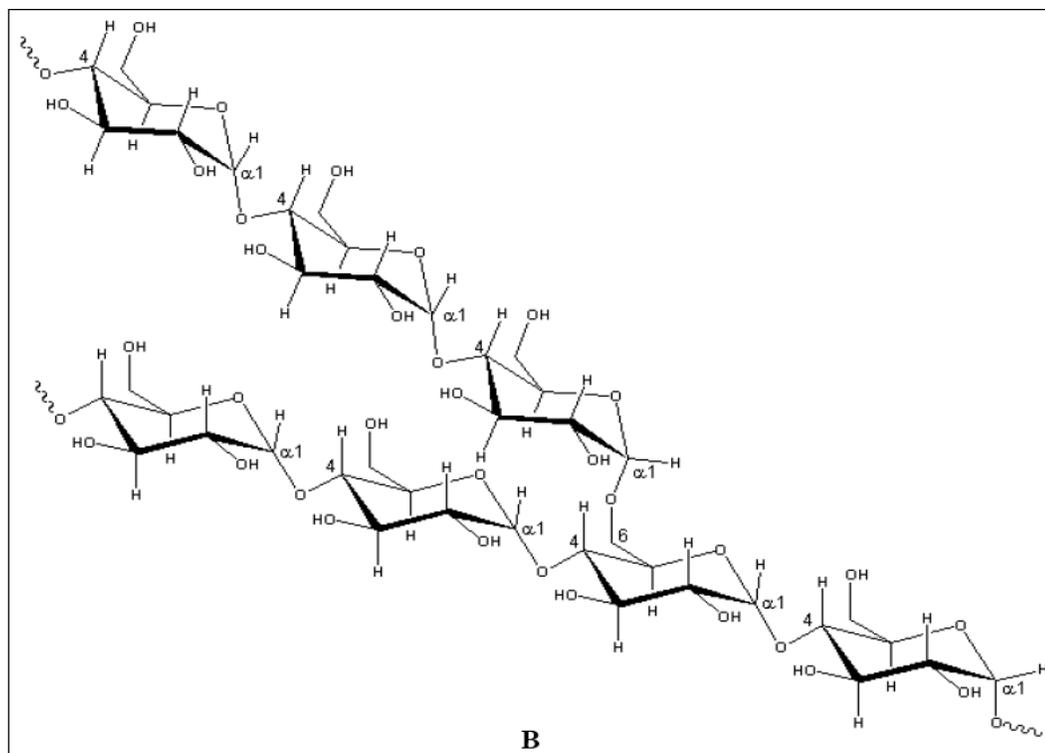


Figura 3.5 – Estrutura ramificada da amilopectina unidas em α -(1-4) e α -(1-6).

Fonte: DENARDIN & SILVA (2009).

DENARDIN & SILVA (2009) comentam que a molécula de amilopectina é o componente ramificado do amido. Ela é formada por cadeias de resíduos de α -D-glicopiranosose (entre 17 e 25 unidades) unidos em α -(1,4), sendo fortemente ramificada, com 4% a 6% das ligações em α -(1,6). O peso molecular da amilopectina varia entre 50 e 500×10^6 Daltons. A amilopectina apresenta um grau de polimerização (DP) de 4700 a 12800 unidades de resíduos de glicose, valores de CL de 17 a 24 e limite de β -amilose de 55% a 60%. As cadeias individuais podem variar entre 10 e 100 unidades de glicose.

DENARDIN & SILVA (2009) afirmam que a amilopectina é, estrutural e funcionalmente, a mais importante das duas frações, pois sozinha é suficiente para formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose (amidos *waxy* ou *cerosos*) Quanto à amilose, sua localização exata dentro do grânulo ainda é uma tarefa difícil. Acredita-se que ela esteja localizada entre as cadeias da amilopectina e aleatoriamente entremeada entre as regiões amorfas e cristalinas.

Atualmente, várias técnicas têm sido utilizadas para avaliar o comportamento dos grânulos frente à gelatinização, tais como: difração de raios X, dispersão de nêutrons de pequeno ângulo, microscopia com luz polarizada e, principalmente, calorimetria diferencial de varredura (DSC – *Differential Scanning Calorimetry*). Além disso, alguns equipamentos avaliam a viscosidade de pastas de amido, como o viscoamilógrafo Brabender, o viscoanalisador rápido (RVA – *rapid viscoanalyser*) e os viscosímetros de rotação, os quais dão uma ideia do comportamento do amido na gelatinização.

Ainda tem-se as características ligadas às propriedades físico-químicas tais como forma, distribuição de partículas e composição química, e estas são definidas pela origem botânica.

Tomando-se por referência as propriedades físico-químicas dos grânulos de amido e as propriedades destes grânulos frente à gelatinização medidas pelos métodos de DSC, RVA e microscopia ótica com luz polarizada, comprova-se que as fontes de amido obtidas neste trabalho são oriundas de diferentes plantas superiores, ou seja, de diferentes origens no mundo da botânica.

3.4.3 - Composição química e física do amido em relação a sua origem

A composição química e física (granulometria) dos grânulos de amido são importantes, não só para se identificar a origem botânica do amido mas também evidencia dentro dos trabalhos realizados pelos pesquisadores ligados à tecnologia mineral algumas correlações interessantes.

Por exemplo, CHAVES *et al.* (2006) relatam que amidos com teores de óleo superiores a 1,8% são nocivos à estabilização da espuma da flotação. ARAUJO *et al.* (2005c) ressaltaram a ação de óleos, presentes nos amidos, como inibidores de

espuma. Segundo os autores, amidos que possuam elevados teores de óleo levariam a completa supressão da espuma, ocasionando interrupção na produção concentrados por muitas horas.

PERES & CORREA (1996) demonstraram através de ensaios de microflotação em tubo de *Hallimond* que a zeína, proteína proveniente do milho, também é um depressor eficiente de hematita, assim como a amilopectina e o amido de milho convencional.

MAPA & VASCONCELOS (2004) realizaram testes de flotação com amidos de diferentes teores de óleos para tentar avaliar sua influência. Foi observado que, embora a formação de espuma ocorresse de modo semelhante, amidos com maiores teores de óleo conduziam a menores recuperações metalúrgicas e teores de sílica no concentrado. O amido com maior teor de óleo de 3,6% apresentou recuperação de 82,0% e teor de sílica de 1,84%.

O amido normalmente empregado nos processos físico-químicos de concentração de minérios é o amido de milho (seja o fubá ou gritz de milho) contém aproximadamente 25% de amilose e 75% de amilopectina. A Tabela III.1 mostra algumas características físicas e químicas do amido de milho usualmente empregado nas operações de processamento mineral.

ANDRADE, (1984) *apud* REIS (1897) relata que a quantidade de soda caustica requerida para a gelatinização aumenta em função do aumento da granulometria do grânulo a ser gelatinizado.

A composição química da fração amilácea e a importância quantitativa dos outros constituintes variam de acordo com a espécie (origem) botânica da qual é extraído. A Tabela III.2 extraída do livro publicado por CEREDA (2001) para a Fundação Cargill, apresenta as principais análises químicas das fontes de amido testadas neste trabalho.

Tabela III.1 - Análises química e granulométrica típicas dos amidos de milho.

Propriedade	Unidade	Amido de Milho	
		Fubá	Gritz
Umidade	%	13,5	13
Conteúdo Amiláceo	%	85,0	76
Teor de Proteínas	%	-	8,6
Teor de óleo	%	1,5	0,6
Fibra +Outros	%	-	1,0
+ 1000 µm	% Ret. Simples	-	1,0
+ 592 µm	% Ret. Simples	5,0	35,0
+ 419 µm	% Ret. Simples	5,0	47,0
+ 297 µm	% Ret. Simples	10,0	8,0
+ 149 µm	% Ret. Simples	15,0	4,0
+ 74 µm	% Ret. Simples	30,0	2,0
- 74 µm	% Passante	35,0	3,0

Fonte: MBR – 2005

Tabela III.2 – Composição centesimal das principais fontes botânicas de amido

Nome Científico	Nome Popular	Amido Total (%) ⁽²⁾	Açúcar Total (%) ⁽²⁾	Fibras (%) ⁽²⁾	Proteína (%) ⁽²⁾	Matéria Graxa (%) ⁽²⁾	Cinzas (%) ⁽²⁾	Outros (%) ⁽³⁾	Amilopectina (%)	Amilose (%) ⁽⁴⁾
<i>Maranta arundinacea</i>	Araruta ⁽²⁾	82,0	2,4	3,7	5,8	0,2	1,5	4,4	80,0	20,0
<i>Dioscorea esculenta</i>	Inhame ⁽²⁾	78,0	1,3	1,2	8,2	0,1	1,1	10,1	93,0	7,0
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata doce ⁽²⁾	83,0	4,6	2,4	1,9	0,4	1,3	6,4	82,0	18,0
<i>Manihot esculenta</i>	Mandioca ⁽²⁾	82,5	2,2	2,7	2,6	0,3	2,4	7,3	80,0	20,0
<i>Colocasia esculenta</i>	Taro ⁽¹⁾	83,0	2,6	2,2	2,3	0,5	1,2	8,2	93,0	7,0
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Batata baroa ⁽²⁾	83,0	4,5	2,8	3,9	0,3	0,2	5,4	82,0	18,0
<i>Musa paradisiaca</i>	Banana Caturra ⁽²⁾	83,0	1,7	2,0	2,8	0,3	1,1	9,1	80,0	20,0
<i>Zea mays</i>	Milho ⁽²⁾	80,0	0,7	4,0	8,9	0,8	0,4	5,3	75,0	25,0
<i>Zea mays waxy</i>	Milho Ceroso ⁽²⁾	95,0	1,0	0,5	0,0	0,0	1,0	2,5	95,0	5,0

⁽¹⁾ Vulgo Cará ⁽²⁾ CEREDA, 2001 ⁽³⁾ Outros = 100 - Σ (elementos) ⁽⁴⁾ Amilose - CEREDA (2001) e Amilopectina subtraído de 100

CEREDA (2001) relata que a forma (redondo, oval, poliédrico), o tamanho de partícula (2 a 200µm) e a distribuição de tamanho da partícula (unimodal, bimodal, trimodal) dos grânulos são características ligadas à origem botânica. Quanto à distribuição de tamanho de partícula, a maioria dos cereais apresenta distribuição bimodal, sendo compostos por grânulos grandes (10 a 35µm) e lenticulares denominados de grânulos

A e grânulos pequenos (diâmetro entre 1 e 10 μ m) e esféricos denominados de grânulos B. Grânulos de amidos de diferente fontes botânica são reconhecidos pela forma, tamanho, temperatura de gelatinização e posição do hilo (parte central de grânulo de amido).

3.4.4 - Cristalinidade do grânulo de amido

DERNARDIN & SILVA (2009) explicam que o grânulo de amido em suspensão aquosa, quando analisado através do microscópio com luz polarizada, exhibe birrefringência, evidenciando a estrutura altamente organizada do grão. A refração pelas suas regiões cristalinas resulta no modelo típico de “Cruz de Malta”, o que caracteriza a orientação radial das macromoléculas. A cristalinidade é confirmada através da difração de raios-X, que fornece três tipos diferentes de difratogramas. Amidos de cereais e grãos fornecem um espectro do tipo A; amidos de raízes, um espectro do tipo B e alguns outros tipos de amido apresentam um padrão intermediário do tipo C.

Segundo OATES (1997) *apud* DERNARDIN & SILVA (2009), uma característica estrutural que tem sido identificada por meio de hidrólise enzimática controlada são os chamados anéis de crescimento. Internamente, o material do grânulo está presente na forma de anéis concêntricos, conhecidos como anéis de crescimento (Figura 3.6).

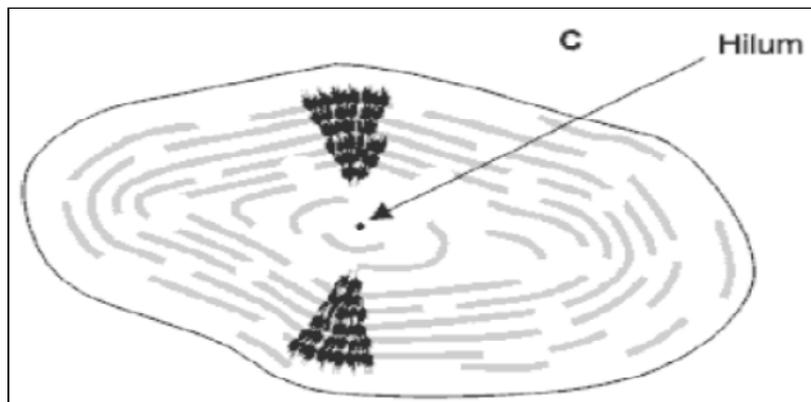


Figura 3.6 – Modelo de estrutura interna do grânulo de amido.

Fonte: DERNARDIN & SILVA (2009).

Essas estruturas são visíveis ao microscópio óptico em grânulos grandes (batata e trigo), mas são raramente vistas nos pequenos (cevada e arroz). A existência de anéis de crescimento sugere que o amido seja depositado num ritmo diário, e que o material

recém-sintetizado esteja depositado na superfície, fazendo com que os grânulos aumentem seu tamanho. Um modelo para esse desenvolvimento sugere que a primeira camada de crescimento esteja no centro (*hilum*), que contém grande proporção de terminais redutores das moléculas de amido e é normalmente menos organizado que o resto do grânulo. Os terminais não redutores da amilose e amilopectina irradiam para a superfície, permitindo a adição de mais resíduos de glicose para aumentar as cadeias de amilopectina (DERNADIN & SILVA 2009).

Segundo OATES (1997) e ELIASSON (1996) *apud* DERNADIN & SILVA (2009) os anéis de crescimento são organizados em regiões cristalinas e amorfas alternadas, motivo pelo qual é frequentemente descrito como um polímero semicristalino ou parcialmente cristalino. A fusão desses cristais e o rompimento dessa estrutura organizada formam a base para a gelatinização. A região cristalina é constituída pelas duplas hélices das cadeias paralelas A e B da amilopectina, sendo mais compacta, enquanto que a região amorfa, menos ordenada, contém os pontos de ramificação das cadeias laterais da amilopectina e possivelmente alguma amilose (Figura 3.7).

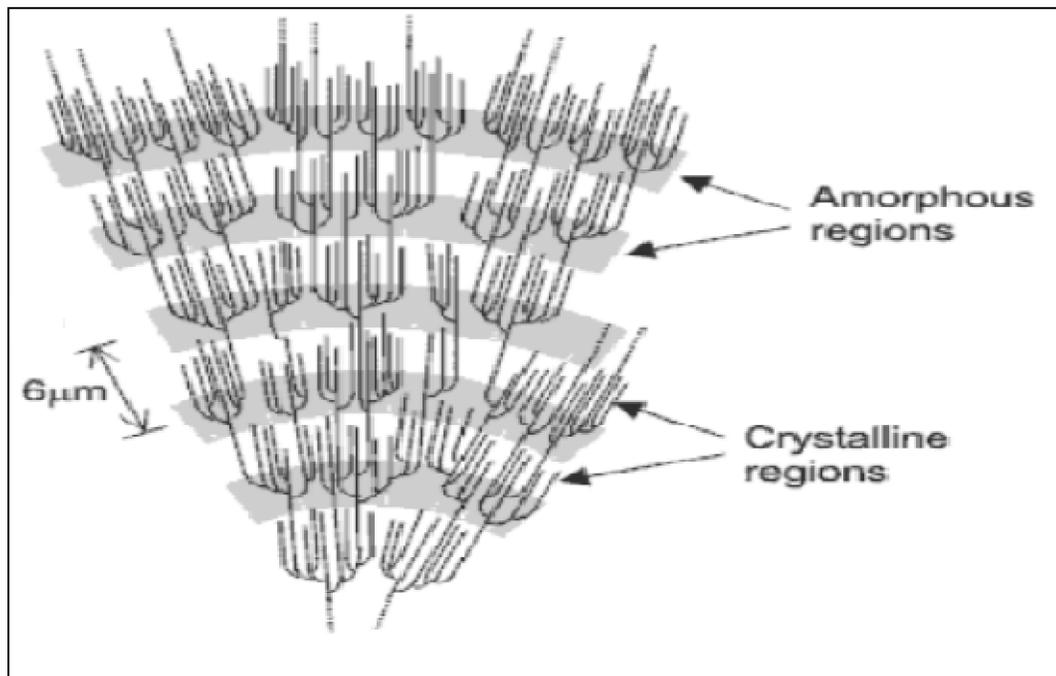


Figura 3.7 - Regiões amorfas e cristalinas da amilopectina.

Fonte: DERNADIN & SILVA (2009).

CEREDA (2001) relata que os grânulos de amido nativos contêm entre 15% e 45% de material cristalino com modelos de difração de raios-X, que correspondem a duas

poliformas (A ou B) ou a uma forma intermediária (C), as quais têm sua classificação baseada em variações no conteúdo de água e na configuração de empacotamento de duplas hélices.

Segundo OATES (1997) e ELIASSON (1996) *apud* DERNARDIN & SILVA (2009) a cristalinidade tipo A ocorre na maioria dos cereais (milho, arroz, trigo, aveia) e é descrita como uma unidade celular monocíclica altamente condensada e cristalina, onde 12 resíduos de glicose de duas cadeias no sentido anti-horário abrigam quatro moléculas de água entre as hélices. A estrutura de padrão tipo B (tubérculos, arroz com alto teor de amilose e amido retrogradado) é mais claramente definida, sendo composta por uma unidade básica de cadeias que são empacotadas em um arranjo hexagonal, onde a unidade celular tem duas duplas hélices no sentido anti-horário, alinhadas e arranjadas em paralelo. Essa estrutura contém 36 moléculas de água (27%) para cada 12 resíduos de glicose. A metade dessa água é fortemente ligada às duplas hélices, e a outra metade é concentrada em um eixo em parafuso.

3.4.5 - Gelatinização e a sua relação com a viscosidade de pasta

DERNARDIN & SILVA (2009) esclarecem que quando o amido entra em contato com a água fria, os grânulos incham ligeiramente (10 a 20%) devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas, mas esse processo é reversível pela secagem. No entanto, ao aquecer os grânulos em água, eles incham irreversivelmente num fenômeno denominado gelatinização, em que ocorre perda da organização estrutural (perda da birrefringência), com fusão dos cristais. Sabe-se que a gelatinização tem início no centro do grânulo e se expande rapidamente para a periferia, ocorrendo inicialmente nas regiões amorfas devido à fragilidade das ligações de hidrogênio nessas áreas, ao contrário do que ocorre nas regiões cristalinas. À medida que os grânulos se expandem, ocorre a lixiviação da amilose da fase intergranular para a fase aquosa, resultando no aumento substancial das propriedades reológicas do sistema. O conjunto de mudanças que envolvem a ruptura da estrutura granular, o inchamento, a hidratação e a solubilização das moléculas caracterizam todo o processo de gelatinização.

Segundo SINGH *et al.* (2003) *apud* DERNARDIN & SILVA (2009), quando as moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, a estrutura cristalina é rompida, e as moléculas de água formam pontes de hidrogênio entre a amilose e

amilopectina, expondo seus grupos hidroxila, o que causa um aumento no inchamento e na solubilidade do grânulo. Esse poder de inchamento e solubilidade varia de acordo com a fonte do amido, fornecendo evidências da interação entre as cadeias de amido dentro dos domínios amorfos e cristalinos. A extensão destas interações é influenciada pela proporção amilose:amilopectina e pelas características dessas moléculas (distribuição e peso molecular, grau e comprimento de ramificações e conformação).

A gelatinização dos grânulos ocorre numa ampla faixa de temperatura característica para cada fonte de amido.

Segundo SINGH *et al.* (2003) *apud* DERNARDIN & SILVA (2009), as propriedades de inchamento e gelatinização são controladas, em parte, pela estrutura molecular da amilopectina (comprimento de cadeia, extensão de ramificação, peso molecular), composição do amido (proporção amilose:amilopectina e teor de fósforo) e arquitetura granular (proporção de regiões cristalinas e amorfas). Normalmente, altas temperaturas de transição têm sido associadas a altos graus de cristalinidade, os quais fornecem a estabilidade estrutural e tornam os grânulos mais resistentes à gelatinização.

Segundo DERNARDIN & SILVA (2009,) a presença da amilose reduz o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia necessária para o início da gelatinização, uma vez que mais energia é necessária para iniciar a fusão na ausência de regiões amorfas ricas em amilose. Essa correlação indica que amidos com maior conteúdo de amilose, por apresentarem mais regiões amorfas e menos regiões cristalinas, apresentam menores temperaturas de gelatinização. Entretanto, estudos realizados com amido de arroz têm encontrado resultados contraditórios com relação à influência da amilose nas propriedades de gelatinização segundo (VANDEPUTTE *et al.*, 2003a; VANDEPUTTE *et al.*, 2003b) *apud* DENARDIN & SILVA (2009).

ELIASSON (1996) *apud* DERNARDIN & SILVA (2009) explica que, quando é armazenado e resfriado, o amido gelatinizado pode sofrer um fenômeno denominado de retrogradação. Com o passar do tempo, as moléculas do amido perdem energia e as ligações de hidrogênio tornam-se mais fortes, assim, as cadeias começam a (re)associar-se num estado ordenado. Essa (re)associação culmina com a formação de simples e duplas hélices, resultando no enredamento ou na formação de zonas de

junção entre as moléculas, originando áreas cristalinas. Como a área cristalizada altera o índice de refração, o gel vai se tornando mais opaco à medida que a retrogradação se processa. A amilose que foi exsudada dos grânulos inchados forma uma rede por meio da associação com cadeias que rodeiam os grânulos gelatinizados.

Em consequência, a viscosidade da pasta aumenta (viscosidade de *setback*), convertendo-se num sistema viscoelástico turvo ou em concentrações de amido suficientemente altas (>6% p/p) num gel elástico opaco, em que, às vezes, ocorre precipitação de cristais insolúveis de amido levando à separação de fases. A forte interação das cadeias entre si promove a saída da água do sistema, sendo essa expulsão chamada de sinérese. As características de retrogradação da amilose e amilopectina são cineticamente diferentes. A amilose retrograda mais rapidamente, tendo forte tendência a (re)associar-se por meio da formação de pontes de hidrogênio com outras moléculas de amilose adjacentes, formando estruturas cristalinas de duplas hélices quando a suspensão esfria e se mantém por longo período de tempo. A amilose apresenta endoterma de fusão de 140°C a 180°C, e a presença de ácidos graxos livres ou lipídios favorece a formação de complexos de inclusão. Por outro lado, a amilopectina retrograda numa taxa muito menor durante um longo período de tempo, e sua endoterma de fusão é menor, aproximadamente, 45°C a 60°C, conforme WU & SARKO (1978) *apud* DENARDIN & SILVA (2009).

PARKER & RING (2001) e THARANATHAN (2002) *apud* DENARDIN & SILVA (2009) relatam que a retrogradação é um fenômeno complexo e varia de acordo com diversos fatores, tais como: temperatura e tempo de armazenamento, pH, fonte de amido, presença de outros componentes (lipídios, eletrólitos e açúcares) e condições de processamento.

Segundo DENARDIN & SILVA (2009), alguns estudos têm mostrado como ocorre a gelatinização e que algumas populações de cadeias de amilopectina podem favorecer (DP 12-22) ou inibir (DP 6-9; DP>25) a retrogradação da amilopectina devido à maior ou menor formação de duplas hélices durante a retrogradação, porém, a influência exata da amilose na retrogradação ainda permanece obscura. É possível sugerir que a fração amilose apresenta um efeito sinérgico na retrogradação da amilopectina, atuando como um núcleo de recristalização no caso de baixos conteúdos de amilopectina.

CEREDA (2001), ZHANG & HAMAKER (2003) explicam que as mudanças de viscosidade em suspensões amiláceas, devido ao intumescimento (gelatinização) do grânulo de amido durante o aquecimento são comumente avaliadas em viscoamílografos como o Brabender e o Rápido Viscoanalisador (*Rapid Viscoanalyser* – RVA – *Newport Scientific* - Austrália). A avaliação da viscosidade de amidos feita no aparelho Brabender apresenta uma boa habilidade discriminativa no perfil de empastamento. Entretanto, o longo tempo de análise, a grande quantidade de amostra requerida, a pequena reprodutibilidade de instrumento para instrumento e o difícil procedimento de calibração vêm motivando o uso do RVA, que está se tornando muito popular para análise das propriedades de pasta dos amidos. O perfil de empastamento de amidos obtidos pelo RVA inclui pico de viscosidade, tempo para atingir este pico, quebra, viscosidade final e temperatura final de pasta, como mostrado na Figura 3.8.

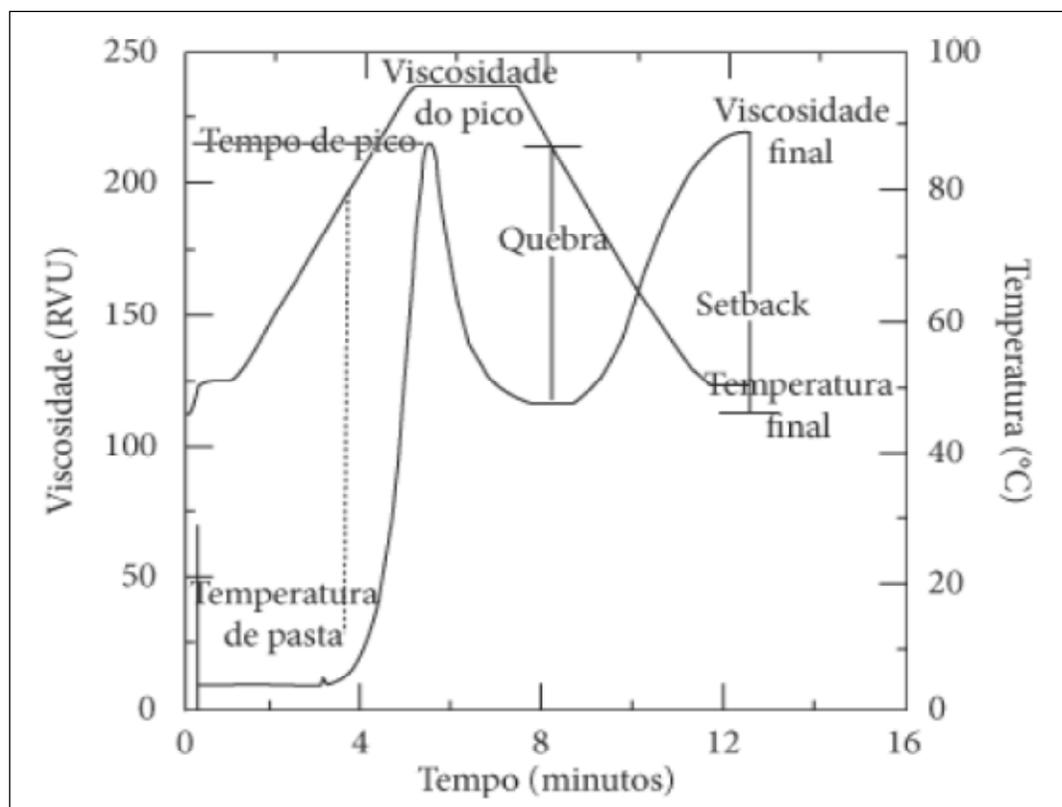


Figura 3.8 – Curva de viscosidade típica obtida pelo RVA.

Fonte: CEREDA (2001).

SILVA *et al.*, (2006) explicam o comportamento da curva de viscosidade e sua relação com a gelatinização. Durante a fase inicial de aquecimento, um aumento na

viscosidade é registrado no RVA quando os grânulos começam a inchar. Neste ponto, polímeros com menor peso molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos. Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando os grânulos, em sua maioria, estão totalmente inchados, havendo também grânulos intactos e o alinhamento molecular dos polímeros solubilizados ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento.

Na a fase de temperatura (95°C) e agitação constante os grânulos começam a quebrar, a solubilização dos polímeros continua e o alinhamento molecular ocorre dentro do campo de atrito do instrumento, causando uma diminuição da viscosidade. Ao ocorrer resfriamento, alguns polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se (re)associar, formando um precipitado ou gel ocorrendo um aumento na opacidade da pasta. Este processo é chamado retrogradação ou *setback*, é então que ocorre aumento da viscosidade. Dependendo do tipo de amido (da fonte botânica, ou se é um amido natural ou modificado), do nível de sólidos, do pH e do regime de aquecimento, vários perfis de gelatinização e empastamento podem ser gerados.

SILVA *et al.*, (2006) relatam que a retrogradação é basicamente um processo de cristalização das moléculas de amido que ocorre pela forte tendência de formação de pontes de hidrogênio entre moléculas adjacentes. A associação das moléculas do amido propicia o desenvolvimento de uma rede tridimensional mantida coesa pelas áreas cristalinas. Esta rede é formada por grânulos de amido parcialmente inchados e componentes do amido em suspensão.

3.4.6 - Estudos com amidos ligados à flotação de minério de ferro

CHAVES *et al.* (2006) relatam que desde 1978 o amido de milho de milho (maisena) é utilizado na flotação de minério de ferro como depressor dos minerais portadores de ferro. O nome comercial era Collamil, um pó muito fino, de alta pureza. Era utilizado pela Samarco e minerações de fosfato.

Na indústria da mineração, o processo de gelatinização é realizado através da adição de soda cáustica. Neste processo a gelatinização ocorre através da absorção de parte do álcali, da solução diluída de hidróxido de sódio, pelas micelas da suspensão do amido de milho.

ANDRADE, (1984) *apud* REIS (1897), explica que o processo de gelatinização aplicado ao gritz de milho exige maior intervalo de tempo em relação ao amido de milho convencional (maisena), já que o gritz possui uma granulometria mais grosseira e por isto possui menor superfície específica exposta à reação química. Outro ponto que corrobora com o maior tempo de gelatinização do gritz é a necessidade de quebra de camadas sucessivas para que seja possível o contato entre a soda cáustica e as moléculas mais internas do grão de gritz.

VIANA & SOUZA (1985) observaram através de experimentos em escala de laboratório que o gritz de milho um produto utilizado pelas empresas fabricantes de cerveja comportava-se de maneira semelhante ao amido de milho na flotação reversa comenta que o gritz não prejudicou o desempenho operacional da planta de concentração e que os resultados em termos de recuperação metalúrgica e contaminante no concentrado em relação ao amido de milho convencional (maisena) foram similares.

REIS (1987) estudou e validou tecnicamente o emprego do gritz de milho como reagente alternativo para a flotação de minério de ferro da Samarco Mineração como agente depressor. Esta ação depressora é dependente da fração não gelatinizada do gritz de milho na etapa de gelatinização e esta pode ser expressa como uma função de massa de gritz de milho por soda cáustica (relação Amido/NaOH), conforme Figura 3.9.

REIS (1987) também observou que o tempo de gelatinização do gritz de milho é até seis vezes superior ao do amido convencional (maisena), conforme as áreas de preparação de reagentes existentes na época e que a fração de gritz não-gelatinizada a partir de 20 minutos tende ao valor zero. Esta modificação física pela quebra das cadeias poliméricas e, conseqüentemente, obtenção de suspensão constituída de moléculas de menor massa molecular resulta em uma operação de flotação mais eficiente. Esta relação entre o tempo de gelatinização e a fração de gritz não-gelatinizada é representada pela Figura 3.10.



Figura 3.9 – Razão de griz / soda em função da fração de griz não gelatinizada.
 Fonte: REIS (1987).



Figura 3.10 – Fração de griz não gelatinizada em função do tempo de gelatinização.
 Fonte: REIS (1987).

Conforme TURRER (2007), a forma de adsorção do amido em partículas minerais tem sido objeto constante de estudos ao longo dos anos. Inicialmente acreditava-se que a principal responsável pela atração entre a molécula de amido e uma determinada

superfície mineral seriam ligações de hidrogênio. Com o surgimento de novas técnicas analíticas, os estudos até então realizados sugerem a formação de uma ligação química entre esses dois componentes.

CHAVES *et al* (2006) explicam resumidamente o processo de obtenção do amido de milho. Primeiro é realizada a retirada do gérmen (parte macia do grão de milho) que contém basicamente óleo e proteínas, e este é um produto importante na indústria alimentícia. Após o grão de milho é brunido (raspado) para a remoção do esmalte e posteriormente moído a seco em moinhos de martelo.

WEISSENBORN *et al* (1995) investigaram os mecanismos de adsorção de amido de trigo na hematita. Os resultados de espectroscopia indicaram que ocorria a formação de um complexo na superfície mineral. Evidências suportando esses resultados foram obtidas através de testes de dessorção e pela complexação de amilopectina em solução de Fe^{3+} . A existência de ligações de hidrogênio entre o amido e a superfície mineral não foi descartada. O método utilizado não era capaz de distinguir ligações de hidrogênio formadas durante a adsorção das intramoleculares existentes no amido. A presença de água e grupos hidroxila do mineral também complicava a detecção das ligações de hidrogênio entre amido e o mineral. Desse modo, os autores sugeriram o esquema de adsorção ilustrado na Figura 3.11.

PAVLOVIC, (2002) em sua Tese de Doutorado investigou a influência do amido e seus componentes, amilose (AM) e amilopectina (AP) e do monômero glicose, na flotação de hematita e quartzo, através de testes de microflotação em tubo de *Hallimond*, usando-se acetato de decileteramina como coletor. Os ensaios mostraram que os polímeros AM e AP tiveram ação depressora semelhante para a hematita; e o monômero glicose também exibiu ação de depressão. No caso do quartzo, a ação depressora foi diferente: a amilose exibiu menor ação depressora dentre os polímeros e a glicose não teve nenhuma ação depressora.

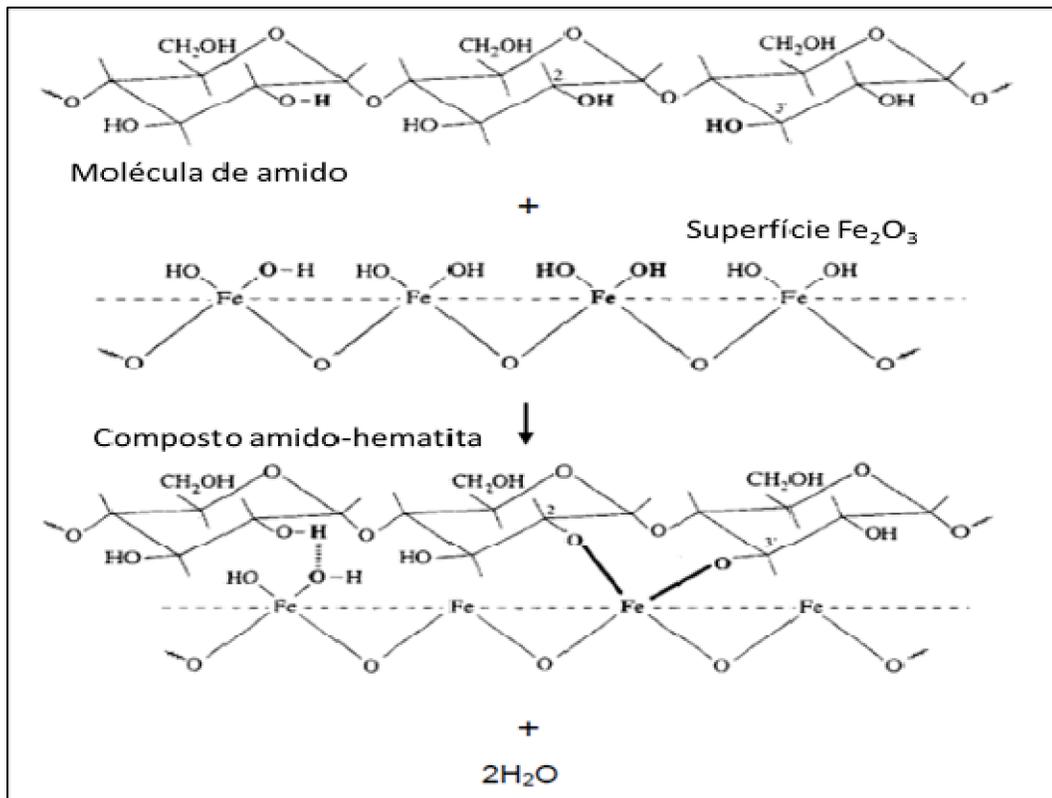


Figura 3.11 - Mecanismos de complexação entre a superfície hematita com as moléculas de amido de trigo.

Fonte: WEISSENBORN *et al*, (1995).

PAVLOVIC & BRANDÃO, (2003) através de espectrometria no infravermelho (EIV) mostraram que a adsorção de amido é preferencial na superfície da hematita se comparada a adsorção na superfície do quartzo. E que as isotermas de adsorção dos polímeros amilose e amilopectina do amido na hematita também são semelhantes.

PAVLOVIC & BRANDÃO, (2003) e BRANDÃO (2005), com estes resultados em EIV, inferiram que o mecanismo de ligação dos carboidratos com a superfície da hematita deve ser com os íons ferro da superfície, uma vez que as bandas devidas às hidroxilas superficiais se mantêm inalteradas nos espectros obtidos após adsorção. A EIV não detectou adsorção de nenhum dos carboidratos na superfície do quartzo.

DAIUTO (2005) relata que apenas os amidos provenientes de umas poucas espécies foram estudados em todas as suas propriedades físico-químicas. Estes amidos são aqueles considerados como comerciais nas suas formas naturais e modificadas: milho, trigo, batata, mandioca e arroz. Porém, recentemente tem-se valorizado amidos de

outras fontes botânicas e a busca por novos amidos naturais com propriedades de modificados. Algumas fontes alternativas de amido com potencial de uso na indústria de alimentos deverão ser melhores exploradas. Além de tuberosas como a araruta, açafão, ahipa, batata doce, biri, gengibre, inhame, taro, mandioquinha-salsa, taioba e zedoária, existem diferentes cultivares de mandioca e batata doce com grande diversidade genética.

4 – METODOLOGIA

4.1 – Amostra de minério de ferro

A amostra de minério de ferro utilizada nos ensaios de flotação em bancada foi proveniente do projeto Itabiritos Mariana que alimentará a flotação da planta adaptada de Fabrica Nova. Esta foi preparada e fornecida pelo Centro de Pesquisas Tecnológicas da Gerência de Desenvolvimento de Processo de Tratamento de Minérios - Equipe do CPT de Alegria – Mina de Alegria - VALE S/A.

4.1.1 – Caracterização da amostra

A amostra teve sua distribuição granulométrica realizada com a utilização de peneiras da série Tyler. A análise química foi realizada por faixa e global através de fluorescência de raios -X e a mineralogia realizada através de microscopia ótica de luz refletida.

4.1.2 – Análise granulométrica

A análise granulométrica da amostra foi realizada no Laboratório de Tratamento de Minérios do DEMIN/UFMG utilizando-se das peneiras da série Tyler, com aberturas de 149µm, 105µm, 74µm, 53µm, 44µm e 38µm, com 20cm de diâmetro e 7cm de altura.

A amostra foi submetida ao peneiramento a úmido, em vibrador suspenso, durante 15 minutos. As frações obtidas foram secadas e pesadas para cálculo do percentual retido em cada malha. E posteriormente as massas retidas foram preparadas (pulverizadas) para envio ao laboratório químico para obtenção da distribuição de elementos por faixa.

4.1.3 – Análise química via FRX

As análises químicas foram realizadas no Laboratório químico do CPT de Alegria, conforme procedimentos internos. O aparelho utilizado para foi um espectrômetro de fluorescência de raios-x (FRX) da empresa Axios.

As amostras enviadas para análise qualitativa e quantitativa via FRX foram preparadas da seguinte forma:

- i) identificou-se e secou-se a amostra em estufa (a 100°C);
- ii) homogeneizou-se e quarteou-se a amostra até a obtenção de uma alíquota de aproximadamente 250g;
- iii) recolheu-se esta alíquota e pulverizou-se em moinho de panela por 2 minutos;
- iv) homogeneizou-se e quarteou-se em cruz o produto do moinho de panela até a obtenção de uma alíquota de aproximadamente 100g;
- v) secou-se a amostra de 100g na estufa a 100°C por 1 hora para eliminar toda a umidade;
- vi) recolheu-se a amostra seca e através de prensagem com uma mistura de aglomerante de ácido bórico a amostra em pó, método denominado de pó prensado. Obs.: A superfície da amostra tem que estar lisa e polida, para não ocorrer erro na leitura do aparelho (espectrômetro);
- vii) colocou-se a amostra no aparelho de FRX, escolheu-se a curva a ser lida, esta curva deve conter padrões de referência. As amostras de concentrado, rejeito e alimentação foram analisadas separadamente de modo a evitar contaminações e escolha exata da curva padrão;
- viii) O resultado das análises foram expresso em % e geralmente esta análise pelo método do pó prensado não fecha em 100% devido ao processo de perda ao fogo (PPC).

4.1.4 – Análise mineralógica

A análise mineralógica da amostra foi realizada no Laboratório de Mineralogia CPT de Alegria – Mina de Alegria – VALE S/A, conforme procedimentos internos. As frações granulométricas (+74µm, -74+53µm, -53+44µm, -44+38µm e -38µm) foram analisadas em um microscópio marca Leica, modelo DMLP, com dispositivo para fotomicrografia

acoplado e aumento de até 500 vezes. As seções polidas foram confeccionadas com embutimento dos minerais em resina de cura rápida, a frio. Após a cura as seções foram lixadas e polidas com pasta de alumina. Foi utilizado o método de contagem de grãos para determinação da percentagem em peso das fases mineralógicas presentes.

Determinou-se o grau de liberação do quartzo nas frações: +150 μ m, -150+74 μ m, -74+53 μ m, -53+44 μ m, -44+38 μ m e -38 μ m pelo método de Gaudin.

4.2 – Ensaio tecnológicos

Em uma ordem cronológica os ensaios tecnológicos foram realizados assim:

- 1 – Ensaio exploratório de flotação em bancada.
- 2 – Testes de flotação em bancada para obtenção curva de dosagem de amido (fubá de milho) em relação à amostra estudada.
- 3 – Testes de cinética de flotação.
- 4 – Obtenção das farinhas de diferentes fontes de amido (diferentes fontes botânicas);
- 5 – Ensaio de flotação em bancada com as diferentes fontes de amido.

O surfactante escolhido foi o acetato de monoeteramina com grau de neutralização de 30%. Este surfactante foi fornecido pela Clariant do Brasil cuja denominação comercial é EDA-C. A escolha deste surfactante foi puramente fundamentada na prática operacional, sendo que as plantas operacionais pesquisadas (flotação de itabiritos) utilizam este reagente para a coleta da sílica no processo de flotação catiônica reversa de minério de ferro.

Definiu-se o fubá de milho como a fonte de amido referência para todo o estudo, visto que é no momento o insumo utilizado em todas as unidades de concentração por flotação de minério de ferro e por razões técnicas ligadas a granulometria, pois a granulometria das farinhas das diferentes fontes botânicas aproximam-se da granulometria do fubá. Não utilizou-se o griz de milho devido à granulométrica mais grosseira deste, conforme relata ANDRADE, (1984) *apud* REIS (1897), esta característica afeta o tempo de gelatinização e desta forma poderia ocorrer erros pela não padronização da preparação das suspensões de amido.

4.3 – Ensaios exploratórios de flotação em bancada

Nos dias 08 e 09 de agosto de 2011 realizou-se no Laboratório do Centro de Pesquisa Tecnológica de Alegria (CPT – Alegria) cinco ensaios de flotação em bancada com as seguintes fontes de amido: fubá de milho como base de comparação, farinhas de banana verde, taro, araruta e batata inglesa adquiridas no Mercado Central de Belo Horizonte.

A intenção dos testes foi verificar o comportamento das fontes de amido supracitadas em relação à flotação de bancada e de certa forma servir como um norte para o estudo em questão. Nos testes exploratórios o minério utilizado foi uma amostra de pouca seletividade da Mina de Alegria e que já estava preparada e pesada para testes de bancada no CPT, ou seja, não foi a mesma amostra utilizada no estudo em questão.

O amido de milho, ou melhor, o fubá de milho foi o mesmo utilizado na Operação em Alegria e coletado na própria planta industrial. As demais fontes foram adquiridas no Mercado Central de Belo Horizonte em forma de farinhas e que são utilizadas para consumo humano.

Toda a preparação das suspensões de amido bem como a execução dos testes de bancada em flotação foi seguida conforme o procedimento interno da VALE S/A denominado de PRO 007875 – Flotação em bancada. A concentração das suspensões de amido foi preparada na concentração de 1% (p/v).

A Figura 4.1 mostra o aspecto em que as suspensões de amido (milho, araruta, banana verde, taro e batata inglesa) ficaram após a preparação (gelatinização) das farinhas. Da esquerda para direita, têm-se as seguintes preparações: solução de amina a 1% e as suspensões de amido gelatinizado a 1% - fubá de milho, araruta, taro, banana verde e batata inglesa.

A Tabela IV.1 apresenta os principais resultados obtidos em relação aos testes exploratórios – Teste 1, Teste 2, Teste 3, Teste 4 e Teste 5. O teste 6 foi o realizado com a raspa de mandioca com a amostra de minério referente ao Projeto Itabiritos de Mariana – amostra deste estudo.



Figura 4.1 – Solução de amina e das suspensões de amido gelatinizadas, ambas a 1%.

Tabela IV.1 - Principais resultados obtidos nos Testes Exploratórios

Resumo Dados Medidos - Flotação													
Projeto/Estudo		2011.SC.010 - Estudos Diversos - 39 - Testes Exploratório de Amidos											
Técnico Responsável		Alysson Borges / Horácio Peroto											
TESTE	Condição				Fluxo	Química Global (%)					Recuperação (%)		
	Amina (grtsiO ₂)	Amido (g/l)	Depressor (Amido)	pH Flotação		Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	PPC	Massa	Metálica	IS
01	125	1000	Milho	10,5	Al	52,48	22,84	0,040	0,510	1,41	67,27	87,05	13,30
					CO	67,11	1,19	0,055	0,570	1,87			
					RJ	21,29	66,82	0,023	0,780	1,02			
02	125	1000	Araruta	10,5	CO	67,35	1,63	0,048	0,052	1,63	65,42	83,41	10,21
					RJ	24,87	62,73	0,027	0,780	1,08			
03	125	1000	Taro	10,5	CO	66,92	1,94	0,050	0,540	1,66	66,64	84,90	9,66
					RJ	23,71	64,13	0,024	0,750	0,98			
04	125	1000	Banana	10,5	CO	67,33	1,42	0,051	0,550	1,72	68,81	87,89	12,76
					RJ	20,18	69,27	0,021	0,770	0,92			
05	125	1000	Batata	10,5	CO	67,43	1,29	0,050	0,520	1,74	61,16	78,56	10,12
					RJ	28,96	56,70	0,030	0,740	1,19			
06	250	1000	Raspa Mandioca Pulverizada*	10,5	AL	45,76	32,57	0,040	0,470	1,21	62,37	89,59	11,23
					CO	66,23	3,38	0,054	0,480	1,74			
					RJ	12,50	80,48	0,011	0,490	0,53			

Verifica-se pela Tabela IV.1 que os amidos provenientes das fontes de araruta, taro e banana verde possuem potencial de utilização para a flotação reversa de minério, utilizando como base o amido de milho (fubá). O mesmo raciocínio pode ser

considerado para a raspa de mandioca (Teste 6). Já o amido proveniente da batata inglesa possui baixa seletividade e recuperação metalúrgica quase 9,0% abaixo do amido de milho. Por esta razão, na continuidade deste trabalho não utilizou-se o amido de batata de batata inglesa.

4.4 – Curva de dosagem de amido de milho

No total foram 10 fontes de amido pesquisadas. Para não estender demasiadamente os ensaios de bancada devido ao custo e tempo, a metodologia adotada para definição dos pontos de dosagem de amido foi balizada em se estudar a curva de cinética de flotação. Nestes testes para determinação da curva de dosagem utilizou-se o amido de milho – fubá – nossa referência.

Os ensaios de flotação em bancada foram realizados no Laboratório do CTF – Miguelão – VALE S/A, conforme procedimento interno – PRO 007875, com a supervisão da Eng^a Delciane Porfiro e do Eng^o Wellington R. Moreira. O condicionamento do amido de milho foi de 5 minutos e a relação amido/soda utilizada foi 10:1. O coletor utilizado foi a amina da Clariant denominada de EDA-C e o tempo de coleta do flotado foi estipulado em 3 minutos. As demais variáveis dos testes é apresentada na Figura 4.2.

A Figura 4.3 mostra a curva de dosagem de amido de amido obtida nos ensaios de flotação conforme variáveis apresentadas na Figura 4.2.

Verifica-se pela figura 4.3 que há uma tendência do aumento de recuperação metalúrgica com o aumento da dosagem do depressor (amido de milho). Porém, observa-se que na passagem dos pontos de 1800g/t para 2000g/t que a recuperação metalúrgica inicia seu processo de estabilização. Para a dosagem de 3000g/t de depressor observa-se uma elevada recuperação metálica próximo de 95%, porém há o comprometimento do concentrado final devido à sílica de 22,64%.

A Tabela IV.2 apresenta numericamente os dados observado na figura 4.3. Observa-se que a partir da dosagem de 1500g/t a sílica no concentrado (SiO_2 Conc) tende a valores considerado alto para um produto (*pellet feed*) tipo exportação. Por exemplo a dosagem de 1800g/t apresentou resultado de sílica de 1,84% que está fora de especificação para um *pellet feed* atender especificações de clientes internacionais.

Parâmetros - Testes de Flotação - Curva de dosagem de amido		
Densidade sólido (calculada)	3,88	(g/cm ³)
Densidade sólido (medida)	3,88	(g/cm ³)
Teor de Fe da Alimentação	45,50	(%)
Teor de SiO ₂ da Alimentação	33,15	(%)
Porcentagem de sólidos	50,00	(%)
Densidade de Polpa	1,59	(g/cm ³)
Volume útil da Cuba	1.250	(ml)
Concentração original do NaOH	5,00	(%)
Umidade da amostra	4,00	(%)
pH de Trabalho	10,50	
Dosagem de Depressor	1.000	g/ton
Dosagem real de Coletor	50,00	g/ton alim.
Dosagem específica de Coletor	150,8	g/ton SiO ₂
Peso da Polpa	1.988	(g)
Peso da amostra seca	993,9	(g)
Peso da amostra úmida	1035,3	(g)
Volume da solução do Depressor	99,4	(ml)
Voluma da solução do Coletor	5,0	(ml)
Volume de H ₂ O a ser adicionada	848,1	(ml)
Tempo de Condicionamento do Depressor	5,0	min
Tempo de Condicionamento do Coletor	1,0	min
Relação amido - soda na gelatinização	10:1	
Depressor	Amido de Milho (fubá)	
Coletor	EDA C	

Figura 4.2 – Variáveis utilizadas nos testes de flotação para definição da curva de dosagem de amido de milho.

Com base nos resultados apresentados na Figura 4.3 e Tabela IV.2 definiu-se por adotar a dosagem de 1500g/t como a dosagem de nível superior para comparação entre as fontes de amido. O ponto inferior escolhido foi a dosagem de 500g/t, pela recuperação metalúrgica próxima de 80%, pois abaixo deste valor considera-se um baixo rendimento metálico principalmente por questões de perda de ferro para o rejeito. Este fato impacta negativamente tanto no aspecto operacional, quanto no aspecto financeiro e principalmente ambiental, pois eleva a massa de material enviada para as barragens de rejeito. Por simples questão de ponto central, média aritmética

entre o intervalo estudado, definiu-se a dosagem de 1000g/t de depressor como o nível intermediário de dosagem para os testes de comparação das fontes de amido.

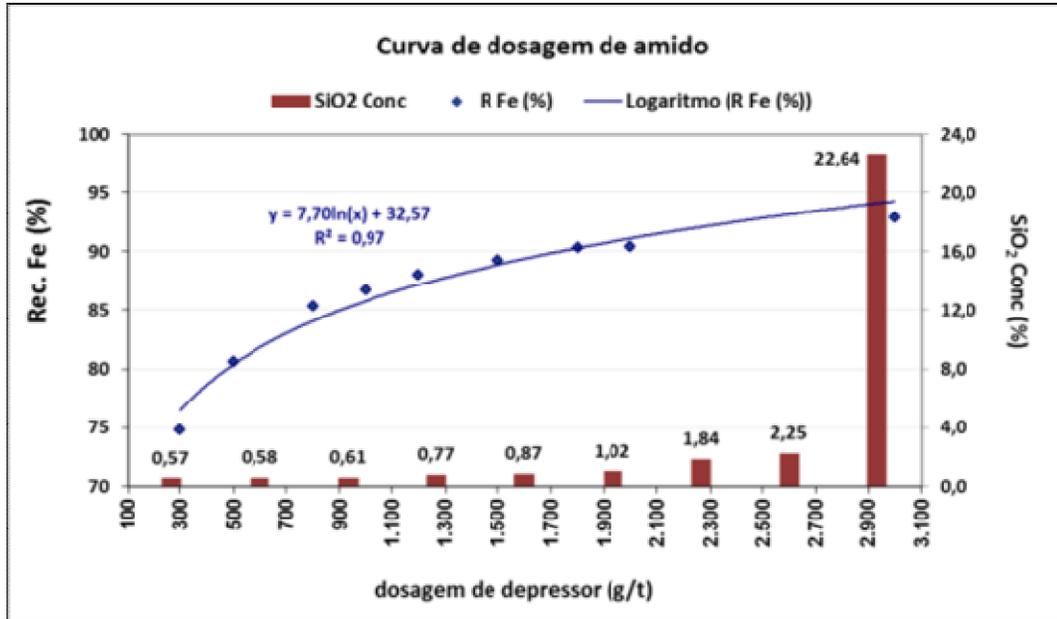


Figura 4.3 - Curva de dosagem de amido de milho (fubá)

Tabela IV. 2 - Resultados obtidos nos testes de flotação em bancada

Teste	pH	Reagentes		RM (%)	SiO ₂ (%) Conc.	IS	CS	Rec. Fe (%)	Fe (%) Rejeito
		depressor (g/t)	coletor (g/t SiO ₂)						
2	10,56	300,00	154,8	50,59	0,57	18,39	72,98	74,81	23,34
3	10,54	500,00	154,8	54,76	0,58	20,24	79,17	80,65	19,73
4	10,53	800,00	154,8	57,81	0,61	22,67	83,86	85,30	15,94
5	10,56	1000,00	154,8	58,88	0,77	21,42	85,10	86,74	14,78
7	10,54	1200,00	154,8	59,41	0,87	21,05	86,47	88,03	13,49
8	10,53	1500,00	154,8	60,95	1,02	20,37	86,79	89,24	12,74
9	10,52	1800,00	154,8	61,97	1,84	16,14	87,17	90,37	11,71
11	10,57	2000,00	154,8	61,91	2,25	14,34	87,15	90,38	11,66
12	10,52	3000,00	154,8	81,27	22,64	3,07	34,65	92,92	17,29

Onde: RM → recuperação em massa, IS → índice de seletividade de Gaudin e CS → coeficiente de separação e Rec. Fe → recuperação metalúrgica.

4.5 – Cinética de flotação

Como o objetivo do trabalho é estudar o comportamento de diferentes fontes de amido em relação ao minério selecionado, a curva de cinética de flotação é a forma correta de se determinar o tempo necessário para que a flotação de quartzo (SiO_2) na flotação reversa de minério de ferro ocorra sem interferência nos resultados.

Por exemplo, se os testes de flotação fossem conduzidos em bancada até a exaustão da espuma, certamente haveria interferência nos resultados que prejudicariam as definições futuras. As principais interferências são: influência do fator de residência, coleta desnecessária de ferro no flotado devido a possibilidade de arraste hidrodinâmico, desestabilização da camada de espuma devido ao consumo do coletor amina, pois não utilizou-se um espumante nos testes de bancada, entre outros.

A Figura 4.4 apresenta o gráfico de cinética de flotação do quartzo (SiO_2) obtido após teste de bancada de flotação, onde a massa de flotado foi coletada de 20 em 20 segundos. O ensaio de cinética de flotação e a preparação da solução de amina e das suspensões de amido foram realizados no Laboratório da CTF – Miguelão – VALE S/A, conforme procedimento interno – PRO 007875 e com a supervisão da Eng^a Delciane Porfiro e do Eng^o Wellington R. Moreira. A dosagem de amido de milho (depressor) estabelecida foi a de 1.000g/t, que é o ponto médio definido, conforme o item 4.4.

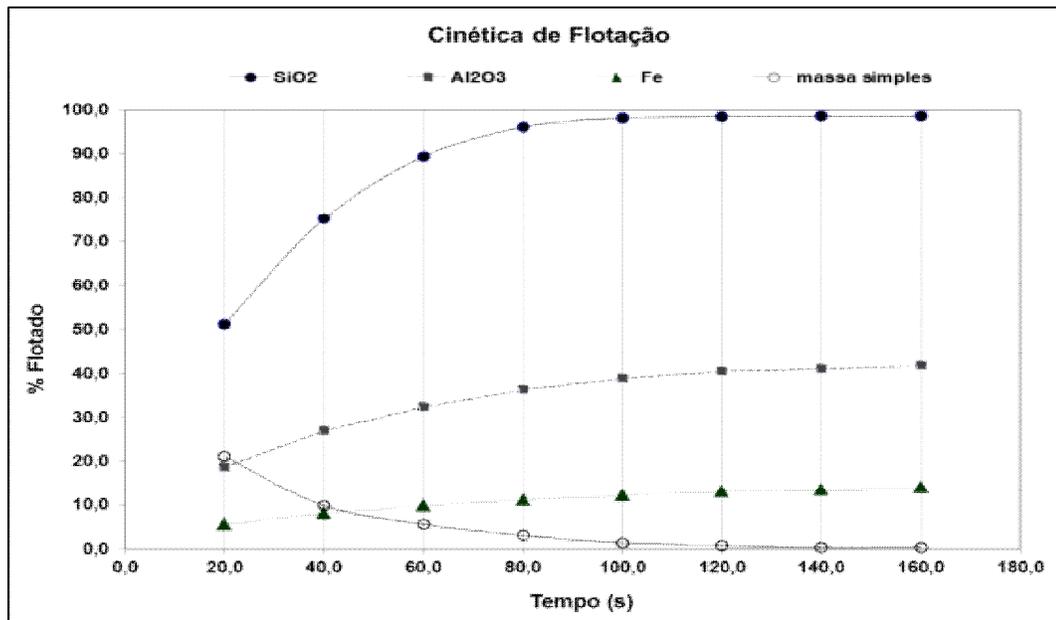


Figura 4.4 - Cinética de flotação com amido de milho (fubá).

Pela figura 4.4 decidiu-se por adotar nos ensaios de flotação com as diferentes fontes de amido o tempo de flotação de 100 segundos (100s), pois a partir deste momento, verifica-se que a recuperação de quartzo (SiO₂) para o flotado é máxima com o mínimo de teor de ferro associado a este fluxo.

4.6 – Fontes de amido – definição e rastreabilidade

Conforme o site da Conab – Companhia Nacional de Abastecimento – ligado ao Ministério da Agricultura, as fontes mais comuns de amido alimentício são o milho, a batata, o trigo, a mandioca e o arroz. Sendo que o milho é cultivado em climas mais temperados, e 40% da produção mundial provêm dos EUA. A batata é cultivada em zonas de climas mais frios e úmidos, como a Europa e a Rússia, regiões responsáveis por cerca de 70% de seu cultivo. A batata é nativa dos Andes peruanos e foi levada pela primeira vez à Europa na metade do século XVI, pelos colonizadores espanhóis. O trigo cresce em várias partes do globo, principalmente Europa, América do Norte e nos diversos países que constituíam a antiga URSS. É conhecido desde os tempos pré-históricos. Seu uso principal é na forma de farinha, para fazer o pão. Já a mandioca é cultivada em uma faixa tropical ampla perto que circunda a linha do Equador. Geralmente é classificada como *Manihot esculenta* ou *Manihot aipi*. Sua composição média é de 70% de umidade, 24% de amido, 2% de fibras, 1% de

proteína e 3% de outros compostos. A Tailândia e o Brasil são grandes produtores. E aproximadamente 90% da produção mundial de arroz são oriundas do Sul e Sudeste da Ásia, onde tem sido cultivado há mais de 7.000 anos. Na China, tem-se evidências de seu cultivo desde 5.000 a.C e na Tailândia desde 6.000 a.C. O arroz comum é chamado de *Oryza sativa*. Normalmente, o arroz é classificado em função do comprimento de seu grão: curto (< 5mm), médio (5mm a 6mm) e longo (> 6mm).

Dentre as várias fontes literárias pesquisadas pode-se destacar como principais fontes de amido: o milho, o arroz, a soja, o sorgo, a mandioca, o taro (vulgo cará), a batata e a banana verde. As produções (safras) destas fontes são acompanhadas pelo Ministério da Agricultura através da Conab. Outras fontes de amidos de destaque são o inhame, a batata doce, a batata baroa, o biri, a araruta, o jacatupé entre outros tuberosos.

Entre as possíveis fontes de amido pesquisadas, o arroz e soja, foram excluídos do estudo, pois a produção destes é quase na sua totalidade para o consumo humano e agronegócios, ao contrário das outras fontes que mesclam sua utilização na indústria alimentícia, farmacêutica, agronegócios, cervejeiras, entre outros.

Para garantir a rastreabilidade e procedência das diferentes fontes de amido estudadas foi feita uma parceria com os órgãos públicos Embrapa Hortaliças-DF através do Pesquisador Nuno Rodrigo Madeira e Emater – MG através do Coordenador Estadual de Olericultura Georgeton S. R. Silveira (Emater-MG). Nos Anexos 1 e 2, são apresentadas as cartas de declaração entre a parceria para fornecimentos das farinhas de diferentes fontes de amido.

A fonte de amido proveniente do cereal sorgo foi eliminada do estudo, apesar de apresentar grande potencial, pois no momento da parceria, tanto Emater – MG e quanto a Embrapa Hortaliças – DF não desenvolviam trabalhos ligados ao sorgo.

Por questões técnicas de cultura pouco difundida, conforme profissionais da Embrapa Hortaliças - DF e Emater - MG, as fontes de amido provenientes do biri, jacatupé, entre outras tuberosas também foram excluídas.

Por questões óbvias e ditas anteriormente, definiu-se como a fonte de referência o amido de milho (fubá de milho). Praticamente, todas as plantas de flotação de minério de ferro utilizam o fubá de milho como principal insumo responsável pela depressão dos óxidos de ferro. E no caso, da fonte de amido proveniente mandioca, decidiu-se por utilizar a raspa de mandioca fornecida pela Embrapa – BA. A raspa de mandioca que já estava sendo estudada e desenvolvida sua utilização pela Eng^a. Vânia Andrade nos processos de flotação de minério de ferro da VALE S/A.

Na Tabela IV.3 verifica-se alguns índices de referência para diferentes fontes de amido. Observa-se pela Tabela IV.3, que as principais características dos grânulos das diferentes fontes de amido são muito próximas as características do grânulo do amido de milho. Assim decidiu-se por estudar as diferentes fontes de amido provenientes das seguintes fontes botânicas: taro, inhame, batata baroa ou mandiocinha salsa, fração aérea ou coroa da mandiocinha salsa, araruta, banana verde e batata doce.

Neste estudo, o fubá (amido de milho) utilizado foi na unidade operacional de Vargem Grande (planta de concentração por flotação) e o produto amido ceroso ou *waxy*, que possui em sua constituição amilácea aproximadamente 95% de amilopectina e 5% de amilose. Este amido *waxy* foi fornecido pela Corn Products do Brasil. Vide Anexo 3.

Tabela IV.3 – Características dos grânulos de amido de diferentes fontes botânicas

Tipo de Amido	AML (%)	AMP (%)	Relação AML/ AMP	Temp. Gelatiniz. (°C)	d _φ médio do Grão (μm)	Viscosidade (RVU)	Retrogradação (RVU)
Milho	25	73	0,34	70	14	136	44
Batata doce	18	80	0,23	68	15	132	37
Baroa	15	83	0,18	62	20	117	27
Araruta	20	78	0,26	72	28	113	39
Mandioca	22	76	0,29	70	16	65	23
Inhame	21	77	0,27	75	33	71	19
Taro	11	84	0,13	70	9	29	9
Banana	18	80	0,23	65	11	---	---
Amido Ceroso	3	95	0,03	72	7	400	---
Batata Inglesa	23	75	0,31	63	8	---	---
Sorgo	20	78	0,26	71	15	---	---

AML - Amilose, AMP - Amilopectina

Fonte: DAIUTO (2005)

A Embrapa Hortaliças – DF forneceu as farinhas das seguintes fontes botânicas: mandioquinha salsa da espécie branca (vulgo baroa), fração aérea ou coroa da mandioquinha salsa espécie branca, taro (vulgo cará) da espécie japonês e inhame da espécie São Tomé.. É interessante relatar que a fração aérea da mandioquinha salsa é atualmente um resíduo do cultivo desta tuberosa. Estas fontes de amido foram entregues na forma de farinha (tipo farinha de mandioca), conforme Anexo 1.

A Emater – MG forneceu as seguintes fontes botânicas: banana verde da espécie caturra coleta na fazenda do Sr. Geraldo em Nova União - MG, a araruta da espécie seta foi coletada no sítio dos Bernades de propriedade do Sr. Assede Gonçalves Oliveira localizado no município de Juiz de Fora e a batata doce espécie branca coletada na propriedade do Sr. Gerson localizada no município de Belo Vale - MG, conforme Anexo 2. As farinhas destas fontes botânicas foram preparadas no Laboratório de Tratamentos de Minério do DEMIN/UFMG. O procedimento deste preparo é descrito no item 4.7. Todos os agricultores citados acima participam do programa desenvolvido pela Emater – MG sob o nome de Agricultura Familiar.

4.7 – Fontes de amido – preparação das farinhas

A preparação de farinhas é um método antigo para conservação de alimentos. Fazem parte da preparação de farinhas artesanal a secagem e a desidratação. Tanto a secagem quanto a desidratação consistem na retirada da umidade do alimento até o ponto em que ele não se estrague com facilidade, pois a redução da água dificulta o crescimento dos microrganismos.

A secagem para os alimentos se caracteriza pela perda parcial da água, sendo que o teor de umidade final do produto fica entre 12 a 25%. Na desidratação acontece perda quase total da água, ficando a umidade final do produto em torno de 3%.

Ambos, secagem e desidratação, podem ocorrer de forma natural ou artificial. A natural é a remoção da umidade através da exposição do produto ao sol. A artificial exige o uso de equipamentos específicos, com o controle da temperatura, da umidade e da velocidade do ar.

A secagem de vegetais para a produção de farinhas é uma tecnologia simples, mas como todo processamento artesanal exige cuidados especiais na sua realização para

garantir um produto final de qualidade. A aplicação das boas práticas de fabricação é um dos cuidados fundamentais e deve acontecer durante todo processo de produção: seleção da matéria-prima, pré-lavagem, sanitização, corte/preparo do produto, tempo e temperatura de secagem, resfriamento, uniformização do produto, embalagem e estocagem.

Outro ponto importante a ser observado é a temperatura de secagem, que se for muito baixa pode ressecar a parte externa, formando uma película no produto, o que dificulta a saída da água, pois a secagem acontece de fora para dentro do vegetal (tuberosas).

A temperatura de secagem recomendada para as fontes botânicas tuberosas é de 60 a 65°C. Recomenda-se secar juntos apenas produtos com o mesmo teor de umidade e tamanho. Não interromper a secagem porque pode provocar a fermentação dos vegetais e nem acondicionar em vasilhames fechados.

Um cuidado importante é fazer o pré- aquecimento do secador ou estufa, que deve ser ligado, permanecendo fechado até atingir a temperatura de 70°C. Só então deve-se colocar o produto para secar e a uniformização dos produtos é importante para evitar que alguns fiquem mais secos do que os outros. O resfriamento deve ser feito no próprio secador, onde os produtos devem permanecer, somente com a ventilação ligada, até que a temperatura interna se iguale a temperatura externa, para evitar que os produtos absorvam umidade do ar ambiente.

Seguiu-se os procedimentos descritos abaixo para a produção das farinhas de banana verde, batata doce e araruta, oriundas da Emater – MG:

- Selecionou-se no caso da batata doce e araruta as melhores raízes tuberosas e no caso da banana os melhores frutos (praticamente os perfeitos);
- No caso da araruta retirou-se a casca denominada de palha e posteriormente lavou-se as raízes tuberosas em água corrente para retirada de terra e insetos e colocou-se para secar para retirada do excesso de água. Após prévia secagem as raízes das tuberosas foram cortadas em forma de “rodela”, conforme mostra a Figura 4.5.

- Mergulhou-se os frutos de banana verde em água quente (~80°C), para facilitar a retirada da casca e depois cortou-se os frutos em forma de “rodelas”, conforme mostra a Figura 4.5.
- Colocou-se tanto “rodelas” de batata doce, araruta e banana verde em bandejas separadas e levou-se à estufa pré-aquecida á temperatura de 70°C.
- deixou-se secar em estufa regulada a 65°C por aproximadamente 24 horas com a saída de vapor interna aberta.
- Cada fonte de amido foi secada separadamente e resfriou-se gradualmente.
- Após os produtos da secagem foram levados ao moinho de panela por 1 minuto para cominuição e obtenção das farinhas.



Figura 4.5 – Preparação das farinhas de banana, batata doce e araruta.

4.8 – Ensaios de flotação com as diferentes fontes de amido

Os ensaios com as diferentes fontes de amido foram realizados no Laboratório de Tratamento de Minérios do DEMIN/UFMG. A metodologia dos testes foi realizada conforme os seguintes itens:

4.8.1 – Preparação das suspensões de amido gelatinizado e da solução de amina

- i) A solução de amina foi preparada a 1% (p/v). Utilizou-se um balão volumétrico de vidro 250ml. Este balão foi tarado e adicionou-se de amina (EDA –C) internamente no balão até acusar o peso 2,5g. Conforme fornecimento da Clariant, a amina encontra-se a 100%. Após pesagem do coletor adicionou-se água destilada até a marca de 250ml cravada no balão, utilizando o menisco inferior (líquido transparente). Após estas medidas introduziu-se dentro do balão o imã magnético e colocou-se a solução para agitar e homogeneizar durante 20 minutos em agitador magnético. Este procedimento foi repetido diariamente, ou seja, a solução de amina foi preparada dia após dia durante os ensaios de flotação em bancada.

- ii) As suspensões de amido gelatinizado foram preparadas com relação amido/soda de 10:1. Em um béquer de 1,25 litros colocou-se 100 ml de água destilada à temperatura ambiente e colocou-se para agitar em um agitador mecânico. Então pesou-se 10 gramas de amido (farinha) e adicionou-se aos poucos este amido no béquer com água em agitação tomando o cuidado para não “encaroçar” devido a granulometria fina das farinhas. Após adicionar todo o amido, condicionou-se esta suspensão por 5 minutos. Após este prévio condicionamento, adicionou-se 1 grama de soda cáustica em lentilha (NaOH a 100%) e deixou-se condicionar por mais 10 minutos. Considerou-se a densidade do amido em $0,65\text{g/cm}^3$. Desta forma o volume de amido equivale a 15ml. Como a concentração foi de 1% (massa/volume), o restante da água destilada para completar o volume de 1 litro, ou seja, 885ml, foi aquecido em forno micro-ondas até atingir a temperatura de 90°C. Após 10 minutos de condicionamento do amido com a soda cáustica (NaOH), adicionou-se os 885ml de água destilada aquecida à temperatura de 90°C, conferida via termômetro e condicionou-se a suspensão por mais 20 minutos. Desta forma,

garantiu-se a completa gelatinização das farinhas das diferentes fontes de amido.

A Figura 4.6 apresenta como exemplo a suspensão de amido de banana verde gelatinizado a 1% após conforme metodologia descrita acima. Verifica-se também na Figura 4.6 a solução de amina preparada a 1%.

Para regular o pH, quando necessário, utilizou-se soluções de ácido acético e soda cáustica preparadas na concentração de 10%.



Figura 4.6 – Suspensão de amido de banana verde gelatinizado e solução de amina.

4.8.2 – Ensaio de flotação em bancada

Os ensaios de flotação em bancada foram realizados na célula de bancada da CDC, que possui raspagem de flotado automatizada e controle de ar através de manômetro, conforme mostra a Figura 4.7.

Para padronizar os ensaios de flotação em bancada foi necessário definir o volume exato de trabalho da polpa, o percentual de sólidos da polpa, a rotação da célula e a vazão de ar.

A primeira variável definida foi o percentual de sólidos (%S). Tomou-se como base de trabalho o percentual de sólidos de trabalho de 50%, visto que a grande parte das operações de flotação trabalha próxima a este percentual.



Figura 4.7 – Célula de flotação em bancada da CDC – Laboratório DEMIN/UFMG

Em seguida através da simples adição de água na cuba de flotação, esta foi levada à operação na célula de flotação onde a rotação do rotor foi testada. Verificou-se após vários testes que a melhor combinação rotação e volume testada foi para o volume de 1100ml com a rotação de 1000rpm. Nestes testes a vazão de ar foi mantida a 4 litros por minuto.

Após realizou-se o teste acima com o minério compondo uma polpa de 50% e verificou-se que a rotação de 1000rpm era excessiva nestas condições. Desta forma ajustou-se a rotação para patamares menores e verificou-se que a melhor rotação foi a de 950rpm, para um volume de polpa de 1100ml com o percentual de 50%.

Para validar as variáveis acima e definir a vazão de ar, realizou-se 4 (quatro) testes expeditos de flotação em bancada. Nestes 4 testes expeditos utilizou-se a vazão de ar nas seguintes condições: 25μbar, 35μbar, 45μbar e 55μbar. As demais condições dos testes expeditos foram: % sólidos de 50%, volume de polpa de 1100ml e rotação de 950rpm, com dosagem de amido e amina, respectivamente 1000g/t e 154g/t SiO₂. O pH adotado foi 11,0.

A Figura 4.8 apresenta as curvas de recuperação metalúrgica - Rec.Fe (%) - e sílica no concentrado - SiO₂ - em função da variação da vazão de ar.

Pela Figura 4.8 verifica-se que a vazão de ar de 55μbar mostrou a melhor recuperação metalúrgica com a sílica no concentrado dentro de patamares aceitáveis para uma produção de *pellet feed*.

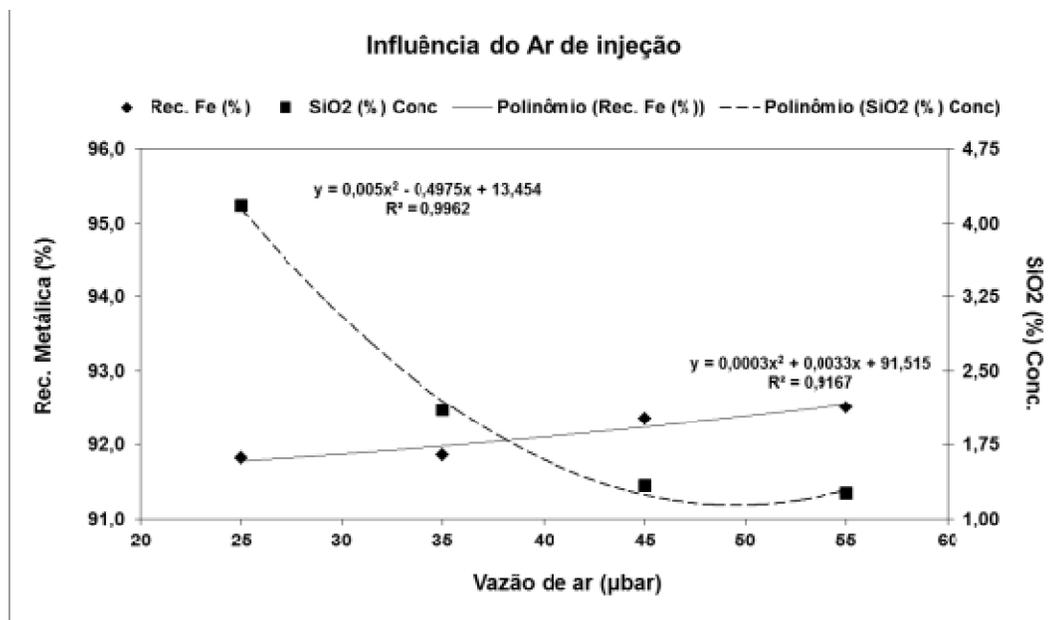


Figura 4.8 – Definição da vazão de ar para os testes de flotação em bancada.

A partir da definição das variáveis supracitadas padronizou-se os ensaios de flotação de bancada para o estudo das diferentes fontes de amido. A Figura 4.9 apresenta o esboço da planilha que foi utilizada nos ensaios. Ressalta-se que apenas as dosagens de amido e o tipo da fonte foram alterados a cada teste.

Desta forma os ensaios de flotação foram realizados conforme os procedimentos descritos abaixo:

- i) A cada ensaio verificou-se as condições de limpeza da cuba, estator e célula de bancada, posicionou-se a cuba e baixou-se o estator até o limite final;
- ii) Adicionou-se na cuba, a massa de minério e de água destilada, ligou-se a célula de flotação e regulou-se a rotação do rotor em 950rpm evitando a turbulência, deixou-se condicionar por 3 minutos e após mediu-se o pH inicial da polpa e anotou-o;
- iii) Adicionou-se na cuba a massa de suspensão de depressor, condicionando por 5 minutos;
- iv) Nos ensaios com dosagem de 1500g/t de depressor, foi necessário ajustar o pH da polpa para 11,0 com ácido acético a 10%;
- v) Após condicionamento do depressor (5minutos), adicionou-se na cuba a massa de solução de coletor, observando o tempo de condicionamento (1 minuto);
- vi) Posicionou-se o recipiente para coleta do rejeito e abriu-se a válvula de aeração e iniciou-se a coleta do material flotado com o auxílio de pás mecânicas automáticas;
- vii) Posicionou-se o recipiente para coleta do rejeito e abriu-se a válvula de aeração e iniciou-se a coleta do material flotado foi realizada com o auxílio de pás mecânicas automáticas;
- viii) O nível de polpa na cuba foi mantido com a adição 500ml de água destilada sempre que necessário. Essa reposição foi manual utilizando uma piceta de 500ml durante os primeiros 60s de flotação;
- ix) A flotação foi realizada com o tempo de 100s e ao finalizar a coleta, mediu-se o pH final da polpa e anotou-o;

- x) Retirou-se a espuma aderida à cuba e ao eixo do estator, incorporando-a ao rejeito da flotação e acondicionou-se em recipientes devidamente identificados, o concentrado e rejeito, gerados na flotação;
- xi) Os produtos (concentrado e rejeito) foram enviados para filtração, secagem e posterior preparação para análise em fluorescência de raios X (FRX).



Ensaios de Flotação em Bancada
Parâmetros para Flotação



Projeto	Fontes de amido aplicáveis à flotação reversa de minério de ferro	Data	01/12/11
Amostra	Projeto Itabirito Mariana		
Responsável	Prof. Luiz Cláudio / Wellington R. Moreira		
Amostra	Araruta		
TESTE 19			
Densidade sólido	3,88	(g/cm ³)	
Densidade sólido (medida)	3,88	(g/cm ³)	
Teor de Fe da Alimentação	45,33	(%)	
Teor de SiO ₂ da Alimentação	33,15	(%)	
Porcentagem de sólidos	50,0	(%)	
Densidade de Polpa	1,59	(g/cm ³)	
Volume útil da Cuba	1.100	(ml)	
Rotação	950	(rpm)	
Concentração da solução de amido	1,0	(%)	
Umidade da amostra	1,0	(%)	
Dosagem de Amido	1.500	g/ton	
Dosagem real de Amina	51,05	g/ton alim.	
Dosagem específica	154	g/ton SiO ₂	
Peso da Polpa	1.749,2	(g)	
Peso da amostra seca	875	(g)	
Peso da amostra úmida	883,4	(g)	
Peso da solução de amido	131,2	(g)	
Peso da solução de amina	4,5	(g)	
Peso de H ₂ O a ser adicionada	730,1	(g)	
Tempo de Condicionamento do Amido	5,0	(min)	
Tempo de Condicionamento da Amina	1,0	(min)	
Relação amido - soda	10:1		
Depressor	Araruta		
Coletor	EDA-C		
pH de Trabalho	11,00		
Coleta de dados			
pH Inicial	7,44		
pH Condicionamento	11,50		
pH Final	10,93		
Tempo de Coleta	100	(s)	
Massa Inicial	875	(g)	
Massa do afundado (W37)	549,8	(g)	
Massa de flotado (W38)	320,6	(g)	
Observações:			
1 - Vazão do ar calibrada em 55 mbar ou 6 l/min			
2 - verificar calibração do pHmetro diariamente			
3 - H ₂ O de adição calibrada em pH 11,0			
4 - Preparação de reagentes e polpa para flotação com água destilada			
5 - Adicionado Acido acético e NaOH p/ regular pH 11,05			

Figura 4.9 – Planilha de acompanhamento do teste de flotação em bancada.

5 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da amostra

5.1.1 Análise Granulométrica

Os resultados das análises granulométricas realizada via peneiramento é apresentado na Tabela V.1. Na Figura 5.1 identifica-se a curva de distribuição granulométrica da amostra tal qual e também identifica-se a distribuição granulométrica corrigida pelo modelo de Rosin-Ramler.

Pela Tabela V.1 e Figura 5.1 observa-se que a granulometria da amostra encontra-se toda abaixo da fração de 0,210mm e com um percentual passante acumulado na malha de 0,038mm de aproximadamente 30%.

Tabela V.1 – Distribuição granulométrica da amostra

GRANULOMETRIA CORRIGIDA - ROSIN RAMLER						
Alimentação					Rosin Ramler	
Malha (µm)	Log Malha	% Ret.	% Ac.	%Pass.	Log % Pass Ac	% Pass Ac. Calc
19.000	4,28	0	0	100,0	1,316	100,00
16.000	4,20	0	0,00	100,0	1,316	100,00
10.000	4,00	0	0,00	100,0	1,316	100,00
5.000	3,70	0	0,00	100,0	1,316	100,00
2.000	3,30	0	0,00	100,0	1,316	100,00
1.000	3,00	0	0,00	100,0	1,316	100,00
500	2,70	0	0,00	100,0	1,316	100,00
210	2,32	0	0,00	100,0	0,964	99,62
150	2,18	7,91	7,91	92,10	0,404	96,04
106	2,03	16,49	24,39	75,61	0,149	84,09
75	1,88	13,87	38,26	61,74	-0,017	64,94
53	1,72	13,34	51,59	48,41	-0,179	44,93
45	1,65	9,29	60,89	39,11	-0,304	36,71
38	1,58	9,73	70,61	29,39	-0,458	29,37
- 38	---	29,39	100,0	---	---	---
		Rosin Ramler				
44,00	16,49	coef.angular=		1,62	coef.corr.= 0,99	
20,00	98,51	coef.linear=		-3,02	d₈₀ (µm) = 98	
d₈₀ (µm) =	99				d₅₀ (µm) = 58	

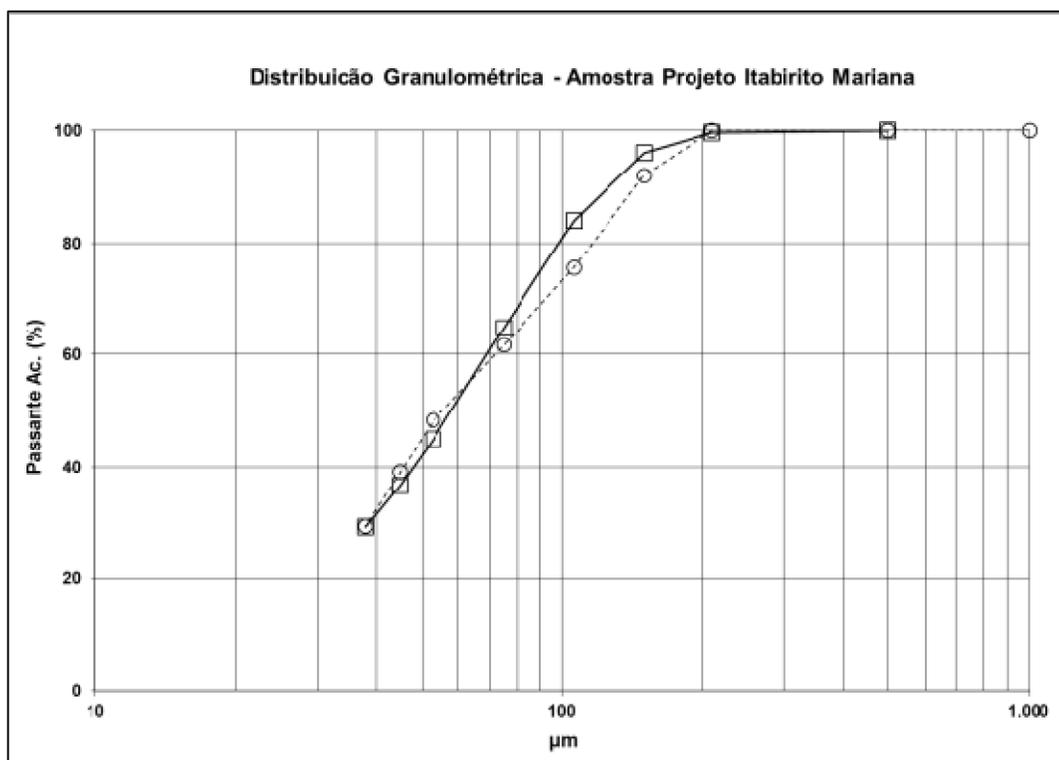


Figura 5.1 – Curva de passante acumulado da amostra tal qual e corrigida.

5.1.2 Análise química por fluorescência de raios-X

A amostra foi analisada em relação aos teores químicos dos seus elementos. Após a análise granulométrica, as massas retidas em cada fração foi amostra, homogeneizada, quarteada, pulverizada e enviada para análise química. Os resultados da análise química por faixa são apresentados na Tabela V.2.

Tabela V.2 – Resultados dos elementos químicos por faixa (granuloquímica)

Malha (µm)	% Ret Simples	% Ac. Simples	Fe (%)	SiO ₂ (%)	P (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Mn (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	PPC (%)	F.Q. (%)
150	7,91	88,04	42,05	37,72	0,046	0,25	0,046	0,005	0,013	0,019	1,57	99,86
106	16,49	82,78	32,70	51,48	0,032	0,20	0,031	0,003	0,012	0,056	1,10	99,72
75	13,87	76,73	32,48	52,55	0,029	0,16	0,025	0,007	0,011	0,027	0,93	100,22
53	13,34	70,12	45,73	33,3	0,032	0,19	0,026	0,016	0,012	0,030	0,98	100,02
45	9,29	66,89	38,82	44,09	0,031	0,16	0,025	0,007	0,011	0,019	0,95	100,84
38	9,73	63,53	53,18	21,95	0,033	0,21	0,029	0,02	0,013	0,033	1,00	99,37
- 38	29,39	-	61,80	9,64	0,04	0,36	0,039	0,04	0,015	0,039	1,23	99,82
Total	100,00	---	46,26	32,26	0,035	0,24	0,032	0,018	0,013	0,035	1,11	99,94

A Figura 5.2 apresenta a análise química por faixa em modelo gráfico retirada da Tabela V.2.

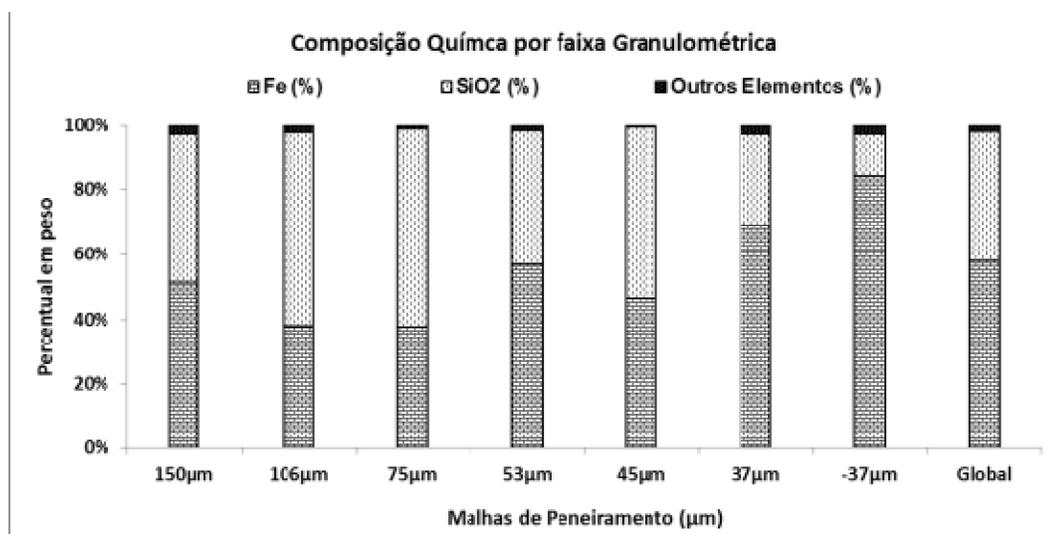


Figura 5.2 – Análise química por faixa granulométrica

Realizou-se também análise química global dos elementos químicos da amostra. Os resultados são apresentados na Tabela V.3.

Tabela V.3 – Análise química global via FRX da amostra de minério

Análise Química Global - FRX									
Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO	PPC	F.Q. (%)
45,33	33,15	0,032	0,40	0,026	0,034	0,005	0,011	1,10	99,62

Verifica-se nas Tabelas V.2 e V.3 que a amostra trata-se de um itabirito pobre com baixo teor de ferro, com um ligeiro aumento do teor nas faixas granulométricas mais finas. Nota-se que os principais contaminantes, alumina, fósforo são relativamente baixo. O percentual de PPC também é baixo o que pode indicar que a amostra praticamente não possui minerais hidratados. A sílica encontra-se em patamares aceitáveis para um minério itabirítico.

5.1.3 Mineralogia

O resultado global da composição mineralógica por faixa é apresentado na Tabela V.4. Nota-se pela Tabela V.4 o alto grau de liberação do mineral quartzo em todas as faixas granulométricas e a predominância de hematitas martítica e compacta na amostra.

Tabela V.4 – Análise mineralógica

Amostra Mestrado Wellington Moreira	Quantificação Mineralógica																					
	HE	HL	HG	HMic	HS	HC's	HM	MA	GAnf	GAlv	GMac	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	MI	OT	PO	GL
AL FLOT	5,62	3,90	4,06	0,00	4,19	17,77	32,90	7,17	0,000	0,00	8,17	8,17	1,83	31,55	0,58	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	6,44	98,21
+ 0,150mm	0,00	0,25	3,60	0,00	5,76	9,61	38,13	5,22	0,000	0,00	7,28	7,28	1,07	38,24	0,30	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	7,41	99,21
+ 0,106mm	0,55	0,37	3,08	0,00	4,06	8,07	32,48	3,36	0,00	0,00	3,88	3,88	0,98	50,97	0,20	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	7,84	99,61
+ 0,075mm	1,18	1,30	4,09	0,00	4,80	11,37	29,99	3,98	0,00	0,00	2,96	2,96	0,71	50,81	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	6,76	99,83
+ 0,045mm	7,14	22,46	12,63	0,00	0,00	42,23	14,33	4,25	0,00	0,00	3,43	3,43	1,12	34,40	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	6,82	99,83
+ 0,038mm	0,70	25,40	10,28	0,00	0,00	36,39	28,40	8,41	0,00	0,00	4,75	4,75	1,93	20,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	3,25	99,70
- 0,038mm	0,39	54,92	13,91	0,00	0,00	69,21	11,97	3,61	0,00	0,00	3,22	3,22	2,01	9,98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	99,93
HE = Hematita especular HMic = Hematita microcristalina GAnf = Goethita anfibolítica GT = Goethita terrosa CA = Caulinita PO = Porosidade HL = Hematita lamelar HC's = Hematitas compactas GAlv = Goethita alveolar QL = Quartzo livre GB = Gibbsita GL = Grau de Lib. do QZ HG = Hematita granular HM = Hematita martítica GMac = Goethita maciça QM = Quartzo misto MI = Mica HS = Hematita sinuosa MA = Magnetita GO = Goethita MN = Óxido de manganês OT = Outros minerais																						

5.2 Testes de Flotação em bancada

No total foram realizados 75 testes de bancada de flotação para se compor os gráficos expostos nas Figuras 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6. Nestes gráficos são apresentadas as médias obtidas entre dois ensaios (original e réplica ou tréplica) de cada índice avaliado. Foi necessário realizar 15 testes para substituir a réplica, pois o índice $\text{SiO}_{2\text{Conc}}$ (sílica no concentrado) mostrou grande variabilidade necessitando das tréplicas para confirmação. No Anexo 4 são apresentadas as tabelas com seus respectivos resultados que originaram as Figuras 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6.

Cabe aqui lembrar e para não ficar repetitivo que todas as considerações e análises realizadas nesta dissertação referem-se à amostra de minério testada: alimentação da flotação do projeto Itabiritos Mariana da Vale.

A Figura 5.3 apresenta o gráfico da recuperação metalúrgica em função dos tipos de amido e das dosagens utilizadas. Nota-se que para todas as fontes de amido testadas ocorre um ganho de recuperação metalúrgica com o aumento da dosagem de 500g/t para 1500g/t.

O desvio padrão associado à medida da recuperação metalúrgica foi de aproximadamente 1% (0,97%), conforme apresentado na Tabela V.5. Considerou-se este valor como 1% para facilitar as análises.

Para a dosagem de 1500g/t nota-se pela Figura 5.3 que os amidos de raspa de mandioca, araruta, baroa branca ou mandiоquinha salsa, fração aérea da baroa branca (coroa), batata doce e banana verde tiveram recuperação metalúrgica- RFe(%) similar ao fubá de milho, quando tomados em valores absolutos associando o desvio padrão de 1%. Já os demais fontes de amido tiveram a RFe(%) pouco abaixo quando comparado à RFe(%) do fubá de milho.

Para a dosagem de 1000g/t nota-se pela Figura 5.3 que as farinhas (os amidos) de raspa de mandioca, baroa branca, coroa da baroa branca e araruta possuem uma RFe(%) superior ao fubá de milho e demais fontes de amido. É importante observar que comparando a RFe(%) + 1% (desvio padrão) para a dosagem de 1000g/t a RFe(%) – 1% (desvio padrão) para a dosagem de 1500g/t, tem-se praticamente a mesma RFe(%), diferindo entre si apenas pelo tipo de amido.

Considerando raciocínio exposto no paragrafo acima e tomando as RFe(%) obtidas pelas farinhas de raspa de mandioca, baroa branca, coroa da baroa branca, araruta e fubá de milho nota-se que a RFe(%) tanto para a dosagem de 1500g/t e 1000g/t fica em torno de 91,0%. Assim, pode-se induzir que existe um ponto de saturação de dosagem de amido, e que a partir deste determinado ponto não existe mais efeito significativo do aumento da RFe(%) em função do aumento da dosagem.

Para a dosagem de 500g/t nota-se pela Figura 5.3 que as farinhas (os amidos) de araruta, baroa branca e banana tiveram a RFe(%) superior ao fubá de milho, quando tomados em valores absolutos. Já as demais farinhas (amidos) tiveram a RFe(%) similar ao fubá de milho

A Figura 5.4 apresenta o gráfico da sílica obtida nos concentrados em função dos tipos de amido e das dosagens utilizadas. Nota-se que para as fontes de amido de milho e mandioca na dosagem de 1.500g/t de depressor, o teor de sílica no concentrado fica fora de especificação para a produção de um *pellet feed* tipo redução direta, ou seja, acima de 1,5% de SiO₂ no concentrado (SiO_{2Conc}).

Para as demais dosagens e fontes de amido, a SiO_{2Conc} apresentaram valores abaixo de 1,3%. O desvio padrão para sílica no concentrado conforme Tabela V.5 foi de 0,73%.

A Figura 5.5 apresenta o gráfico do teor de ferro obtido no flotado (rejeito) em função dos tipos de amido e das dosagens utilizadas. Nota-se que para todas as fontes de amido de testadas o teor de ferro para o flotado reduz significativamente com o aumento da dosagem.

Pela Figura 5.5 destacam-se os baixos teores de ferro no rejeito para a dosagem de 1.500g/t e principalmente para os amidos de raspa de mandioca, araruta, baroa branca, fração aérea da baroa branca e a batata doce. O teor de ferro de 9,30% ± 0,96 para o amido de milho na dosagem de 1.500g/t fica mascarado pelo teor de SiO₂ no concentrado de 2,60% ± 0,73%, ou seja, houve forte atuação do amido de milho como depressor impactando na depressão do quartzo.

A Figura 5.6 apresenta o gráfico do índice de seletividade de Gaudin (IS) obtido para cada tipo de amido e de dosagem utilizada. A exceção da dosagem de 1500g/t para a farinha de baroa branca e farinha de batata doce, verifica-se que os melhores IS são encontrados na dosagem de 1000g/t. Mais um indicativo da saturação de dosagem de amido.

Devido o IS ser dependente dos resultados de ferro no concentrado e rejeito, e de sílica no concentrado e rejeito, verificou-se pela Tabela V.5 um desvio padrão de 3,96%. Ainda pela Tabela V.5 verifica-se que seu coeficiente de variação foi de aproximadamente 30%.

Os menores IS são observados para a dosagem de 1500g/t para os amidos de milho (fubá) e para a farinha de raspa mandioca. Possivelmente devido à depressão da sílica para o concentrado, conforme a Figura 5.4.

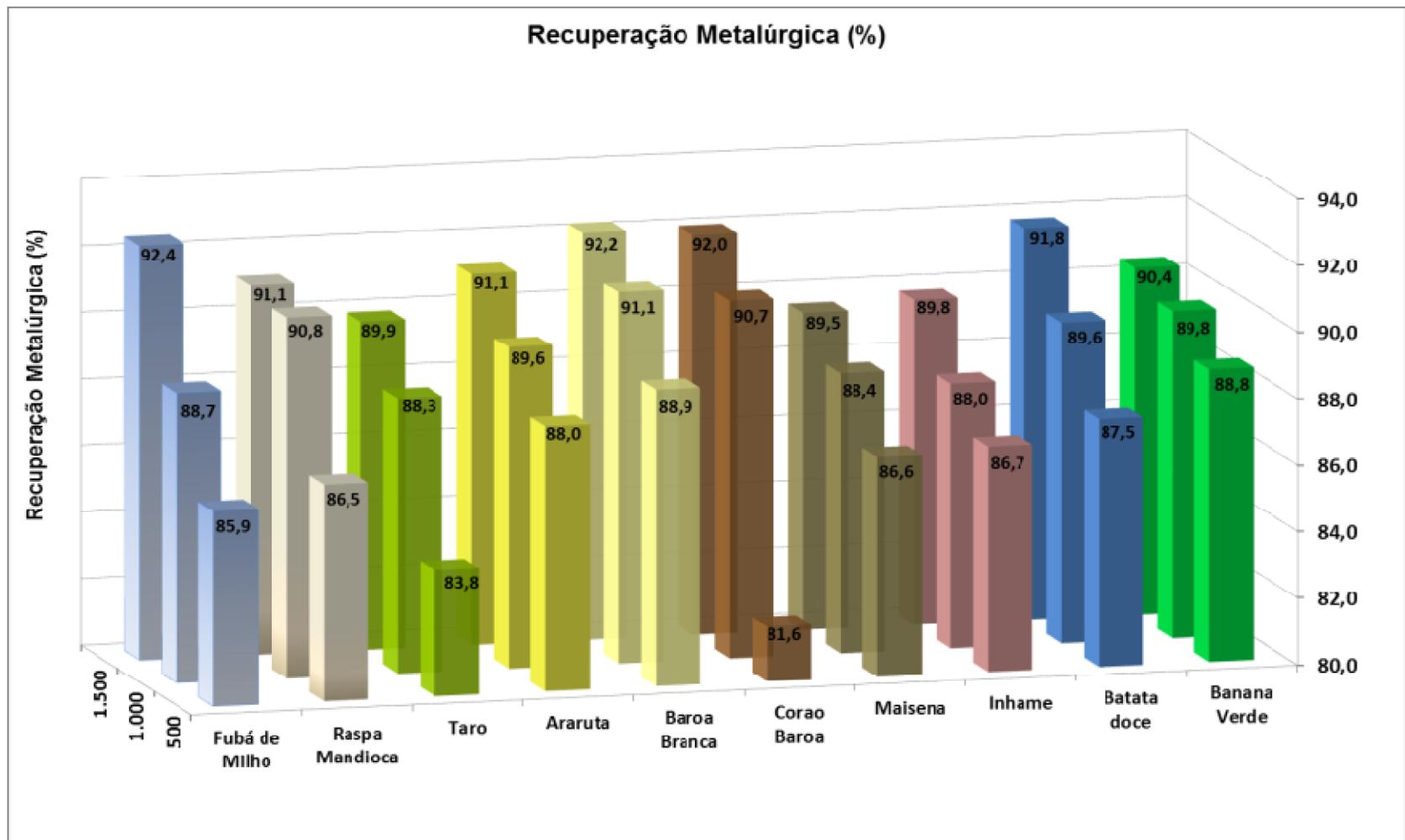


Figura 5.3 – Recuperação Metalúrgica em função do tipo de amido e dosagem.

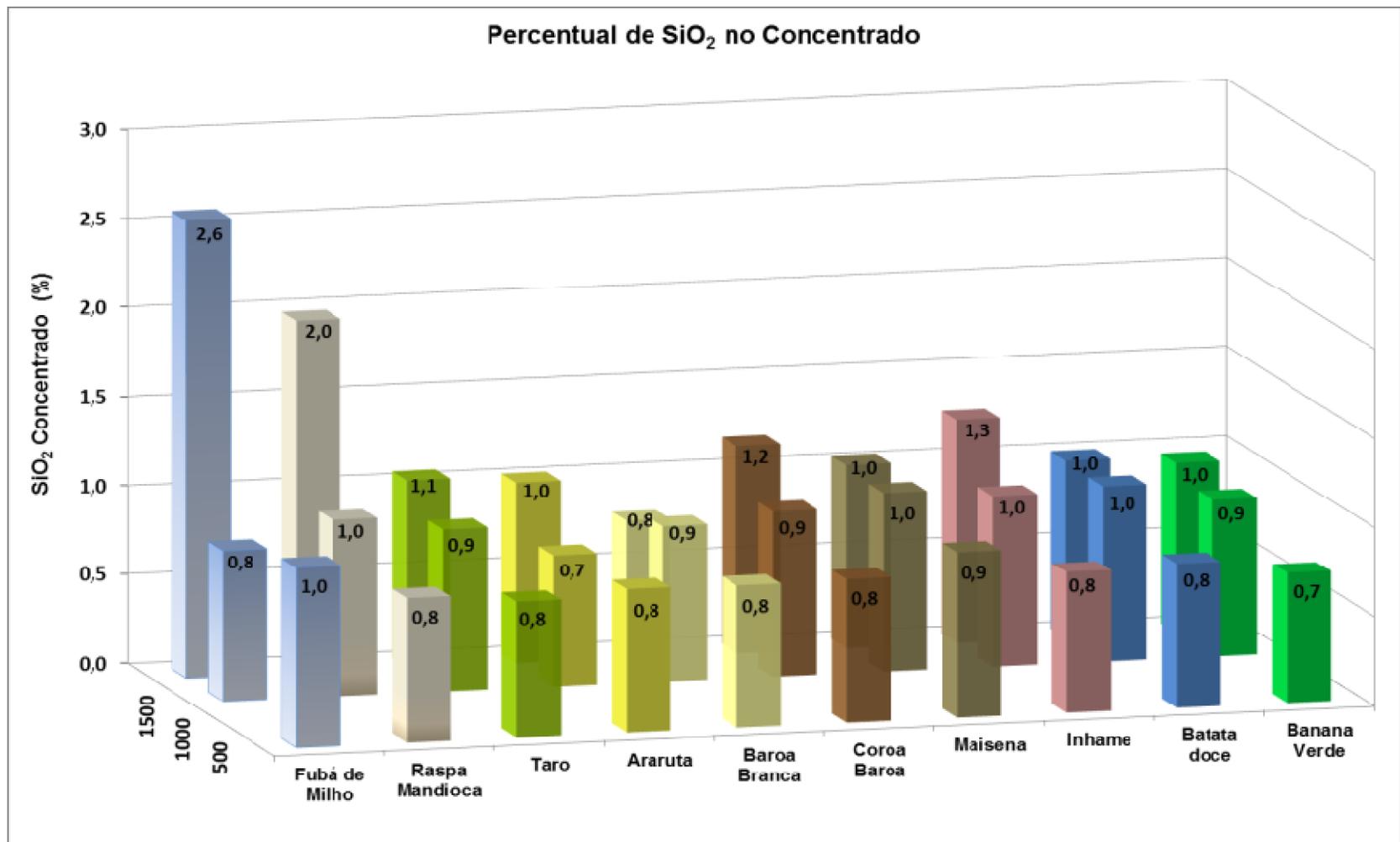


Figura 5.4 – Teor de sílica no concentrado em função do tipo de amido e dosagem.

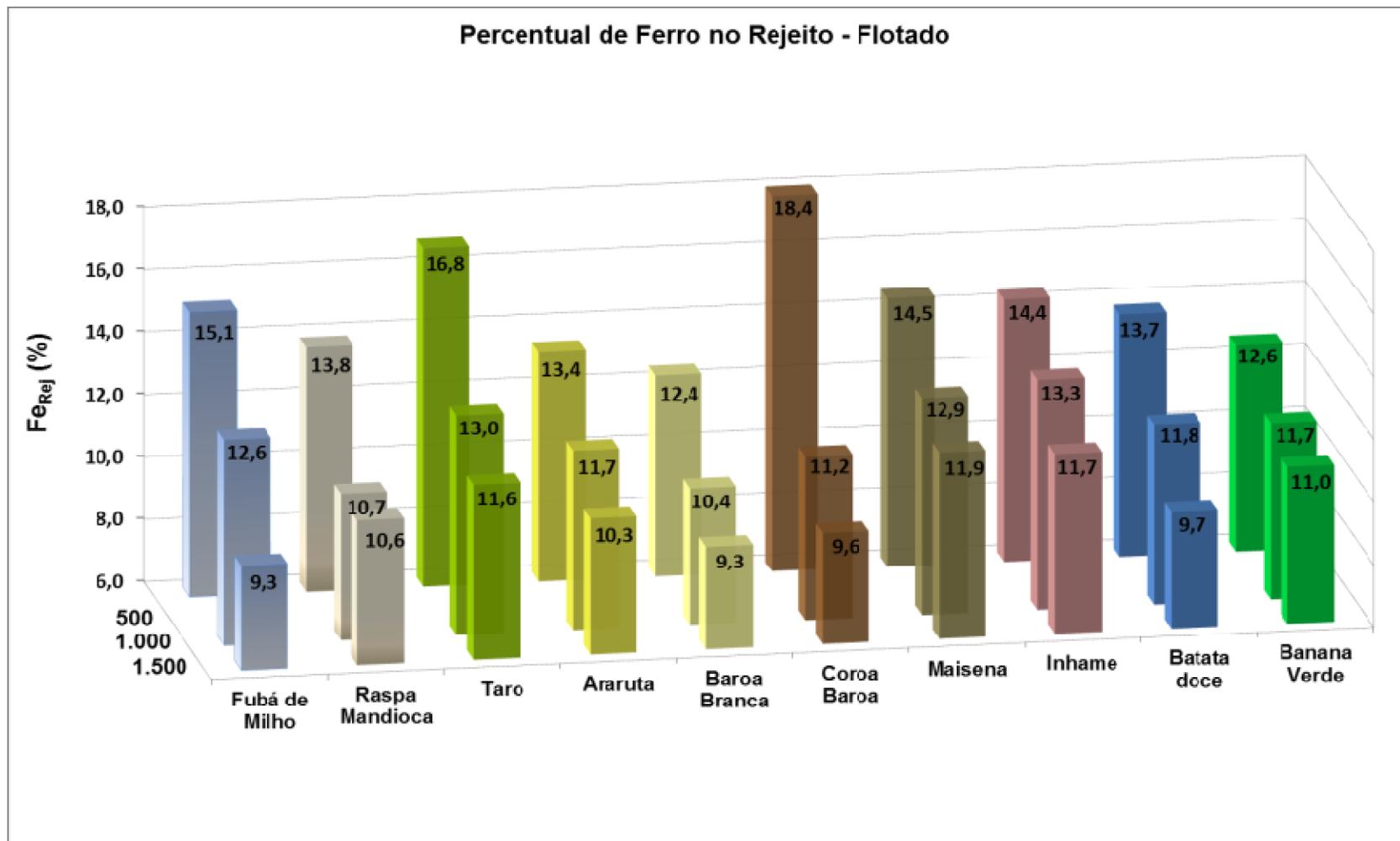


Figura 5.5 – Teor de ferro no rejeito em função do tipo de amido e da dosagem.

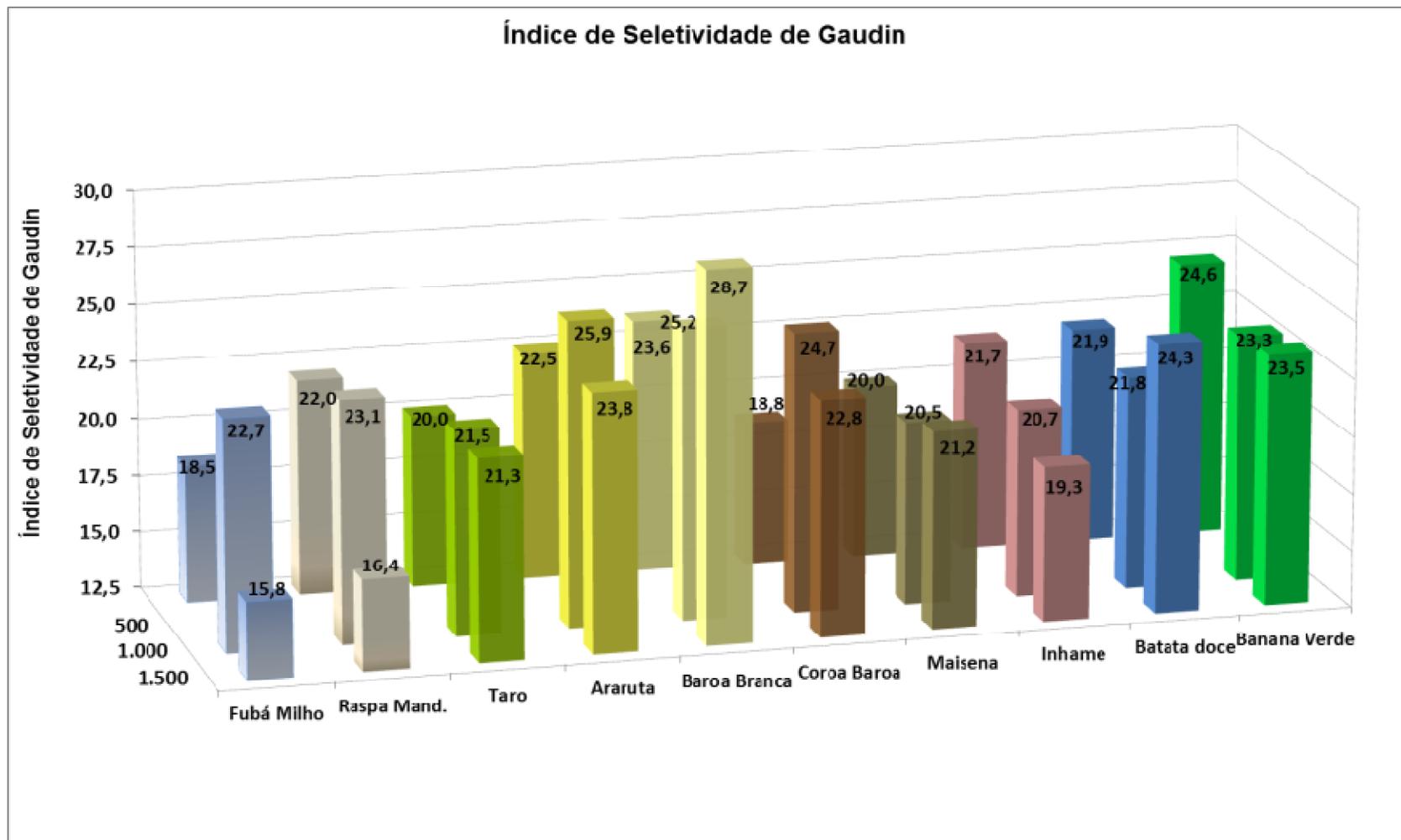


Figura 5.6 – Índice de seletividade de Gaudin em função do tipo de amido e da dosagem.

5.3 Testes de Repetibilidade

Para verificar a repetibilidade operacional dos testes de flotação em bancada foram realizados mais 12 testes. Tomou-se por base o ponto médio de dosagem, ou seja, 1000g/t, e considerou-se o desvio encontrado nestes testes de repetibilidade como sendo o desvio para os testes de flotação em bancada realizados para cada fonte de amido e para cada dosagem.

A Tabela V.5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de repetibilidade e sua estatística descritiva. Para a análise estatística incorporou-se na base de dados o teste de 1000g/t com fubá de milho, visto que todos estes testes são idênticos.

Tabela V.5 – Testes de repetibilidade e estatística descritiva.

Análise de Repetibilidade				
TESTE	RFe	SiO₂ Conc	Fe rejeito	IS
Ao 1000g/t - Fubá	88,86	0,9	12,44	22,7
TR6	89,37	1,1	12,03	20,6
TR7	88,26	2,3	13,50	12,9
TR9	88,60	2,5	13,22	12,5
TR10	89,07	1,0	12,26	21,5
TR11	88,05	2,9	13,78	11,4
TR12	89,46	1,4	12,03	18,0
TR13	89,92	2,4	11,90	13,8
TR14	87,17	1,2	13,99	17,9
TR15	89,85	2,2	11,98	14,2
TR16	86,64	1,2	14,61	17,3
TR17	88,86	0,9	12,44	22,7
TR18	88,60	1,3	12,77	18,4
Grau Liberdade	12	12	12	12
Média (\bar{A})	88,67	1,63	12,84	17,22
Desvio Padrão (S_x)	0,97	0,73	0,89	3,96
Variância (S_x^2)	0,94	0,53	0,79	15,71
Erro (e)	0,27	0,20	0,25	1,10
Repetibilidade	2,73	2,37	2,62	5,52
Cv_{pop} (%)	7,45	5,60	6,85	30,49

5.4 MIX de amidos – Mistura de tipos de amido

Após toda a análise desenvolvida nos itens 5.1, 5.2 e 5.3, e principalmente observando-se que a diferença na RFe(%) para uma mesma dosagem entre as diferenças fontes de amido é muito pequena, definiu-se por realizar 4 testes de flotação em bancada com mix de diferentes fontes de amido utilizando a mesma metodologia desenvolvida nos ensaios de flotação em bancada, conforme item 4.8.2. A dosagem utilizada foi 1000g/t.

As suspensões de amido gelatinizado foram preparadas seguindo a seguinte composição:

- Mix 1: 25% de farinha de araruta, 25% de fubá de milho, 25% de farinha de raspa de mandioca e 25% de farinha de banana verde.
- Mix 2: 25% de farinha de araruta, 25% farinha de taro, 25% de farinha de raspa de mandioca e 25% de farinha de banana verde.
- Mix 3: 25% de farinha de araruta, 25% de farinha de banana verde, 25% de farinha de fração aérea da baroa branca e 25% de farinha de inhame.
- Mix 4: 25% de farinha de araruta, 25% de farinha de inhame, 25% de farinha de taro e 25% de farinha de raspa de raspa mandioca.

A Tabela V.6 apresenta os resultados obtidos nos testes de flotação em bancada com as misturas (mix) de amido e os resultados individuais de cada amido.

A Figura 5.7 apresenta o gráfico de recuperação metalúrgica em função dos diferentes mix. Na Figura 5.7 observa-se também os resultados individual de cada fonte de amido utilizada nos mix.

Considerando o desvio padrão para recuperação metalúrgica de 1%, observa-se pela Tabela V.6 que a recuperação metalúrgica tanto para os amidos individuais quanto para os mix é de aproximadamente 90%.

Os resultados apresentados na Tabela V.6 ajudam a comprovar a eficiência dos amidos testados em relação a performance para a flotação reversa de minério de ferro.

Tabela V.6 – Resultados dos testes com os mix de diferentes fontes de amido

	RFe (%)	SiO ₂ (%) Conc	Fe (%) Rej	I.S. Gaudin
MIX 1	89,07	0,93	12,53	21,78
MIX 2	90,26	0,80	11,36	25,02
MIX 3	89,45	0,86	11,98	23,21
MIX 4	90,68	1,08	10,94	21,87
Milho	88,72	0,84	12,57	22,68
Araruta	91,09	1,08	11,73	25,88
Raspa Mandioca	90,82	0,99	10,71	23,14
Banana Verde	90,42	1,10	11,65	23,32
Baroa Branca	91,13	0,87	10,38	25,21
Maisena	88,40	1,00	12,93	20,51

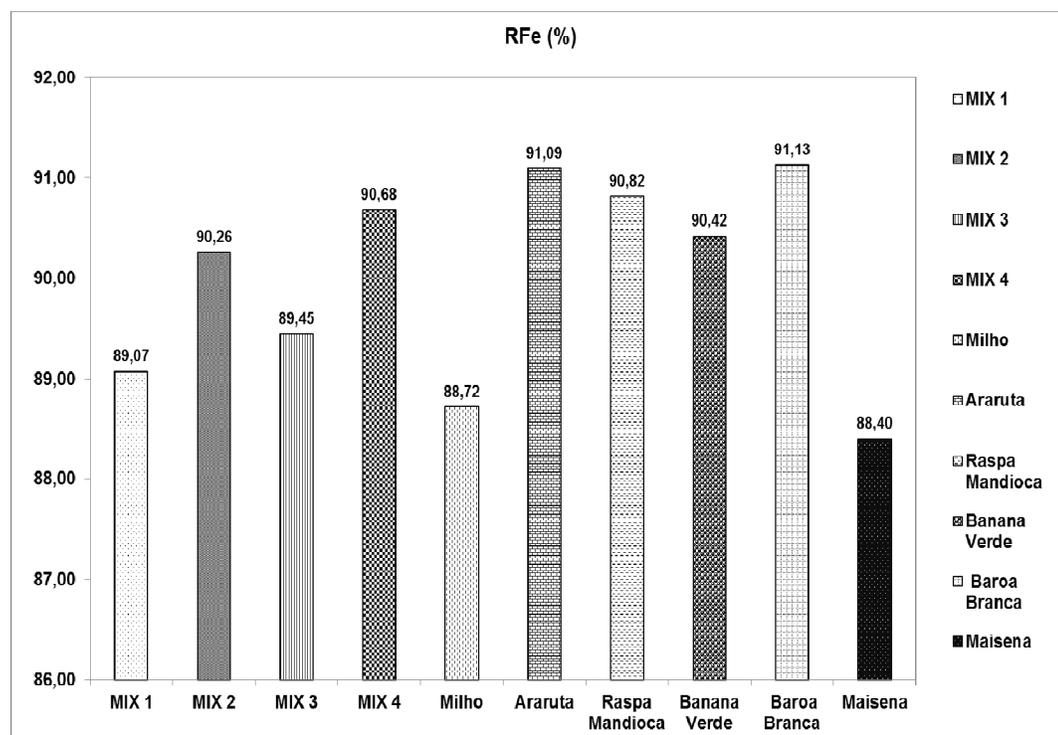


Figura 5.7 – Recuperação metalúrgica em função dos mix e tipos de amido.

5.5 Caracterização das fontes de amido

As fontes de amido foram caracterizadas em relação à granulometria, temperatura de gelatinização, viscosidade da suspensão, composição centesimal e cristalinidade.

Os testes de granulometria a laser, viscosidade da suspensão, temperatura de gelatinização e cristalinidade foram realizados nos laboratórios do Centro de Tecnologia de Agroindústria de Alimentos (CTAA) da Embrapa-RJ.

Os ensaios para determinação da composição centesimal das diferentes fontes de amido foram realizados no laboratório do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa (DTA/UFV).

5.5.1 Composição centesimal dos amidos

A Tabela V.7 apresenta os resultados qualitativo e quantitativo das diferentes fontes de amido. As análises são apresentadas em base úmida. O teor de água (umidade), matéria graxa, proteína e cinza seguiram os métodos de referência desenvolvido pela A.O.A.C (Association of Official Agricultural Chemists). A A.O.A.C é uma associação científica dedicada a regulamentar e padronizar os métodos analíticos de análise de alimentos.

Já as análises de amido total, amilose e amilopectina foram realizadas seguindo a metodologia da A.A.C.C., por meios de kits enzimáticos. A A.A.C.C. (American Association for Clinical Chemistry) é uma sociedade internacional formada por profissionais médicos interessados em padronizar as análises químicas, análises clínicas e medicina laboratorial.

Conforme laudo apresentado no Anexo 5, o amido de milho puro (maisena) apresentou teores de amido total, de amilose e amilopectina compatíveis com a literatura, vide CEREDA 2001, porém não consistente com o esperado para um amido de milho tipo ceroso (*waxy*). Na literatura pesquisada não foi encontrado referências sobre a parte aérea (coroa) da batata baroa branca. Todos os demais resultados estão de acordo com a literatura pesquisada.

Tabela V.7 – Composição centesimal das farinhas de amido

Nome Científico	Nome Popular	Umidade (%) (2)	Amido Total (%) (2)	Proteína (%) (2)	Matéria Graxa (%) (2)	Cinzas (%) (2)	Outros (%) (3)	AML (%)	AMP (%) (4)
<i>Maranta arundinacea</i>	Araruta	14,52 ± 0,12	76,25 ± 3,98	3,92 ± 0,73	0,26 ± 0,05	2,83 ± 0,13	2,12	30,44 ± 0,32	69,56
<i>Dioscorea esculenta</i>	Inhame	6,24 ± 0,16	64,09 ± 0,40	8,67 ± 0,25	0,25 ± 0,00	3,50 ± 0,18	17,25	26,67 ± 1,73	73,33
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata doce	9,30 ± 0,11	59,73 ± 3,02	4,74 ± 0,85	1,65 ± 0,01	2,23 ± 0,06	22,35	13,84 ± 0,92	86,16
<i>Manihot esculenta</i>	Mandioca	9,67 ± 0,04	64,29 ± 3,17	2,26 ± 0,21	0,69 ± 0,11	1,29 ± 0,01	21,80	11,30 ± 2,95	88,70
<i>Colocasia esculenta</i>	Taro (1)	6,84 ± 0,51	58,74 ± 0,55	4,15 ± 0,58	0,63 ± 0,11	2,29 ± 0,17	27,35	30,80 ± 2,73	69,20
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Baroa branca	10,92 ± 0,20	67,32 ± 1,07	3,85 ± 0,21	0,59 ± 0,06	2,82 ± 0,03	14,50	33,88 ± 5,14	66,12
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Coroa baroa branca	7,46 ± 0,23	34,62 ± 0,46	15,01 ± 0,80	1,29 ± 0,09	6,19 ± 0,08	35,43	29,61 ± 5,84	70,29
<i>Musa paradisiaca</i>	Banana Caturra	9,90 ± 0,09	63,81 ± 3,65	3,94 ± 0,13	0,42 ± 0,05	1,73 ± 0,06	20,20	9,45 ± 2,58	90,55
<i>Zea mays</i>	Fubá de Milho	10,94 ± 0,26	77,08 ± 1,05	6,36 ± 0,94	1,61 ± 0,06	0,36 ± 0,03	3,65	36,47 ± 1,70	63,53
<i>Zea mays (Maisena)</i>	Amido Milho	11,01 ± 0,51	90,26 ± 0,99	0,23 ± 0,00	0,03 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,00	44,35 ± 1,40	55,65
<i>Zea mays - Gritz</i>	Gritz de Milho	12,64 ± 0,02	60,17 ± 3,88	6,27 ± 0,21	0,85 ± 0,19	0,26 ± 0,02	19,81	16,88 ± 1,90	83,12
<i>Manihot esculenta</i>	Farelo Mandioca	14,54 ± 0,09	50,74 ± 2,18	1,88 ± 0,15	0,14 ± 0,01	1,55 ± 0,02	31,15	17,31 ± 3,51	82,69
(1) Vulgo Cará									
(2) UFV, 2012									
(3) Outros = 100 - Σ (elementos)									
(4) AMP = 100-AML AMP = Amilopectina AML = Amilose									

5.5.2 Temperatura de gelatinização via DSC

A Tabela V.8 apresenta os resultados extraídos das curvas de gelatinização obtidas no calorímetro diferencial de varredura (DSC) Q200 da TA Instruments dos EUA. A faixa de leitura utilizada foi de 5 a 110°C em uma taxa de 10°C/minuto.

As leituras da fusão da fase cristalina dos amidos foram: temperatura inicial ou de pasta (T_0), temperatura de Pico ou de gelatinização (T_p), temperatura final (T_f).

Tabela V.8 – Temperatura de gelatinização das fontes de amido

Nome Científico	Nome Popular	Temp. Inicial T_0 - (°C)	Temp. Pico T_p - (°C)	Temp. Final T_f - (°C)
<i>Maranta arundinacea</i>	Araruta Seta	66,53	74,03	91,70
<i>Dioscorea esculenta</i>	Inhame	74,59	77,70	90,13
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata doce	66,54	75,54	91,37
<i>Manihot esculenta</i>	Raspa Mandioca	65,89	75,95	87,43
<i>Colocasia esculenta</i>	Taro	76,23	80,36	96,67
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Baroa branca	59,78	64,71	81,03
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Coroa baroa branca	64,42	70,24	90,70
<i>Musa paradisiaca</i>	Banana Caturra	60,91	72,00	86,01
<i>Zea mays</i>	Fubá de Milho	62,69	71,59	88,99
<i>Zea mays (Maisena)</i>	Amido Milho	65,48	73,12	89,99

Verifica-se pela Tabela V.8 que a maior temperatura de gelatinização (T_p) é observada para a farinha de taro e a menor temperatura de gelatinização é observada para a farinha de baroa branca. Mas de um modo geral, a temperatura de gelatinização das diferentes fontes de amido situa-se na faixa de temperatura entre 70 a 80°C.

Esta análise é fundamental, pois a metodologia desenvolvida para gelatinizar baseou-se na utilização de soda cáustica (NaOH) associada com água na temperatura de 90°C. Desta forma, pela Tabela V.8, pode-se afirmar que todas as suspensões de amido gelatinizado testadas, não importando qual foi a fonte, encontravam-se completamente gelatinizadas.

As curvas obtidas no calorímetro diferencial de varredura podem ser vistas no Anexo 6.

5.5.3 Cristalinidade via DRX

A Tabela V.9 apresenta o percentual de cristalinidade contido em cada fonte de amido estudada. Este percentual foi obtido através de análise via difração de raios X (DRX). O anexo 7 apresenta os difratogramas obtidos para cada fonte de amido.

Tabela V.9 – Percentuais de cristal em cada fonte de amido

Nome Científico	Nome Popular	Cristalinidade (%)	Amorfo (%)
<i>Maranta arundinacea</i>	Araruta Seta	35,3	64,7
<i>Dioscorea esculenta</i>	Inhame	34,2	65,8
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata doce	30,6	69,4
<i>Manihot esculenta</i>	Raspa Mandioca	32,5	67,5
<i>Colocasia esculenta</i>	Taro	32,8	67,2
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Baroa branca	32,6	67,4
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Coroa baroa branca	29,2	70,8
<i>Musa paradisiaca</i>	Banana Caturra	33,1	66,9
<i>Zea mays</i>	Fubá de Milho	28,8	71,2
<i>Zea mays (Maisena)</i>	Amido Milho	44,8	55,2

Pela Tabela V.9 verifica-se que cada fonte de amido possui seu grau de cristalinidade característico, com destaque principal para o amido de milho (maisena), que possui um alto grau de cristalinidade. Este alto grau de cristalinidade já era esperado devido a maisena ser constituída basicamente de amilopectina e amilose, ou seja, um amido puro.

Pelo Anexo 7 observa-se que os difratogramas do fubá de milho e da raspa de mandioca são bem similares com picos de intensidade bem definidos e praticamente no mesmo ângulo. Também nota-se bastante semelhança entre os difratogramas da farinha de banana e farinha de araruta. E o difratogramas da batata doce mostrou o maior pico de intensidade.

Além da garantia de procedência das farinhas dada pela Emater – MG e Embrapa - DF, pelo Anexo 7, comprova-se que os amidos testados pertencem a diferentes espécies botânicas, pois apresentaram diferentes difratogramas na análise via DRX.

5.5.4 Granulometria das fontes de amido

A Tabela V.10 apresenta a malha em micrômetros (μm) na qual se encontram os retidos simples D10 (10% retido na malha), D50 (50% retido na malha) e D90 (90% retido na malha). As análises foram realizadas pela metodologia desenvolvida por BALTES (1990).

No Anexo 8, são apresentadas as curvas volumétricas (granulômetro a laser) obtidas para cada fonte de amido.

Tabela V.10 – Granulometria de amidos: retido simples e malha (μm) correspondente

Nome Científico	Nome Popular	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)
<i>Maranta arundinacea</i>	Araruta Seta	6,59	13,45	21,31
<i>Dioscorea esculenta</i>	Inhame	15,24	55,50	517,49
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata doce	11,39	89,57	528,62
<i>Manihot esculenta</i>	Raspa Mandioca	9,23	96,46	735,50
<i>Colocasia esculenta</i>	Taro	2,56	89,86	444,30
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Baroa branca	9,72	51,25	460,38
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Coroa baroa branca	11,44	259,31	849,64
<i>Musa paradisiaca</i>	Banana Caturra	12,02	37,98	400,86
<i>Zea mays</i>	Fubá de Milho	15,99	142,62	426,18
<i>Zea mays (Maisena)</i>	Amido Milho	6,59	13,45	21,36

5.5.5 Viscosidade das suspensões de amido

As análises de viscosidade das suspensões de amido foram realizadas em viscoanalisador rápido (*Rapid Viscoanalyser – RVA*) seguindo o Método Padrão ICC – *International Cereal Chemistry – Rapid Pasting Method using the Newport Rapid Visco Analyser, Australia*.

A Tabela V.11 mostra os principais resultados obtidos através dos perfis viscoamilográficos apresentados no Anexo 9.

Tabela V.11 – Pontos de viscosidade de cada fonte de amido

Nome Científico	Nome Popular	Viscosidade Máxima	Viscosidade Mínima	Setback Retrogradação	Breakdown	Viscosidade Final
<i>Maranta arundinacea</i>	Araruta Seta	1.747	211	724	1.536	2.260
<i>Dioscorea esculenta</i>	Inhame	1.605	184	303	1.422	1.725
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata doce	457	21	122	436	558
<i>Manihot esculenta</i>	Raspa Mandioca	2.136	860	572	1.277	1.848
<i>Colocasia esculenta</i>	Taro	543	249	133	295	428
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Baroa branca	863	366	130	497	627
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Coroa baroa branca	183	53	36	130	166
<i>Musa paradisiaca</i>	Banana Caturra	3.790	796	1.241	2.994	4.199
<i>Zea mays</i>	Fubá de Milho	-	-	-	-	-
<i>Zea mays (Maisena)</i>	Amido Milho	3.715	2.231	520	1.484	2.003

5.6 Relação amilopectina e recuperação metalúrgica

Para construção da Tabela V.12 que correlaciona as análises centesimais obtidas para cada fonte de amido com as dosagens de amido e amilopectina e a recuperação metalúrgica, utilizou-se da Tabela V.7 de forma a recalculas as composições centesimais de cada amido e depois correlacionou-se os resultados obtidos nos ensaios de flotação em bancada.

Suportado pelos resultados obtidos nos ensaios de flotação para cada fonte de amido (Figuras 5.3) e pelos resultados obtidos nos ensaios de flotação que se utilizou o mix de amidos (Figura 5.7), e ainda pela curva de saturação de dosagem apresentada na Figura 4.2 construiu-se a Tabela V.13 que correlaciona a dosagem de amilopectina com a recuperação metalúrgica.

Ao plotar o gráfico da dosagem de amilopectina versus recuperação metalúrgica conforme apresentado na Tabela V.13 verificou-se uma tendência de estabilização da recuperação metalúrgica, porém não conseguiu-se equacionar uma regressão definida. Então, de posse do artifício matemático da média móvel construiu-se a Tabela V.14. Assim a cada 150g/t de amilopectina retirou-se a média móvel do intervalo e associou-se a mesma média móvel à suas respectivas recuperação metalúrgica. Vide Tabela V.14.

Da Tabela V.14 confeccionou-se a Figura 5.8., que correlaciona a dosagem de amilopectina com a recuperação metalúrgica.

Pela Figura 5.8 observa-se que com o aumento da dosagem de amilopectina ocorre proporcionalmente o aumento da dosagem da recuperação metalúrgica até o patamar de 800g/t. Quando se passa para a próxima dosagem de amilopectina (~900g/t), observa-se a estabilização da recuperação metalúrgica, ou seja, não há ganho de recuperação metalúrgica.

Nota-se na Figura 5.8 que a curva de melhor aderência ao modelo produzido nestes testes foi a curva de logaritmo neperiano (\ln), o que mostra mesmo a estabilização.

Tabela V.12 – Relação entre composição centesimal e resultados obtidos nos ensaios de flotação

Nome Científico	Nome Popular	Amido Total (%)	Proteína (%)	Matéria Graxa (%)	Cinzas (%)	Outros (%)	AMP (%)	AML (%)	Relação AMP/AML	Relação Aa/ (AMP/AML)	Amido 1500 (g/t)	AMP (g/t)	RFe (%) 1500 (g/t)	Amido 1000 (g/t)	AMP (g/t)	RFe (%) 1000 (g/t)	Amido 500 (g/t)	AMP (g/t)	RFe (%) 500 (g/t)
<i>Maranta arundinacea</i>	Araruta Seta	89,29	4,59	0,30	3,31	2,51	69,6	30,4	2,29	22,76	1.339	932	91,1	893	621	90	446	311	88
<i>Dioscorea esculenta</i>	Inhame	68,36	0,09	0,27	3,73	27,55	73,3	26,7	2,75	18,91	1.025	752	89,8	684	501	88	342	251	87
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata doce	65,85	5,23	1,82	0,02	27,08	86,2	13,8	6,23	8,35	988	851	91,8	659	567	90	329	284	87
<i>Manihot esculenta</i>	Raspa Mandioca	71,17	2,50	0,76	1,43	24,13	88,7	11,3	7,85	6,62	1.068	947	91,1	712	631	91	356	316	87
<i>Colocasia esculenta</i>	Taro ⁽¹⁾	63,05	4,45	0,68	2,46	29,36	69,2	30,8	2,25	23,14	946	654	89,9	631	436	88	315	218	84
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Baroa branca	75,57	4,32	0,66	3,17	16,28	66,1	33,9	1,95	26,64	1.134	750	92,2	756	500	91	378	250	89
<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Coroa baroa branca	37,41	16,22	1,39	6,69	38,29	70,4	29,6	2,38	21,87	561	395	92,0	374	263	91	187	132	82
<i>Musa paradisiaca</i>	Banana Caturra	70,82	4,37	0,47	1,92	22,42	90,6	9,5	9,58	5,43	1.062	962	90,4	708	641	90	354	321	89
<i>Zea mays</i>	Fubá de Milho	86,55	7,14	1,81	0,40	4,10	63,5	36,5	1,74	29,85	1.298	825	92,4	865	550	89	433	275	86
<i>Zea mays (Maisena)</i>	Amido Milho	99,62	0,25	0,03	0,09	0,00	55,7	44,4	1,25	41,44	1.494	832	89,5	996	554	88	498	277	90
<i>Planilha Base Seca</i>	AMP - Amilopectina AML - Amilose																		

Tabela V.13 – Relação entre amilopectina e recuperação metalúrgica

AMP (g/t)	RFe (%)	AMP (g/t)	RFe (%)
962	90,4	501	88,0
947	91,1	500	91,1
932	91,1	436	88,3
851	91,8	395	92,0
832	89,5	321	88,8
825	92,4	316	86,5
752	89,8	311	88,0
750	92,2	284	87,5
654	89,9	277	89,8
641	89,8	275	85,9
631	90,8	263	90,7
621	89,6	251	86,7
567	89,6	250	88,9
554	88,4	218	83,8
550	88,7	132	81,6

Tabela V.14 – Relação entre amilopectina e recuperação metalúrgica – média móvel

AMP (g/t)	RFe (%)
923	91,1
789	91,0
603	89,6
397	89
267	88
175	83

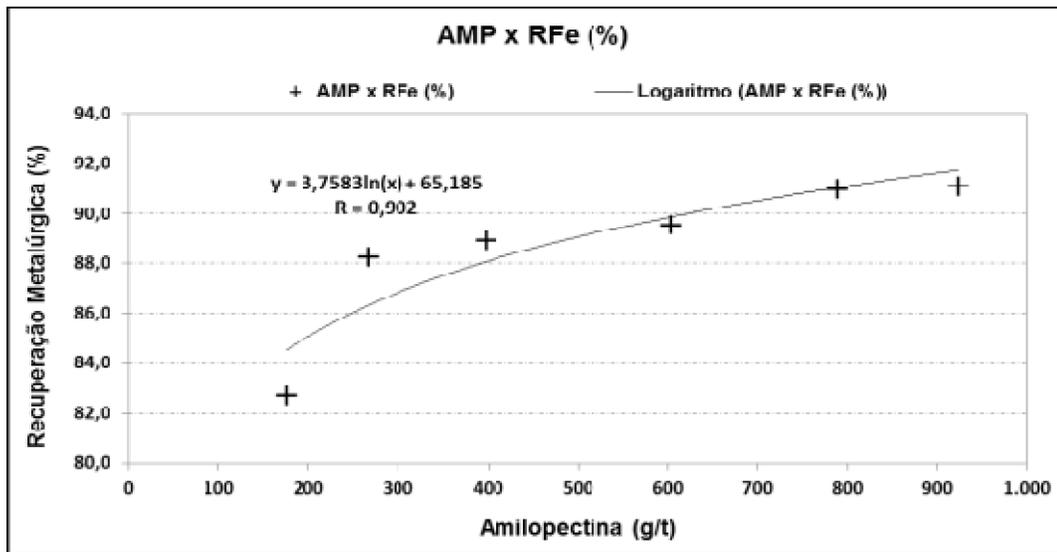


Figura 5.8 Correlação entre a dosagem de amilopectina e recuperação metalúrgica.

6 – CONCLUSÕES

- i) Em uma análise geral baseada nos resultados obtidos, pode-se afirmar que as farinhas de amido provenientes das fontes botânicas mandioca, araruta, baroa, fração aérea da baroa, batata doce e banana verde são grandes potenciais para substituição ao amido de milho como reagente depressor na flotação reversa de minério de ferro.
- ii) O amido de milho puro, a maisena, demonstrou desempenho similar ao amido de milho (fubá) para a dosagem de 500g/t; já nas demais dosagens o amido de milho (fubá) foi superior à maisena.
- iii) Os amidos de taro e inhame mostraram resultados abaixo do amido de milho, mas não distantes. Isto implica que, no futuro, novos testes, com novas espécies destes tuberosos, podem indicar novos horizontes para estes amidos.
- iv) Durante os testes de bancada, onde foram utilizados os amidos provenientes das fontes tuberosas, observou-se uma espuma de coleta consistente e bem mineralizada. Certamente, este fato se deve ao baixo teor de óleo contido nas tuberosas, e este fato impactou positivamente na seletividade do processo.
- v) Outro importante aspecto é que cada fonte testada possui uma relação diferente de amilopectina/amilose, e tudo indica que existe uma relação ideal destes polímeros do amido para a depressão dos óxidos de ferro. A falta de um polímero ou o excesso de outro, em relação à amostra testada, impacta significativamente na recuperação metalúrgica e seletividade do processo.
- vi) Além da certeza de procedência das fontes de amido fornecida pela Emater-MG e Embrapa-DF, os testes de caracterização dos amidos comprovaram que as farinhas testadas são pertencentes a espécies botânicas diferentes.

- vii) As espécies botânicas de amido utilizadas neste trabalho mostraram excelente eficiência na depressão dos minerais de ferro presentes na amostra testada, sem prejuízo para a seletividade de sílica no concentrado.

7 – RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS

- i) As fontes de amido estudadas demonstram relativo ganho em recuperação metálica se comparadas ao amido de milho (fubá) utilizado atualmente nas plantas de flotação. O ganho de recuperação metalúrgica, geralmente, é acompanhado de ganho em massa (produção), inversamente proporcional ao aumento de custos por tonelada produzida e proporcional à redução de teor de ferro que vai para as barragens de rejeito, desde que mantidas as características físicas e químicas da alimentação da flotação.
- ii) Este estudo técnico abre a possibilidade de opções de novos insumos para a flotação de minério de ferro. Em consequência, espera-se eliminar a dependência de um único insumo como depressor de minério de ferro.
- iii) Sustentabilidade: as empresas de mineração que concentram o minério de ferro através da flotação podem desenvolver novos mercados e/ou cooperativas e utilizar esta prática como um marketing de imagem e sustentabilidade junto aos órgãos públicos.
- iv) As novas fontes de amido podem proteger as minerações contra aumentos abusivos no preço do amido de milho, visto a concorrência com os mercados alimentícios e farmacêuticos (indústria de remédios e alimentos), mercado agropecuário (ração animal) e atualmente o mercado cervejeiro.
- v) Dentre as fontes botânicas testadas merece um destaque especial a araruta, pois segundo comentário dos funcionários Emater-MG e Embrapa-DF, é uma espécie genuinamente brasileira, resistente, de boa produtividade (t/ha) e resistente a intempéries climáticas e às pragas.

8 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- i) Desenvolver estudos em escala piloto para investigar o comportamento destas novas fontes de amido em ciclos contínuos de flotação.
- ii) Desenvolver novos fornecedores e utilizar as novas fontes de amido em escala industrial.
- iii) Desenvolver, em áreas remotas de baixo IDH, tipo Vale do Jequitinhonha e/ou Agreste do Nordeste, cooperativas de cultivos de fácil manejo, por exemplo, mandioca ou araruta, de forma a desenvolver estas áreas remotas no contexto social, de forma a trazer mais dignidade à população e então utilizar esta prática como marketing de imagem para as empresas mineradoras e ao mesmo tempo obter o insumo (amido) para a produção de *pellet feed*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A.C., VIANA, P.R.M., PERES, A.E.C., Reagents in iron ores flotation. *Minerals Engineering*, v.18, 2005, p.219-224.

BALTES, W., Rapid method for analysis of food and food raw material. Technomic Publishing Co., Inc, 1990, p.366-372.

BRANDÃO, P.R.G., A seletividade na flotação reversa de minérios de ferro: adsorção de reagentes. Anais, XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Natal, RN, 20-24 novembro 2005, vol. 1, p.22-33.

CASTRO, E.B., CRUZ, M.R., Modificação do circuito de flotação da planta de beneficiamento de Vargem Grande. In: IV Simpósio Brasileiro de Minério de Minério de Ferro. Ouro Preto/MG, 2003.

CEREDA, M.P., Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas: Propriedades Gerais do Amido, 1ª Edição. Campinas. Edição: Fundação Cargill, 2001. Volume 1, 221p.

CHAVES, A.P., *et al.*, Teoria e Prática do Tratamento de Minérios; Flotação: o estado da arte no Brasil. 1ª Edição. São Paulo: Signus Editora, 2006. Volume 4. p. 1-28, p. 247-329.

DAIUTO, E.R., Desenvolvimento de grânulos de amido durante o crescimento secundário de raízes de mandioca dos cultivares Mico e Branca de Santa Catarina. Botucatu, 2000. 140p. Dissertação de Mestrado em Agronomia/Horticultura, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista.

DENARDIN, C.C., DA SILVA, L.P., Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. *Revista Ciência Rural*, Volume.39, n.3, mai-jun, 2009. Universidade Federal de Santa Maria - RS

FUERSTENAU, D. W., Fine Particle Flotation. Proceedings of International Symposium on Fine Particles Processing Las Vegas, Nevada, February 24-28, 1980, p. 669-705

GONCALVES, R.A. *et al.*,. Rendimento e composição química de cultivares de milho em moagem a seco e produção de grits. Revista de Ciências. Agrotécnicas da Universidade de Lavras., Lavras, v. 27, n. 3, June 2003.

LEJA, J., Surface Chemistry of Froth Flotation. New York: Plenum Press, 1982, 758p.

LIMA, R.M.F., Adsorção de amido e amina na superfície da hematita e do quartzo e sua influência na flotação. Tese de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1997.

MAPA, P.S., VASCONCELOS, S.L., Ensaio de flotação em laboratório e sua aplicação no controle operacional. In: 3º Seminário de Tecnologia Mineral – CVRD – Belo Horizonte *apud* MAPA, P.S. (2006) Rota de processo para o underflow da deslamagem de minério de ferro do concentrador da Samarco Mineração S.A. Dissertação de mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2004.

MONTE, M.B.M., PERES, A.E.C., Química de superfície na flotação. In: LUZ, A.B., *et al.* Tratamento de minérios, 3ª edição, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2004, Cap.9, p.339-407.

MONTENEGRO, L.C.M., Efeito das condições operacionais sobre a relação teor-recuperação na flotação de minérios de ferro. Tese de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2001.

REIS, R.L.R., Propriedades e aplicação do gritz de milho na flotação catiônica reversa de minérios itabíricos. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1987.

PAVLOVIC, S., Adsorção de carboidratos nos minerais hematita e quartzo. Tese de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2002.

PAVLOVIC, S.; BRANDÃO, P.R.G., Adsorption of starch, amylose, amylopectin and glucose monomer and their effect on the flotation of hematite and quartz. *Minerals Engineering*, 2003, v.16, p.1117-1122.

PEARSE, M.J., An overview of the use of chemical reagents in mineral processing. *Minerals Engineering*, 2005, v.18, p.139-149.

PERES, A.E.C., CORRÊA, M.I., Depression of iron oxides with corn starches, *Minerals Engineering*, 1996, v.9, p.1227-1234.

PINTO, C.L.L., Efeito do amido, amilose e amilopectina na depressão de oximinerais. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1989.

RABELO, P.J.B., Estudos de caracterização e redução do teor de fósforo do minério de ferro da mina de Alegria, Mariana, MG. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1994.

SILVA, G.O.; TAKIZAWA, F.F.; PEDROSO, R.A.; FRANCO, C.M.L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S.B.S.; DEMIATE, I.M., Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 2006, v. 26, n.1.

VIANA, P.R.M.; SOUZA, H.S., O uso de griz de milho como depressor no sistema de flotação hematita/quartzo; In II Congresso Latino-americano de Flotación, Concepción, 1985, vol.II, p.Vi2.1-Vi2.20.

WEISSENBORN, P.K., WARREN, L.J., DUNN, J.G., Optimization of selective flocculation of ultrafine iron ore. *International Journal of Mineral Processing*, 1994, v.42, p.191-213.

WEISSENBORN, P.K., WARREN, L.J., DUNN J.G., Selective flocculation of ultrafine iron ore. 1. Mechanism of adsorption of starch onto hematite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1995, v.99, p.11-27.

ANEXO 1 – Carta de declaração de parceira com a Embrapa Hortaliças – DF



DECLARAÇÃO

Declaramos, para os devidos fins, que a Embrapa Hortaliças, sediada em Brasília-DF, na BR 060, Km. 09, C.P. 218, CEP 70359-970, através do pesquisador Nuno Rodrigo Madeira, CPF 011.047.527-51, manteve em parceria com a Vale S.A., locada em Nova Lima, à Av. de Ligação, 3580, Mina de Águas Claras, CEP 34.000-000, através do engenheiro Wellington Ribeiro Moreira, CPF 033.475.466-60, trabalho relativo à avaliação de diferentes fontes de amido (farinha de mandioquinha-salsa 'Branca', farinha da parte aérea de mandioquinha-salsa 'Amarela de senador Amaral', farinha de taro 'Japonês', farinha de inhame 'São Tomé', farinha de araruta 'Comum' e polvilho de araruta 'Seta'), sendo estas fornecidas pela Embrapa Hortaliças.

Brasília, 14 de setembro de 2011


Nuno Rodrigo Madeira
Embrapa Hortaliças


Wellington Ribeiro Moreira
Vale S.A.



Declaração

Declaramos para os devidos fins, que a Emater-MG com sede na Av. Raja Gabáglia 1626, Gutierrez, Belo Horizonte, Cep 30441194 em Minas Gerais, por meio do Coordenador Estadual de Olericultura, Georgeton Soares Ribeiro Silveira, CPF 606.297.541/87, manteve em parceria com a Vale S.A, instalada em Nova Lima, a Av. de Liagação 3580, Mina de Águas Claras, CEP 34.000-000, através do engenheiro Welington Ribeiro Moreira, CPF 033.475.466-60, trabalho relativo à avaliação de fonte de amido (fécula de araruta), batata-doce e banana, sendo estas fornecidas por agricultores assistidos pela Emater MG.

Belo Horizonte, 11 de novembro de 2011

Georgeton S. R. Silveira
Emater MG

Welington Ribeiro Moreira
Vale S.A

ANEXO 3 – Ficha técnica do amido de milho da Corns Products - Maisena



Amido de Milho AMIDEX® 4001

Amido de milho ceroso (waxy) obtido através da última geração de tecnologia de industrialização de milho por via úmida.

Especificações:

Físico-Químicas:

	Min.	Máx.
Umidade, %	-	14,0
pH	4,5	5,5
Aspecto	Livre ptos pretos e/ou partículas estranhas	-
Cor (Visual)	Pó branco	-
Odor	Característico	-

Principais aplicações:

Acabamento de tecidos, Engomagem de fios, Fabricação de adesivos à base de água

Funcionalidade:

Engomagem de Fios:

- Alta qualidade adesiva, devido aos grupos hidroxila de sua molécula
- Grande facilidade na desengomagem de tecidos através do processo enzimático ou oxidativo.
- Proporciona um aumento na resistência do fio e do tecido em que é aplicado (suportando a força de tensionamento e atrito do processo).
- Sua viscosidade adequada permite a penetração ideal no fio, formando uma fina película ao seu redor, dando-lhe a necessária resistência para suportar as forças de tensionamento e atrito durante o processo de tecelagem.

Acabamento de Tecidos:

- O acabamento é não permanente.
- Proporciona corpo e toque ao tecido.

Embalagem - Vida útil:

A granel - 180 dias
Big Bag 1000 kg - 180 dias
Saco de Papel Multifoliado 25 kg - 730 dias

Armazenagem:

Armazenar sobre pallets, em local coberto, seco e ventilado.

Informações Regulatórias:

GRAS: 21CFR182.90

05/08/2005

As informações aqui contidas são todas a título meramente indicativo das possibilidades técnicas de utilização do produto, não implicando garantia de resultado e não dispensando o usuário da verificação de eventuais limitações de uso, tanto as contidas na legislação em vigor, como as limitações técnicas de uso em condições ou finalidades específicas. A CORN PRODUCTS BRASIL - Ingredientes Industriais Ltda. reserva-se o direito de modificar as especificações do produto.

Todas as marcas aqui referidas são de propriedade de Corn Products International, Inc. ou de suas afiliadas.



Atendimento a clientes:
0300 789 5800
(11) 5070-7835
sao@comproducts.com.br



Av. do Café, 277 - 2º andar - Torre B
04311-000 - São Paulo - SP
Tel.: (11) 5070-7700 Fax: (11) 5070-7831
www.comproducts.com.br

ANEXO 4 – Tabelas de resultados obtidos nos testes de flotação em bancada

Recuperação Metálica (%) - RFe (%)											
Dosagem (g/t)	Teste	Milho	Mandioca	Taro	Araruta	Baroa branca	Fração Baroa	Maisena	Inhame	Batata doce	Banana
1500	1º	93,23	90,76	89,82	93,16	91,52	91,78	89,08	89,80	91,91	93,24
	Replica	92,71	91,43	89,89	92,38	92,94	92,26	89,96	89,72	91,63	90,81
	Treplica	91,65	90,76	---	89,89	---	93,10	---	---	---	90,06
	Gráfico	92,4	91,1	89,9	91,1	92,2	92,0	89,5	89,8	91,8	90,4
1000	1º	88,86	90,68	88,18	91,34	91,13	90,69	89,12	87,96	89,14	90,37
	Replica	88,57	90,96	88,33	90,84	91,12	90,74	87,69	87,94	90,11	90,47
	Treplica	---	---	---	88,40	91,55	89,30	---	90,27	---	89,17
	Gráfico	88,7	90,8	88,3	89,6	91,1	90,7	88,4	88,0	89,6	89,8
500	1º	86,72	86,50	83,30	88,48	88,99	85,20	86,21	86,57	87,32	88,98
	Replica	87,00	88,57	84,26	87,48	88,84	80,42	86,95	86,91	87,59	89,65
	Treplica	84,73	86,50	---	---	---	82,84	89,05	---	---	87,89
	Gráfico	85,9	86,5	83,8	88,0	88,9	81,6	86,6	86,7	87,5	88,8

Sílica no Concentrado - SiO ₂ Conc (%)											
Dosagem (g/t)	Teste	Milho	Mandioca	Taro	Araruta	Baroa branca	Fração Baroa	Maisena	Inhame	Batata doce	Banana
1500	1º	3,32	1,32	1,02	1,80	0,83	1,03	1,01	1,29	1,03	2,20
	Replica	5,35	1,75	1,09	1,26	0,71	1,29	1,05	1,23	0,97	0,76
	Treplica	1,81	2,20	---	0,76	---	4,83	---	---	---	1,16
	Gráfico	2,6	2,0	1,1	1,0	0,8	1,2	1,0	1,3	1,0	1,0
1000	1º	0,85	1,00	0,82	1,25	0,76	1,03	0,92	0,80	0,97	1,30
	Replica	0,84	0,97	1,00	0,90	0,98	0,82	1,09	1,12	1,00	0,89
	Treplica	---	---	---	0,56	6,18	0,65	---	3,57	---	0,87
	Gráfico	0,8	1,0	0,9	0,7	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9
500	1º	1,36	0,78	0,83	0,80	0,74	0,83	1,09	0,83	0,79	0,95
	Replica	1,01	1,32	0,70	0,80	0,85	1,00	0,76	0,74	0,83	0,72
	Treplica	1,01	0,83	---	---	---	0,61	1,53	---	---	0,74
	Gráfico	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7

Índice Seletividade Gaudin - IS											
Dosagem (g/t)	Teste	Milho	Mandioca	Taro	Araruta	Baroa branca	Fração Baroa	Maisena	Inhame	Batata doce	Banana
1500	1º	14,22	21,70	21,65	19,58	26,23	23,83	20,98	19,10	24,03	17,68
	Replica	10,45	17,82	21,03	22,43	31,26	21,84	21,34	19,47	24,55	26,59
	Treplica	17,47	15,08	---	25,22	---	11,37	---	---	---	20,49
	Gráfico	15,84	16,45	21,34	23,82	28,75	22,83	21,16	19,28	24,29	23,54
1000	1º	22,73	22,72	22,55	21,14	26,75	22,39	22,06	22,54	21,56	19,59
	Replica	22,63	23,56	20,45	24,29	23,67	25,28	18,97	18,95	22,11	23,87
	Treplica	---	---	---	27,47	8,89	26,46	---	11,34	---	22,77
	Gráfico	22,68	23,14	21,50	25,88	25,21	24,71	20,51	20,74	21,84	23,32
500	1º	16,44	23,05	18,89	22,92	24,45	19,83	17,91	20,86	22,08	21,48
	Replica	19,34	17,80	21,21	22,06	22,71	15,77	22,15	22,48	21,81	25,64
	Treplica	17,76	20,88	---	---	---	21,79	16,94	---	---	23,52
	Gráfico	18,55	21,96	20,05	22,49	23,58	18,78	20,03	21,67	21,95	24,58

Fe Rejeito (%) - Fe _{rej} (%)											
Dosagem (g/t)	Teste	Milho	Mandioca	Taro	Araruta	Baroa branca	Fração Baroa	Maisena	Inhame	Batata doce	Banana
1500	1º	8,57	9,33	11,64	8,40	10,00	9,76	12,35	11,70	9,63	8,42
	Replica	9,46	10,23	11,56	9,19	8,55	9,34	11,55	11,78	9,83	10,62
	Treplica	10,12	10,99	---	11,49	---	8,94	---	---	---	11,42
	Gráfico	9,34	10,61	11,60	10,34	9,28	9,55	11,95	11,74	9,73	11,02
1000	1º	12,44	10,82	13,09	10,14	10,40	10,85	12,24	13,30	12,16	11,14
	Replica	12,70	10,59	12,99	10,62	10,37	10,72	13,63	13,39	11,38	11,04
	Treplica	---	---	---	12,84	10,89	12,08	---	11,72	---	12,26
	Gráfico	12,57	10,71	13,04	11,73	10,38	11,22	12,93	13,34	11,77	11,65
500	1º	14,37	13,11	17,21	12,87	12,33	15,68	14,90	14,54	13,83	12,44
	Replica	14,01	12,92	16,42	13,84	12,52	19,45	14,19	14,17	13,61	11,86
	Treplica	16,19	14,55	---	---	---	17,44	12,41	---	---	13,30
	Gráfico	15,10	13,83	16,81	13,35	12,42	18,44	14,55	14,36	13,72	12,58

Anexo 5 – Laudo de Análise Laboratorial do DTA/UFV



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - Telefones: (31) 3899-2227 - Fax: (31) 3899-2208 - E-mail: dta@ufv.br

LAUDO DE ANÁLISE LABORATORIAL

Cliente: VALE S.A

CNPJ: 33.592.510/0037-65

Insc. Estadual: Isento

Endereço: Av. de Ligação, 3580 - MAC (Mina de Águas Claras)

CEP: 34000-000 Nova Lima/MG

Materiais para Análise: Amostras de amido de milho; farinhas amiláceas de araruta, banana, batata baroa, parte aérea de batata baroa, batata doce vermelha, inhame e taro; fubá e grits de milho; farelo de mandioca e farinha de raspa de mandioca.

Análises Requisitadas: Teor de cinza, teor de amido, teor de amilose e teor de amilopectina.

Observações:

Os resultados desta prestação de serviços estão compilados com resultados de análises da prestação de serviços anterior.

Mônica Ribeiro Pirozi

Viçosa, 29 de junho de 2012.

Anexo 5 – Laudo de Análise Laboratorial do DTA/UFV - Continuação

Resultados:

	Teor de Água (%)	Proteína (%)	Matéria Graxa (%)	Teor de Cinza (%)	Amido Total (%)	Amilose (%)	Amilopeptina (%)
Amido de milho	11,01 ± 0,51	0,23 ± 0,00	0,03 ± 0,02	0,08 ± 0,02	90,26 ± 0,99	44,35 ± 1,40	55,65
Farinha de Boroa (parte aérea)	7,46 ± 0,23	15,01 ± 0,80	1,29 ± 0,09	6,19 ± 0,08	34,62 ± 0,46	29,61 ± 5,84	70,39
Farinha de Boroa (raiz)	10,92 ± 0,20	3,85 ± 0,21	0,59 ± 0,06	2,62 ± 0,03	67,32 ± 1,07	33,88 ± 5,14	66,12
Farinha de Inhame	6,24 ± 0,16	8,67 ± 0,26	0,26 ± 0,00	3,60 ± 0,18	64,09 ± 0,40	26,67 ± 1,73	73,33
Farinha de Taro	6,84 ± 0,51	4,15 ± 0,58	0,63 ± 0,11	2,29 ± 0,17	58,74 ± 0,55	30,8 ± 2,73	69,20
Farinha de Araruta	14,52 ± 0,12	3,92 ± 0,73	0,26 ± 0,05	2,83 ± 0,13	76,25 ± 3,98	30,44 ± 0,32	69,56
Fubá de Milho	10,94 ± 0,26	6,36 ± 0,94	1,61 ± 0,06	0,36 ± 0,03	77,08 ± 1,05	36,47 ± 1,70	63,53
Farinha de Batata Doce Verm.	9,30 ± 0,11	4,74 ± 0,85	1,65 ± 0,01	2,23 ± 0,06	59,73 ± 3,02	13,84 ± 0,92	86,16
Farinha de Banana	9,90 ± 0,09	3,94 ± 0,13	0,42 ± 0,05	1,73 ± 0,06	63,81 ± 3,65	9,45 ± 2,58	90,55
Farelo de Mandioca	14,54 ± 0,09	1,88 ± 0,15	0,14 ± 0,01	1,55 ± 0,02	50,74 ± 2,18	17,31 ± 3,51	82,68
Rassa de Mandioca	9,67 ± 0,04	2,26 ± 0,21	0,69 ± 0,11	1,29 ± 0,01	64,29 ± 3,17	11,3 ± 2,95	88,71
Grão de Milho	12,64 ± 0,02	6,27 ± 0,21	0,85 ± 0,19	0,26 ± 0,02	60,17 ± 3,88	16,88 ± 1,90	83,12

* Todas as análises em base de umidade as is. Teor de água, matéria graxa, proteína e cinza seguiram métodos de referência, de acordo com A.O.A.C. Análises de amido total, amilose e amilopeptina foram realizadas seguindo método da A.A.C.C., por meio de kits enzimáticos.

Mônica Ribeiro Pirozi

Viçosa, 29 de junho de 2012.

Anexo 5 – Laudo de Análise Laboratorial do DTA/UFV - Final

Discussão:

O amido de milho puro, referência neste estudo, apresentou teores de amido total, de amilose e amilopectina compatíveis com a literatura, porém não consistentes com o esperado para amostra de amido de milho ceroso. Não foram encontradas, na pesquisa realizada, informações sobre a composição da parte aérea da batata baroa para efeitos de discussão dos resultados. Todos os demais resultados estão de acordo com o esperado para suas fontes. Farinhas são materiais de composição naturalmente heterogênea, por conterem frações de diferentes partes estruturais dos vegetais, no entanto, as farinhas de parte aérea de batata, de banana, de raspas e de farelo de mandioca recebidas para análise apresentaram granulometria relativamente grosseira, a qual deve ter impactado na homogeneidade das replicatas, conforme observado pela alta variabilidade dos resultados. Tais resultados foram, no entanto, revistos e confirmados.

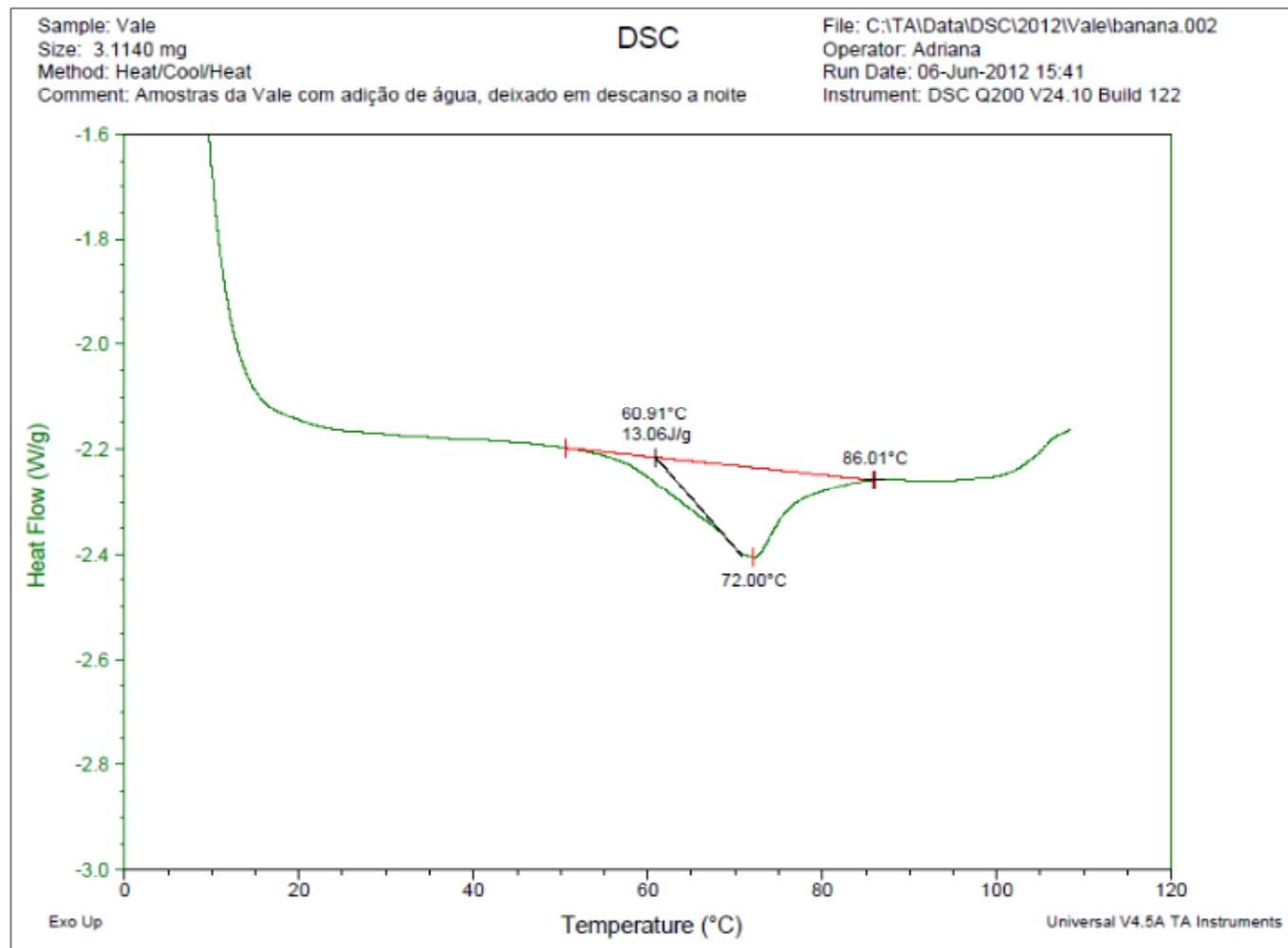
Comentários:

Amostragem foi realizada pelo interessado, sendo as amostras recebidas em sacos de polietileno e mantidas sob temperaturas de -4°C até o momento das análises. Todos os resultados de análises foram confirmados por triplicatas. Os resultados expressos referem-se exclusivamente ao material recebido no DTA/UFV.

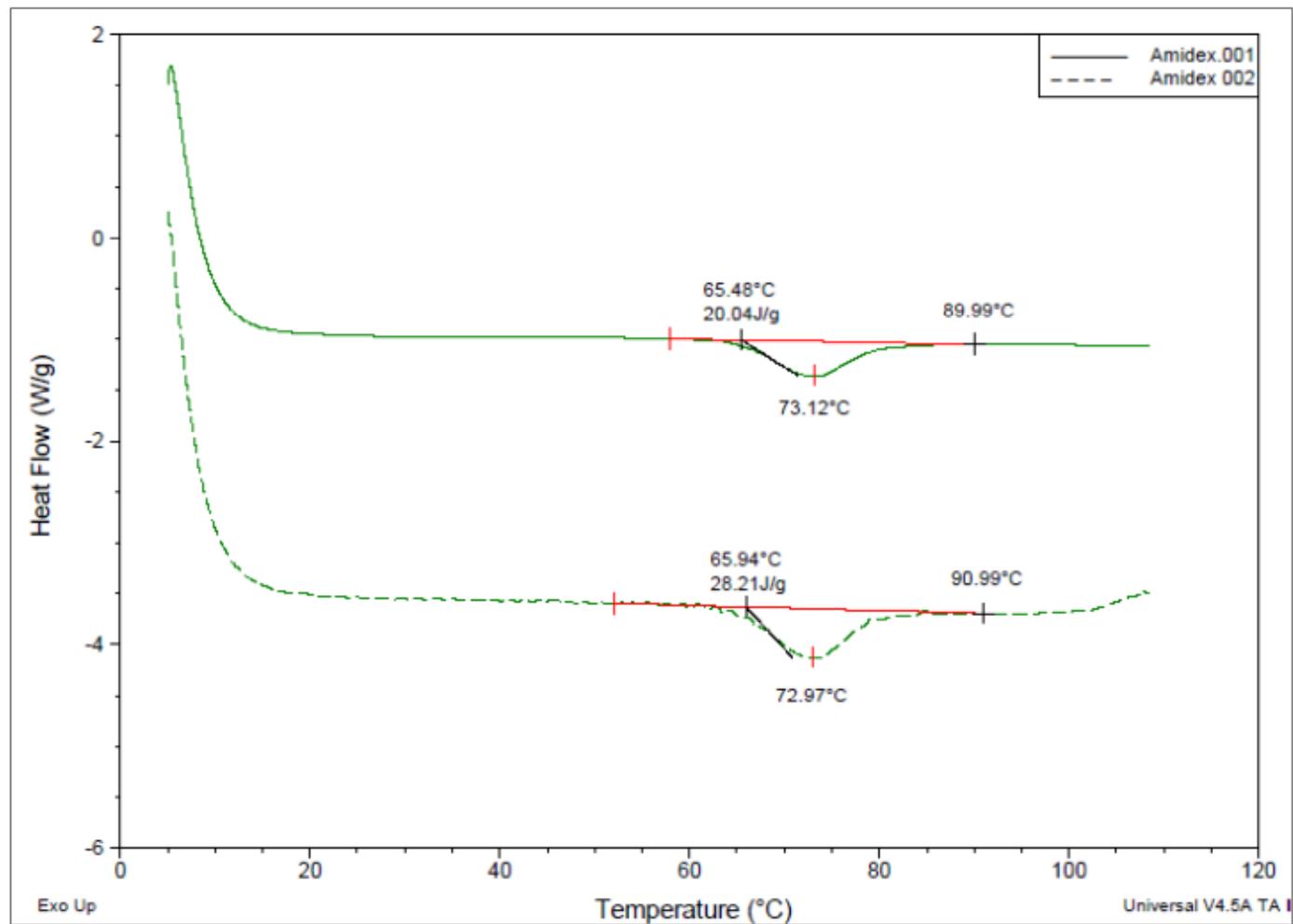
Mônica Ribeiro Pirozi

Viçosa, 29 de junho de 2012.

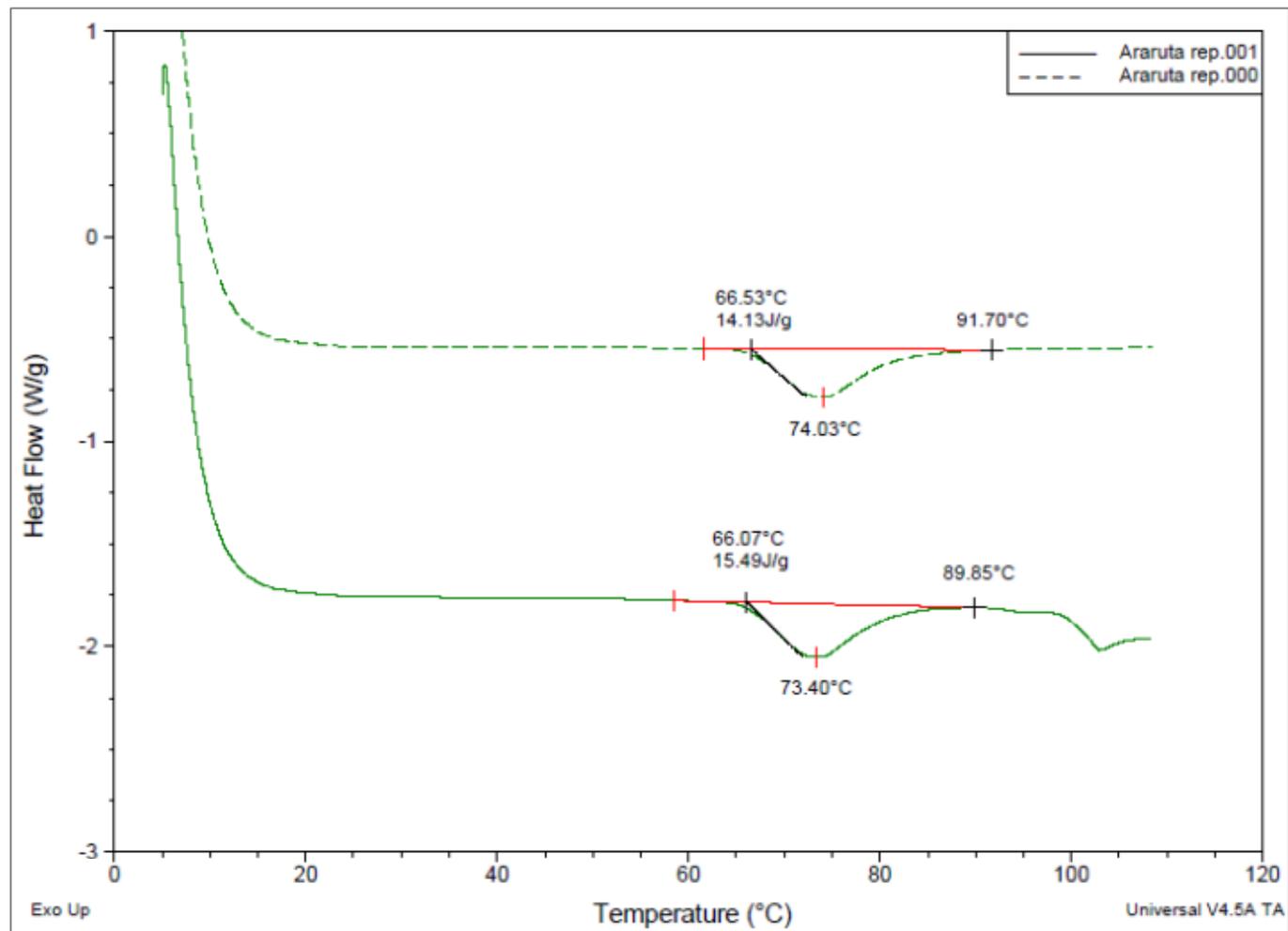
Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC - Banana



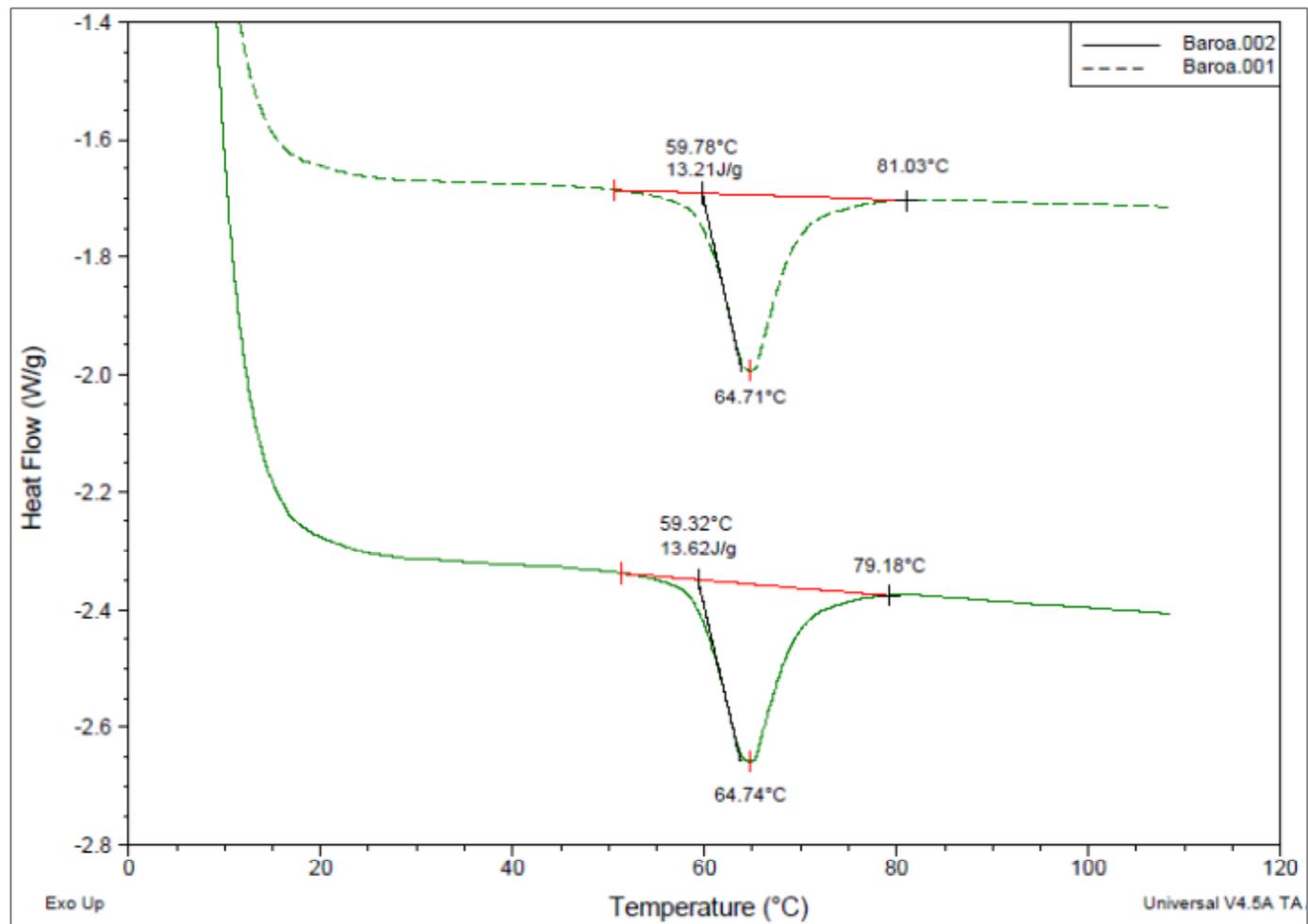
Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Continuação - Maisena



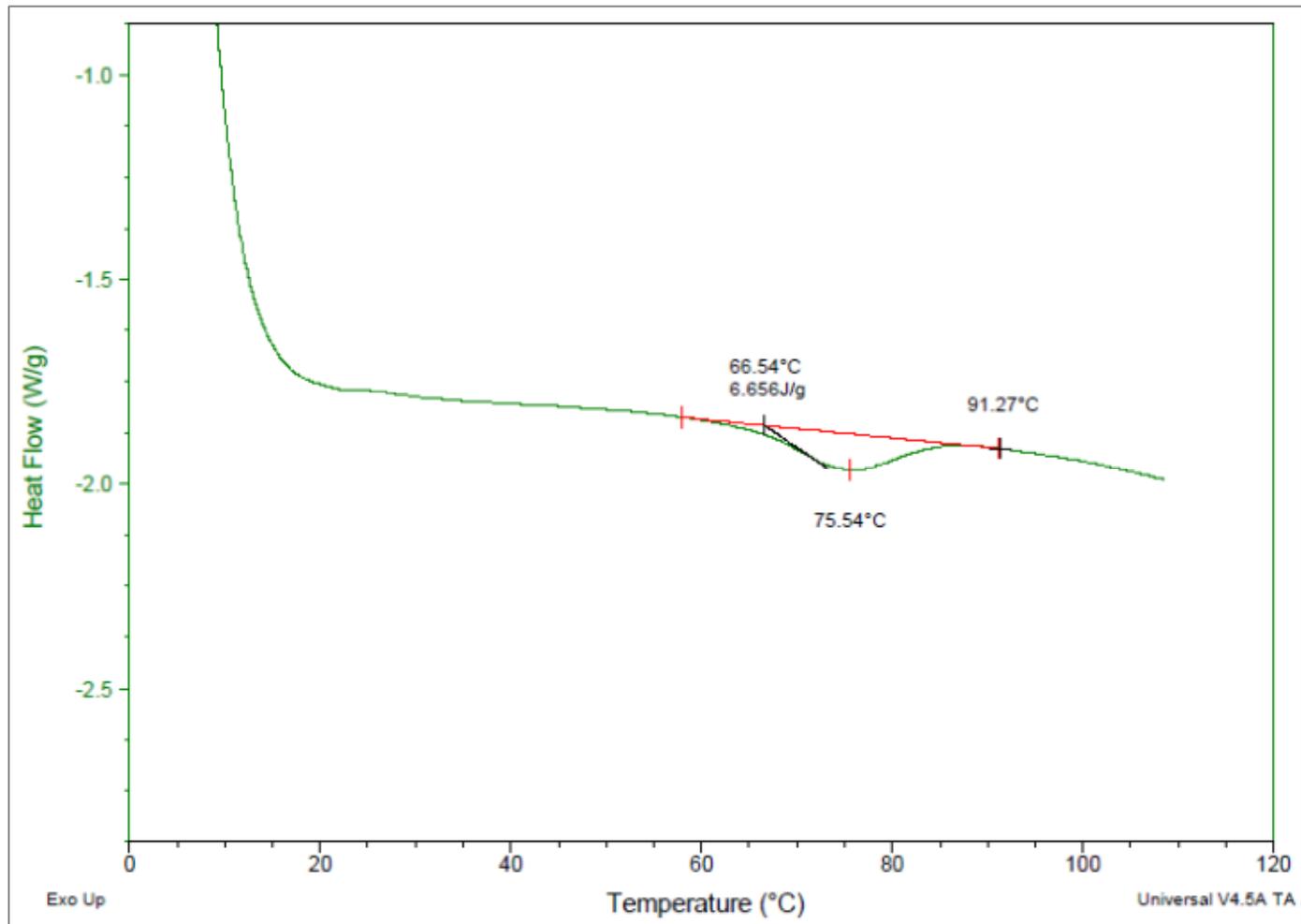
Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Continuação – Araruta



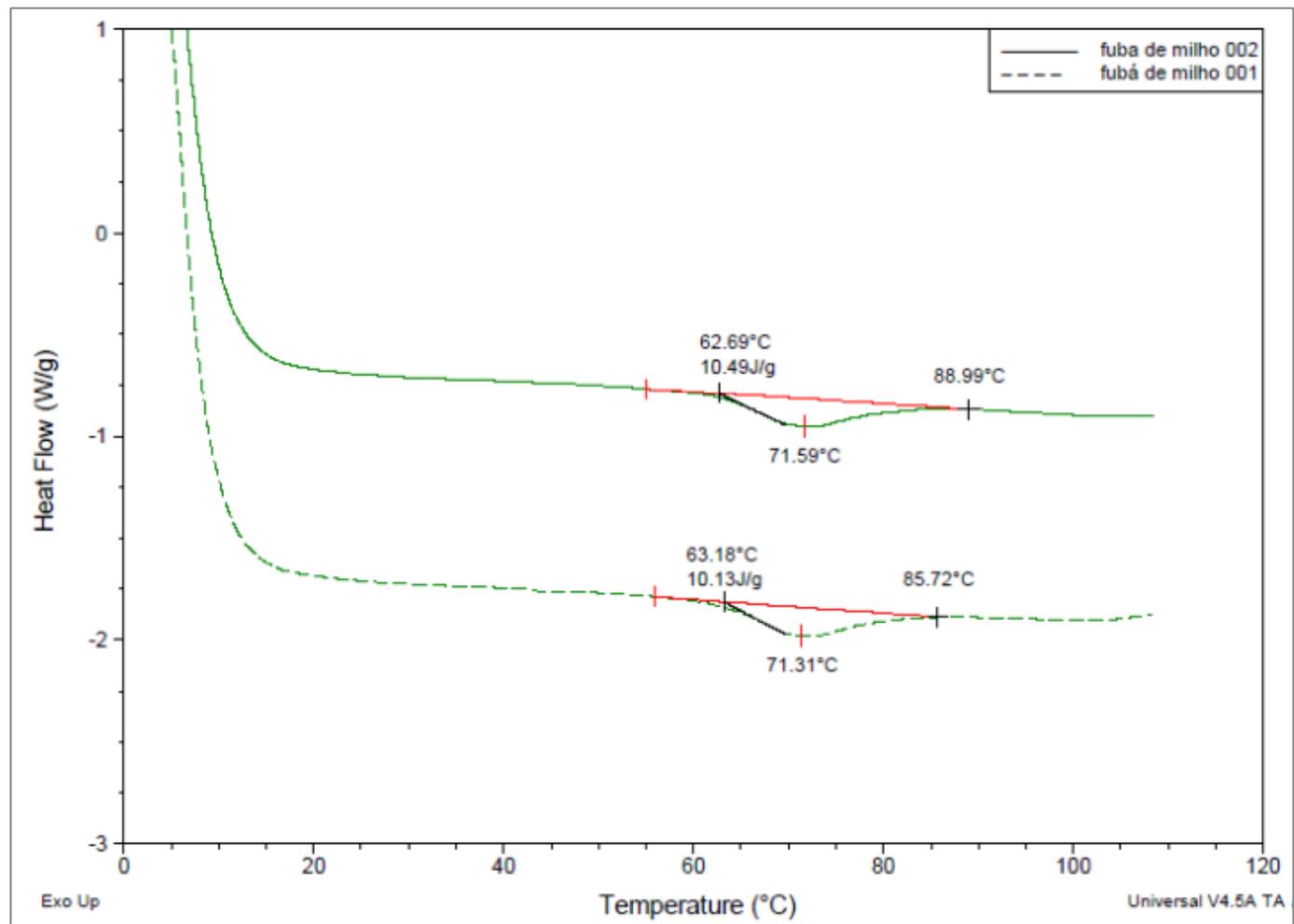
Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Continuação – Baroa branca



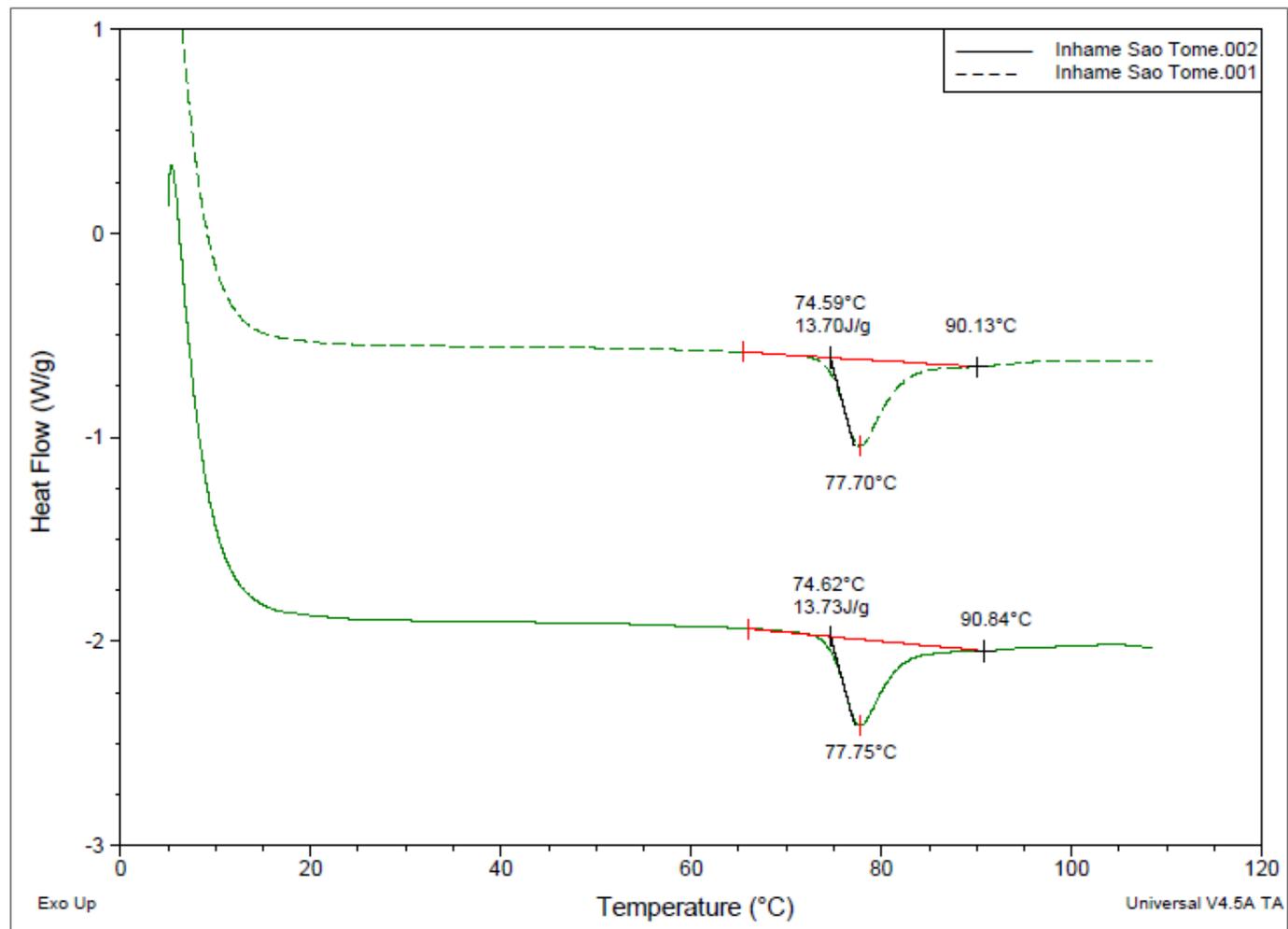
Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Continuação – Batata doce



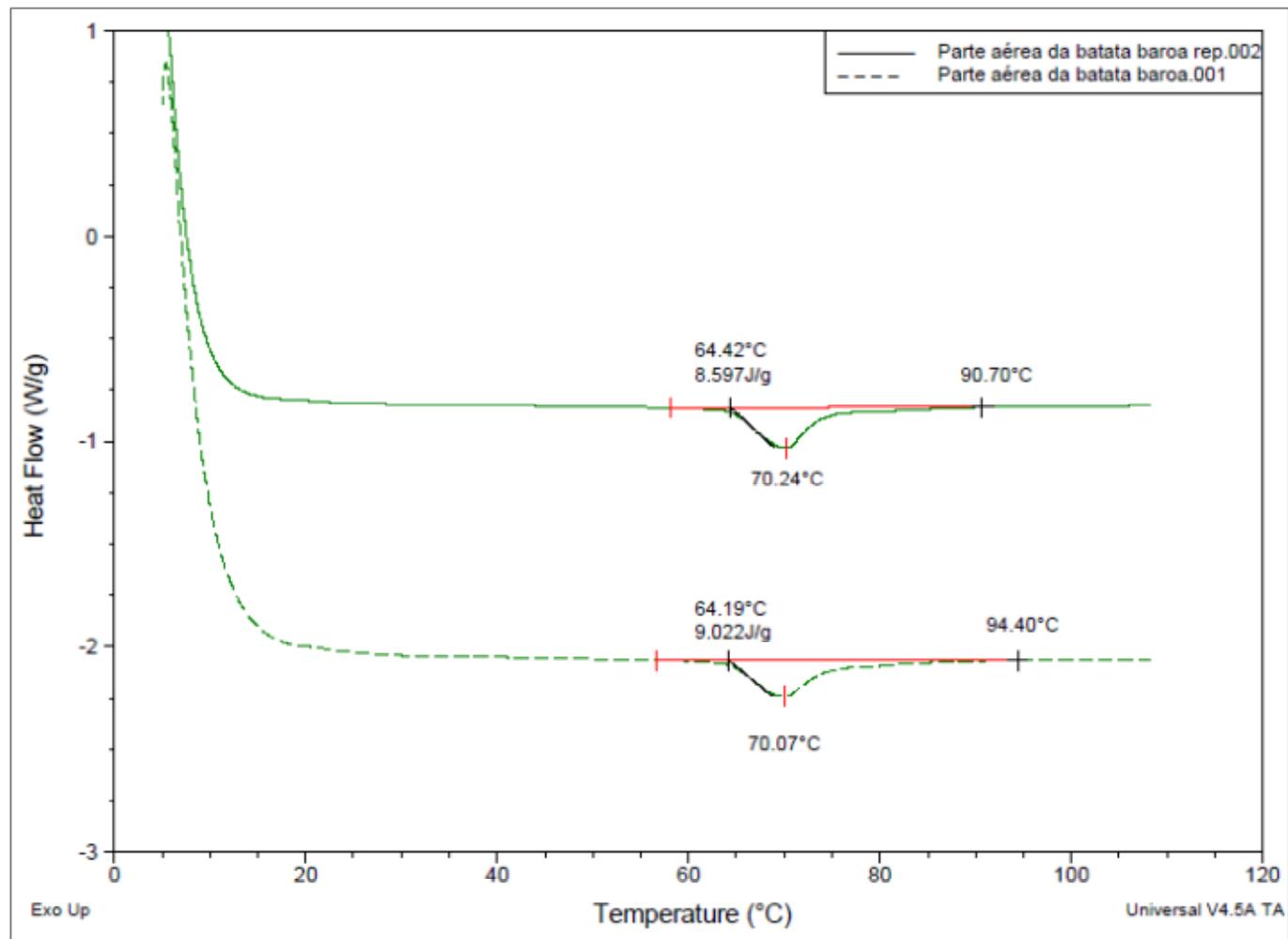
Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Continuação – Fubá de milho



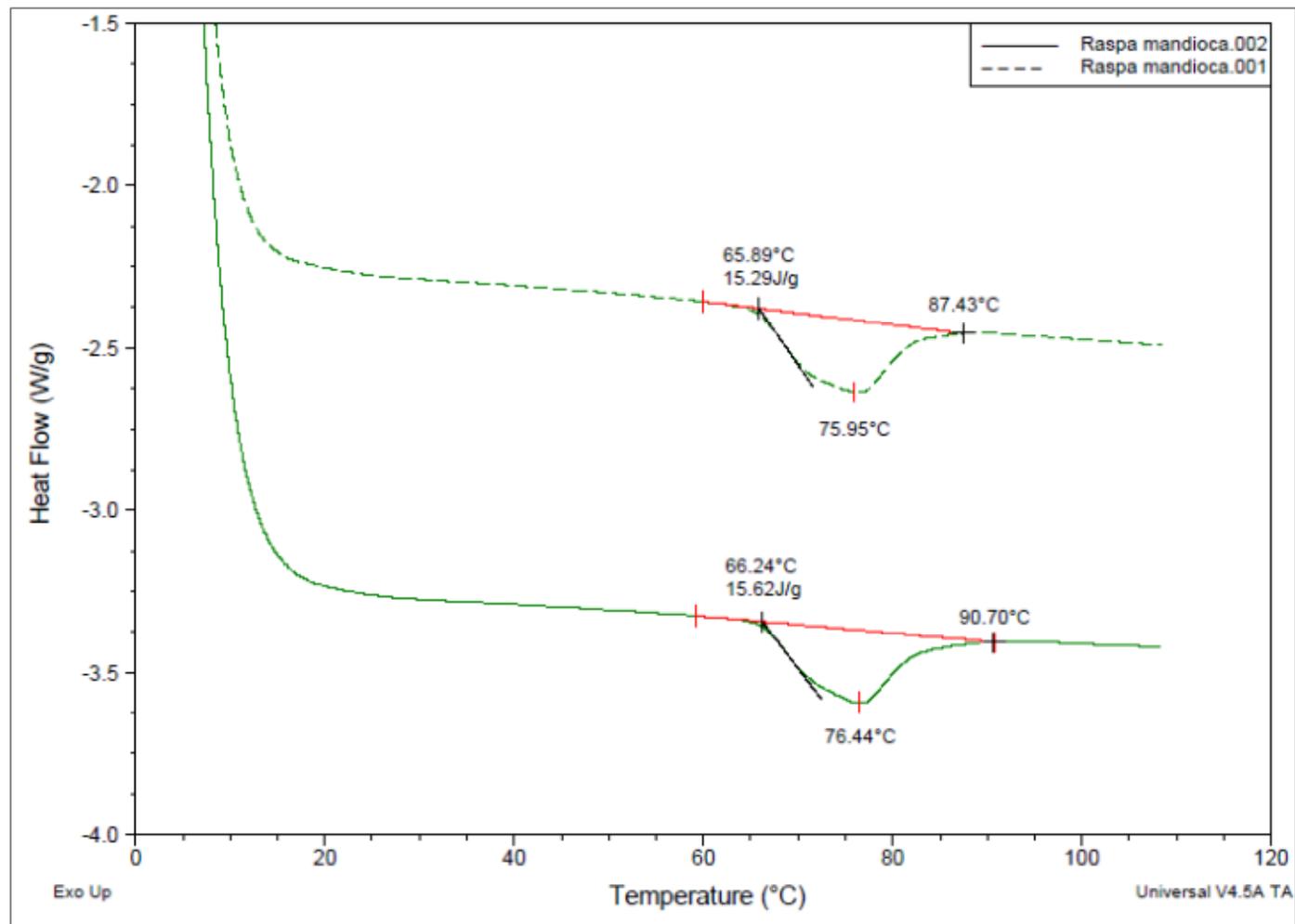
Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Continuação – Inhame São Tomé



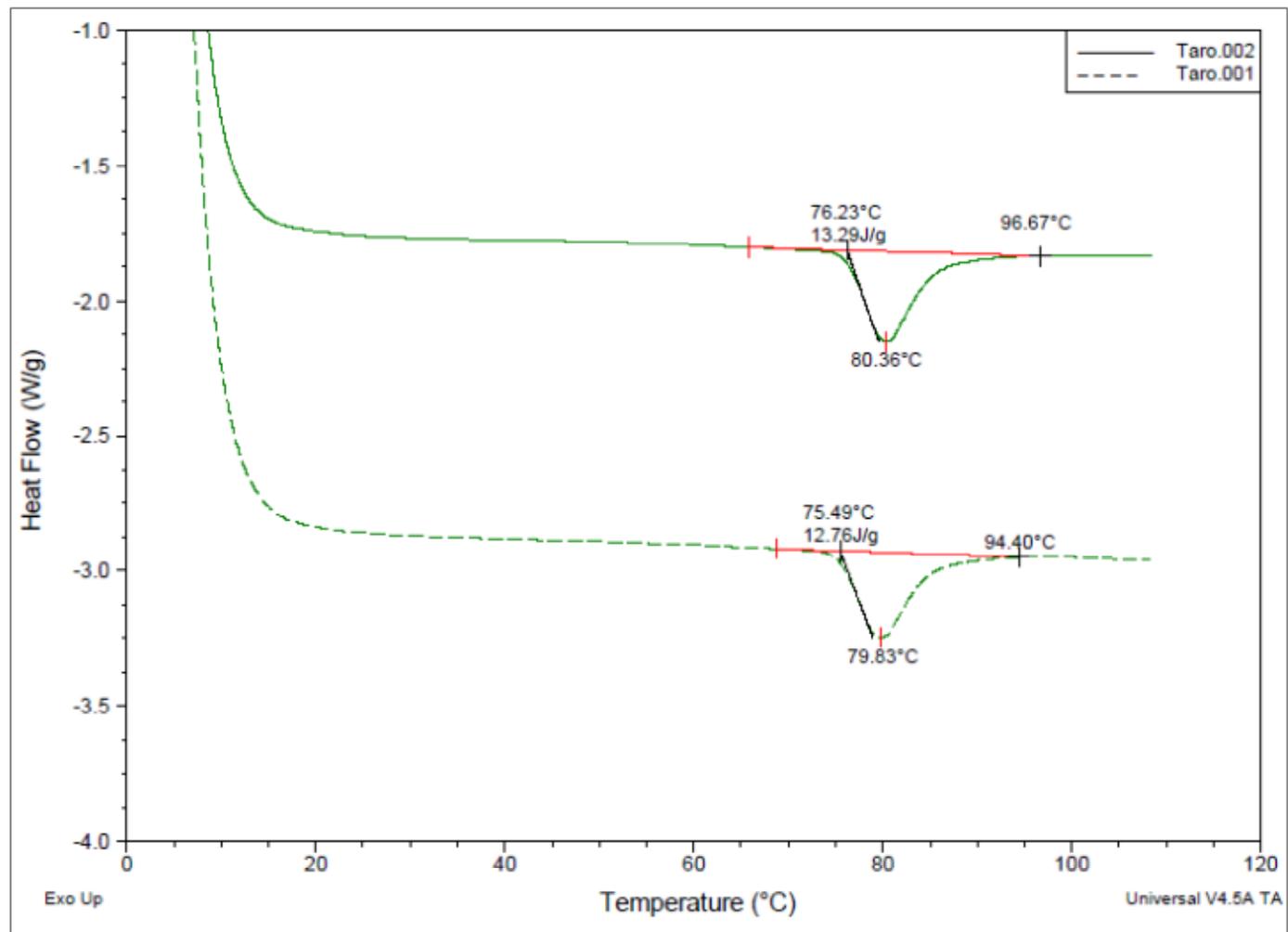
Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Continuação – Fração aérea (coroa) da batata baroa



Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Continuação – Raspa de mandioca



Anexo 6 – Curvas de gelatinização via DSC – Final – Taro (vulgo cará)



Anexo 7 – Difractogramas (DRX) das fontes de amido

		RESULTADO DE ANÁLISE	Página 1 de 4
			Número R006112
DADOS DO CLIENTE			
Solicitante:	VALE S/A		
Endereço:	Avenida de Ligação, nº 3580 - Prédio 4 MAC - Mina de Águas Claras Nova Lima - MG - CEP: 45490-000		
Nome do Material:	Amidos		
Número da Requisição:	0032/2012		
Data de Entrada:	27/01/2012		
Data da Análise:	De 13/02/2012 a 17/02/2012		
Código CRA:	1200272 a 1200281		
RESULTADOS OBTIDOS			
DETERMINAÇÃO DE CRISTALINIDADE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)			
AMOSTRA	COD. CRA	UMIDADE (%)	CRISTALINIDADE (%)
FUBÁ DE MILHO	1200272	11,14	28,8
RASPA DE MANDIOCA	1200273	11,43	32,5
INHAME SÃO TOMÉ	1200274	7,35	34,2
BAROA	1200275	11,65	32,6
AMIDEX	1200276	13,15	44,8
TARO	1200277	8,52	32,8
PARTE AÉREA DA BATATA BAROA	1200278	8,54	29,2
ARARUTA	1200279	15,38	35,3
BANANA	1200280	18,66	33,1
BATATA DOCE	1200281	12,10	30,6

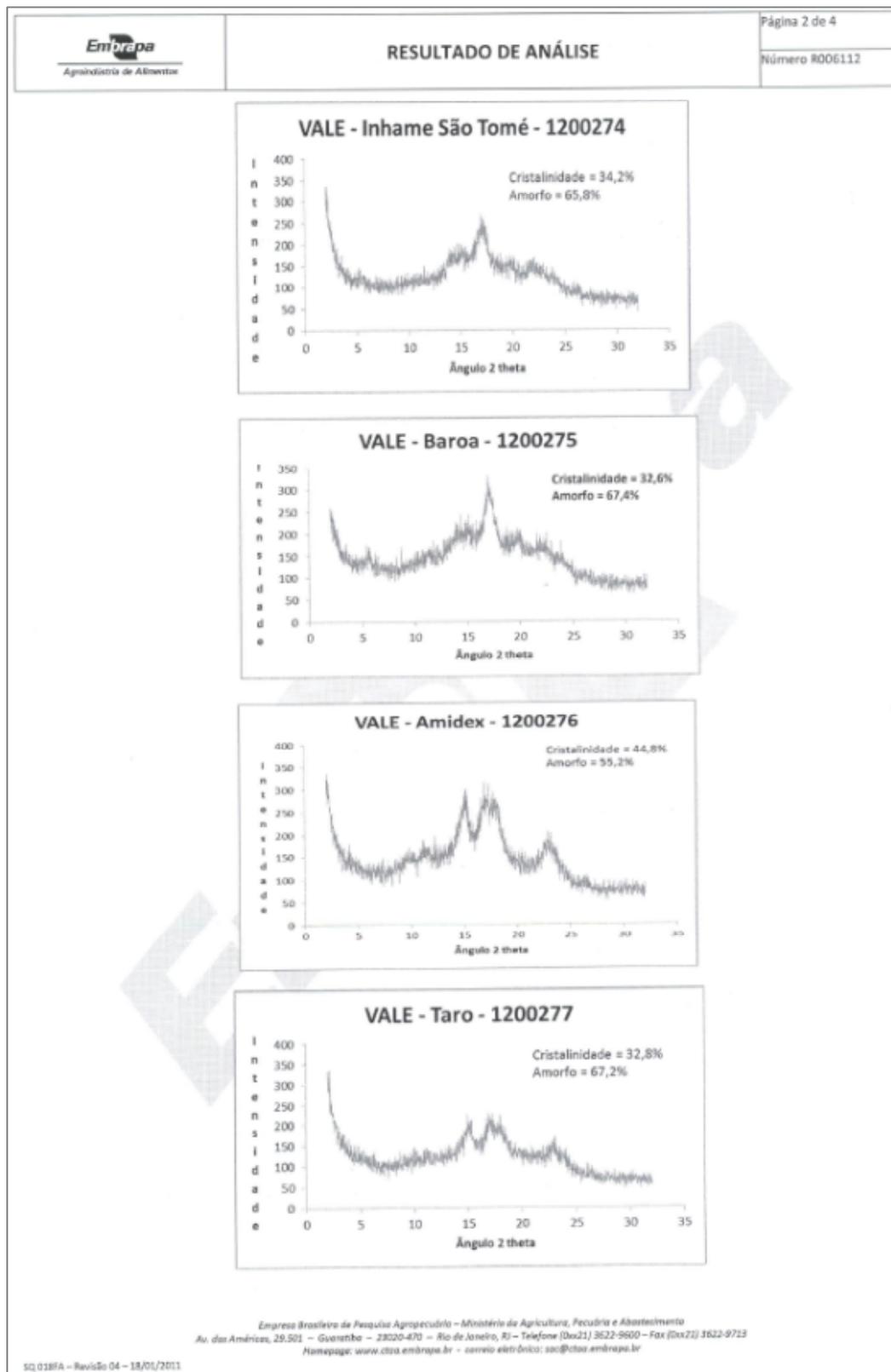
VALE - Fubá de milho - 1200272

VALE - Raspa de mandioca - 1200273

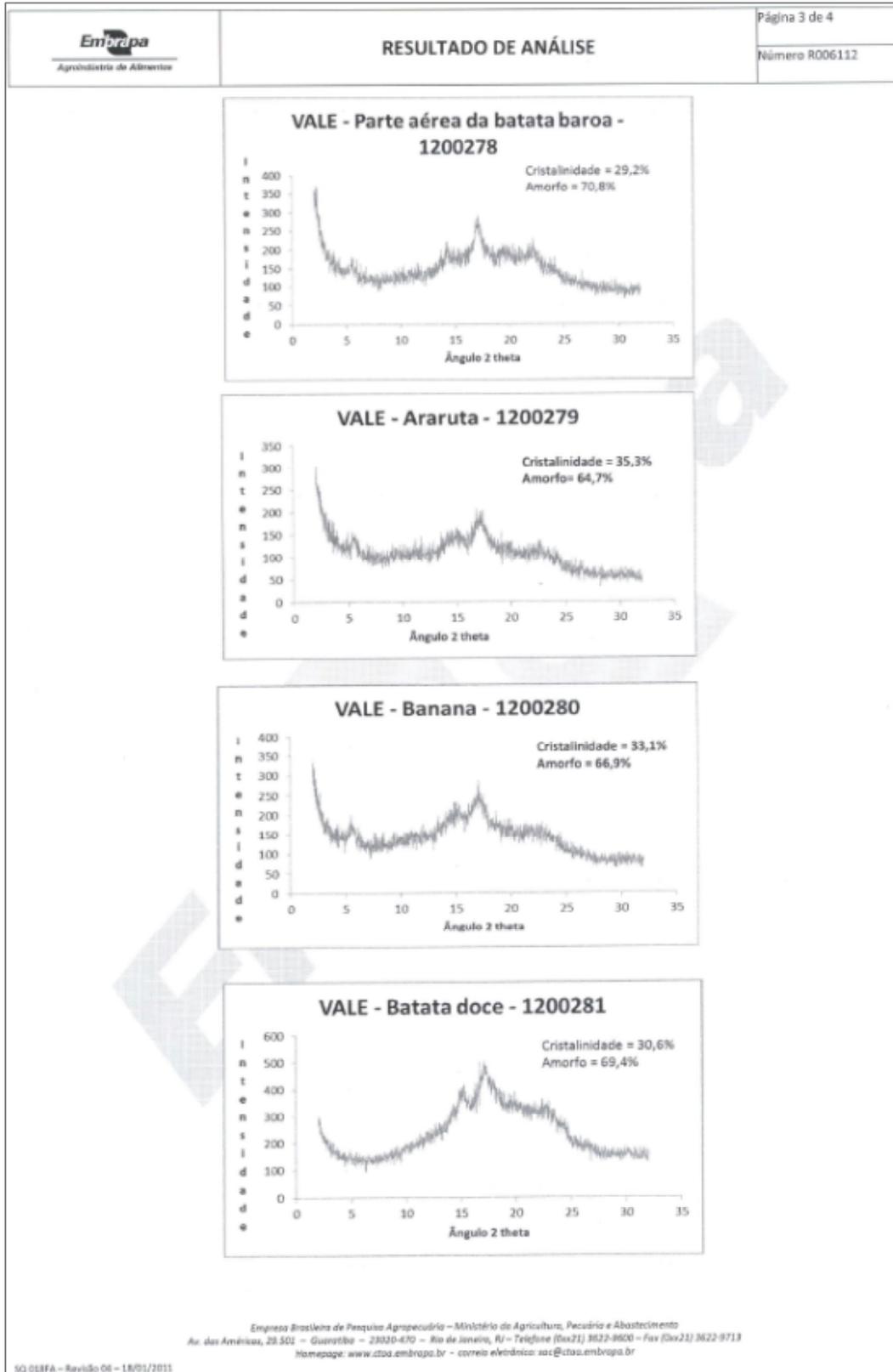
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
 Av. das Américas, 29.501 - Guaratiba - 23020-470 - Rio de Janeiro, RJ - Telefone (0xx21) 3623-9600 - Fax (0xx21) 3622-9713
 Homepage: www.ctaa.embrapa.br - correio eletrônico: soc@ctaa.embrapa.br

SQ 018FA - Revisão 04 - 18/01/2011

Anexo 7 – Difratoformas (DRX) das fontes de amido – Continuação



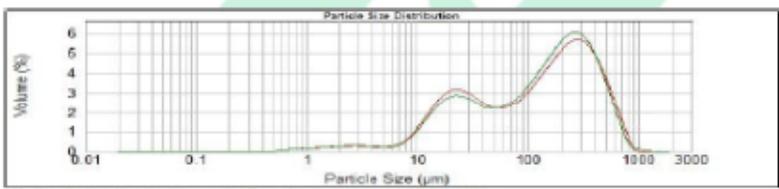
Anexo 7 – Difratoformas (DRX) das fontes de amido – Continuação



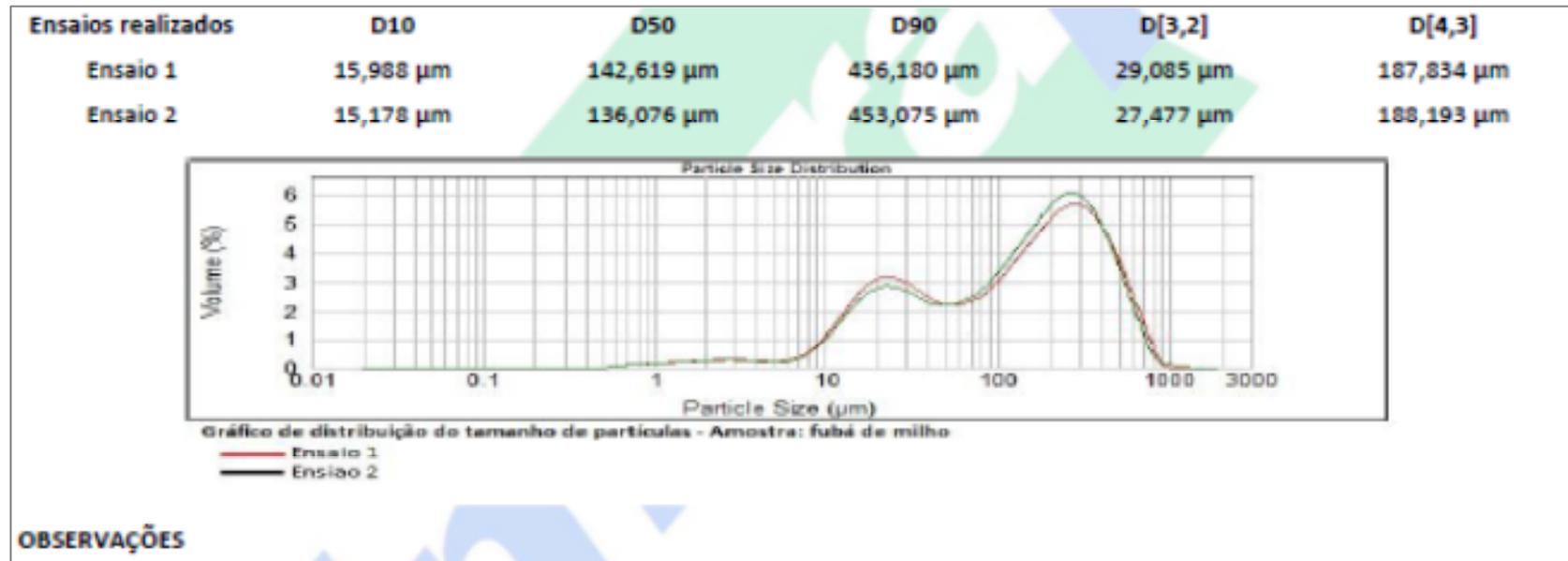
Anexo 7 – Difractogramas (DRX) das fontes de amido – Final

 Agricultura de Alimentos	RESULTADO DE ANÁLISE	Página 4 de 4 Número R006112
OBSERVAÇÕES		
<ul style="list-style-type: none">❖ Metodologia aplicada: WU, Y.; CHEN, Z.; LI, X.; WANG, Z. Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification. LWT - Food Science and Technology, v. 43, n. 3, p. 492-497, 2010.❖ O Resultado da Análise refere-se exclusivamente à amostra ensaiada, sendo o solicitante responsável pela amostragem e coleta do material.❖ Este Resultado de Análise só pode ser reproduzido por completo e com autorização deste laboratório.❖ Prazo máximo para pedido de contra prova de análise é de trinta dias a partir da data de emissão do laudo final.		
Rio de Janeiro, 27 de fevereiro de 2012.		
 _____ Rogério Germani Chefe Adjunto de P&D Embrapa Agroindústria de Alimentos	 _____ Cristina Yoshie Takeiti Responsável Técnica Laboratório de Cereais	
<small>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Av. das Américas, 29.501 – Guaratiba – 23020-470 – Rio de Janeiro, RJ – Telefone (0xx21) 3622-9600 – Fax (0xx21) 3622-9713 Homepage: www.ctaa.embrapa.br – correio eletrônico: sac@ctaa.embrapa.br</small>		

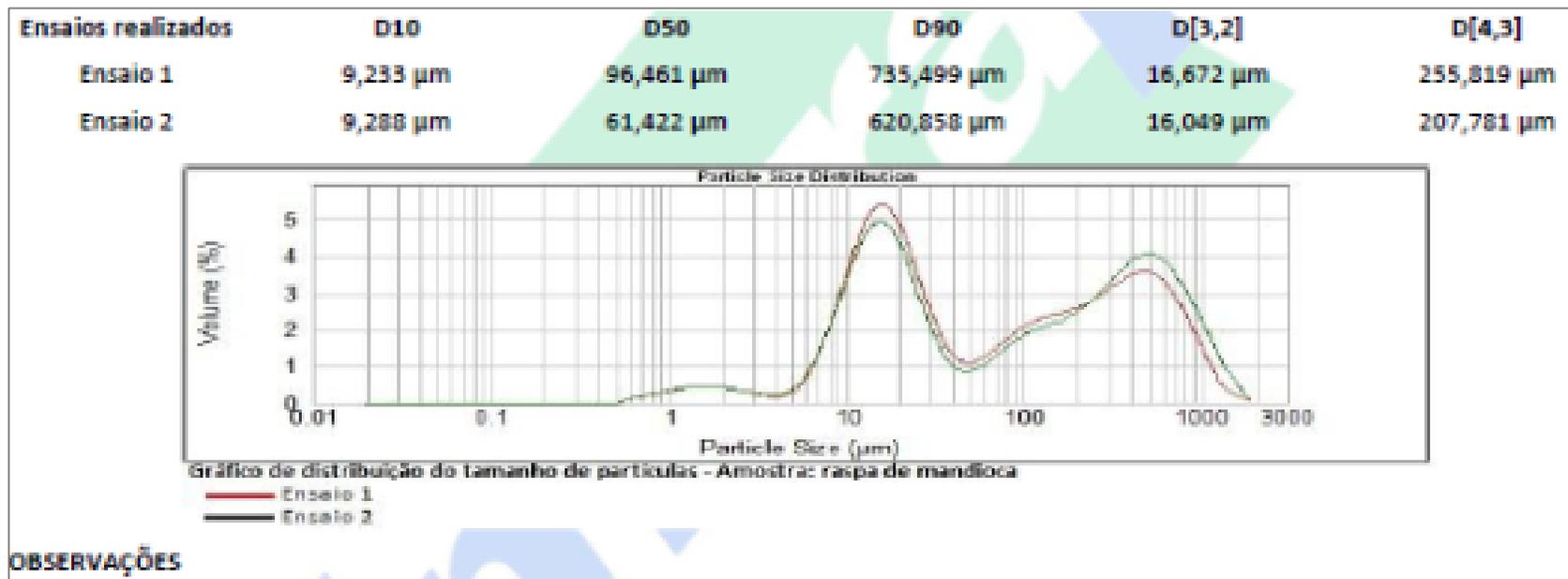
Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos

		RESULTADO DE ANÁLISE		Página 1 de 1 Número 022/2012	
DADOS DO SOLICITANTE					
Solicitante:	VALE S/A				
Endereço:	Avenida de Ligação, 3580 Prédio 4MAC – Mina de Águas Claras – Nova Lima, MG - CEP: 45490-000				
Nome do Material:	Fontes de amido – FUBÁ DE MILHO				
Número da Requisição:	0032/2012				
Data de Entrada:	27/01/2012				
Data da Análise:	21/03/2012				
Código CRA:	1200272				
PARÂMETROS DE ANÁLISE					
Dispersante utilizado:	Água	Faixa de trabalho:	0,02 – 2000 µm		
RESULTADOS OBTIDOS					
Ensaio realizado	D10	D50	D90	D[3,2]	D[4,3]
Ensaio 1	15,988 µm	142,619 µm	436,180 µm	29,085 µm	187,834 µm
Ensaio 2	15,178 µm	136,076 µm	453,075 µm	27,477 µm	188,193 µm
 <p>Gráfico de distribuição do tamanho de partículas - Amostra: fubá de milho</p> <p>— Ensaio 1 — Ensaio 2</p>					
OBSERVAÇÕES					
<ul style="list-style-type: none"> ✦ Metodologia – BALTES, W. Rapid method for analysis of food and food raw material. Technomic Publishing Co., Inc 1990, p. 366-372. ✦ O Resultado da Análise refere-se exclusivamente à amostra ensaiada, sendo o solicitante responsável pela amostragem e coleta do material. ✦ Este Resultado de Análise só pode ser reproduzido por completo e com autorização deste laboratório. 					
Rio de Janeiro, 03 de Abril de 2012.					
Rogério Germani Chefe Adjunto de P&D Embrapa Agroindústria de Alimentos			Cristina Yoshie Takeiti Responsável Técnico Laboratório de Cereais		
<small> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Av. das Américas, 29.501 – Guaratiba – 23020-470 – Rio de Janeiro, RJ – Telefone (0xx21) 3622-9800 – Fax (0xx21) 3622-9713 Homepage: www.citae.embrapa.br - correio_eletronico: sa@ctae.embrapa.br </small>					
<small>SQ 021FB – Rev.04 – 18/01/2011</small>					

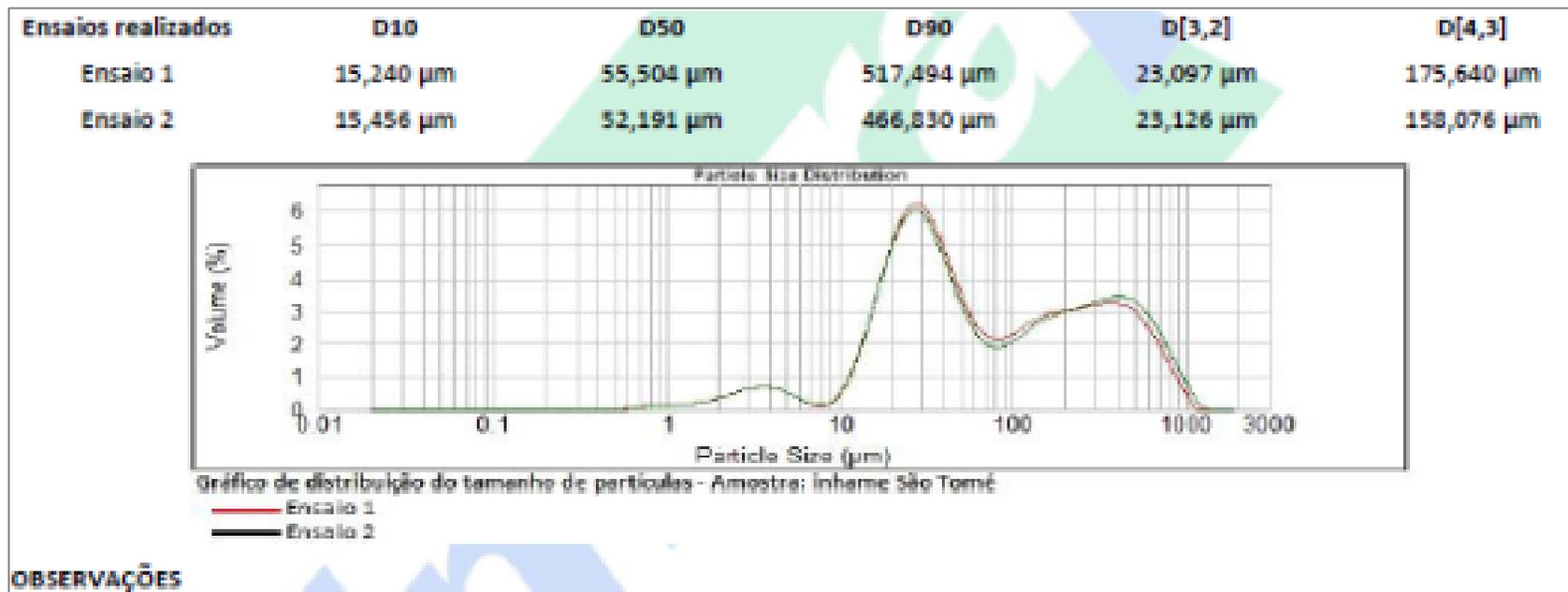
Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – Fubá de milho



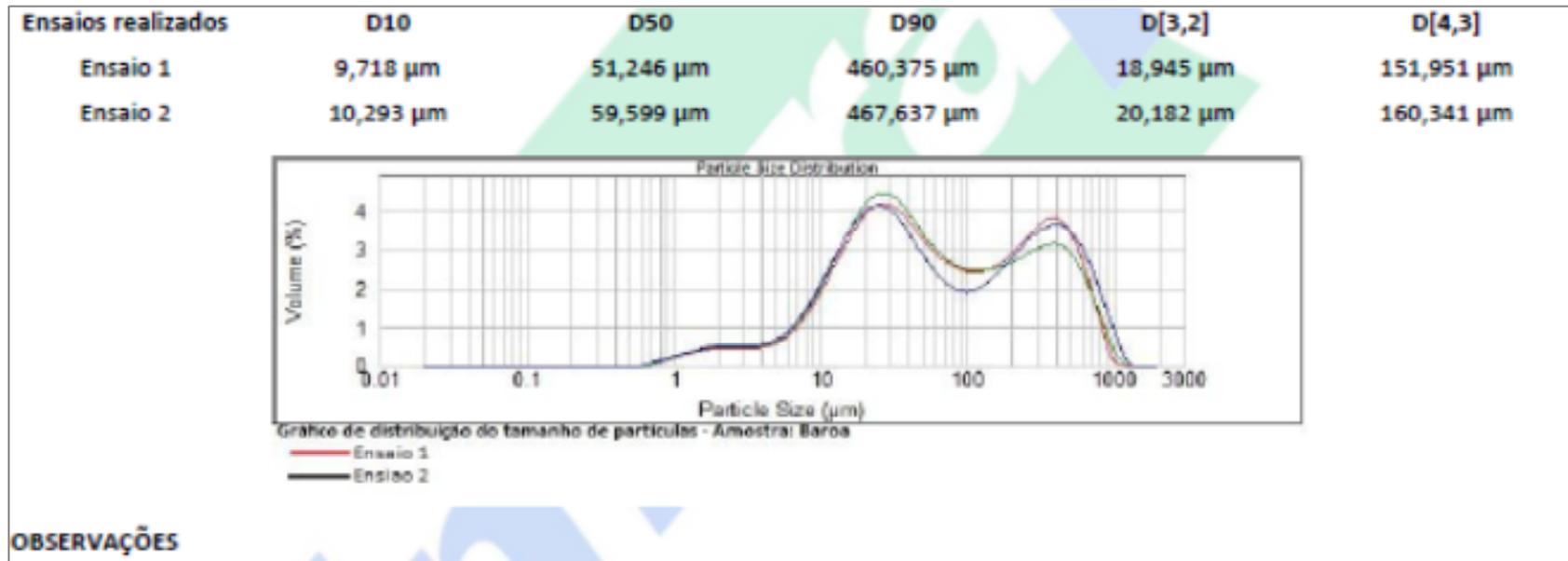
Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – Raspa de mandioca



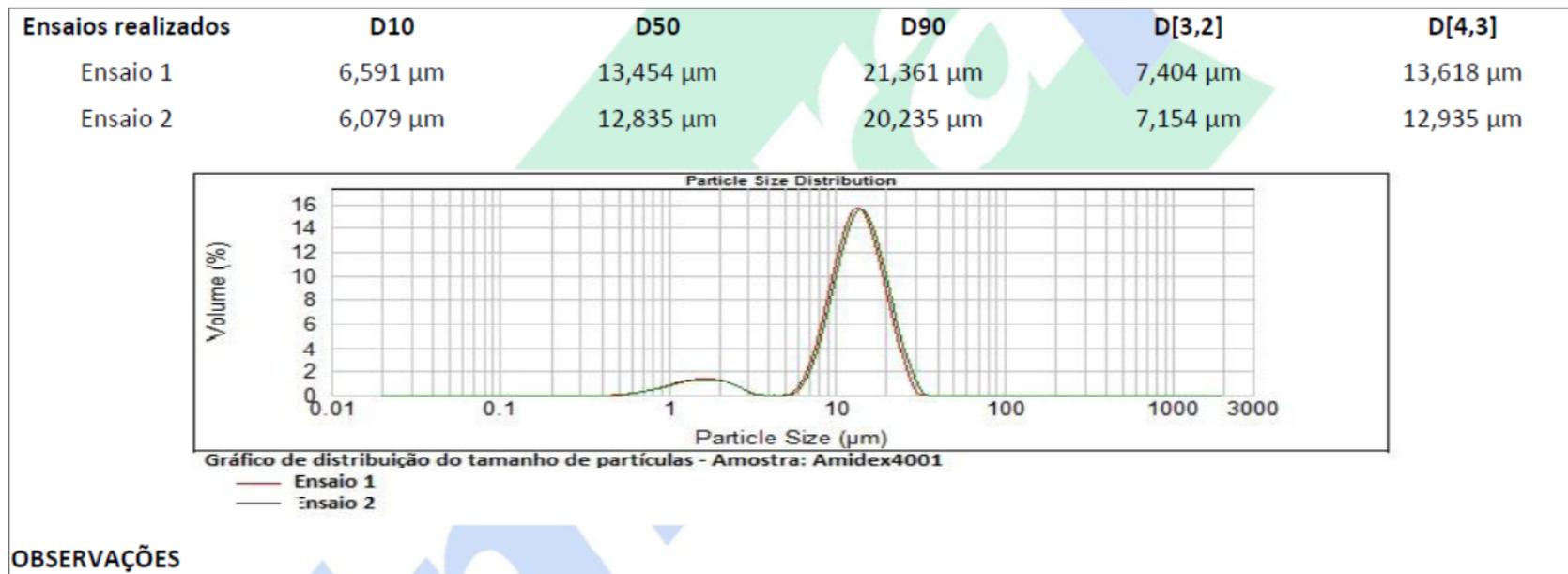
Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – Inhame São Tomé



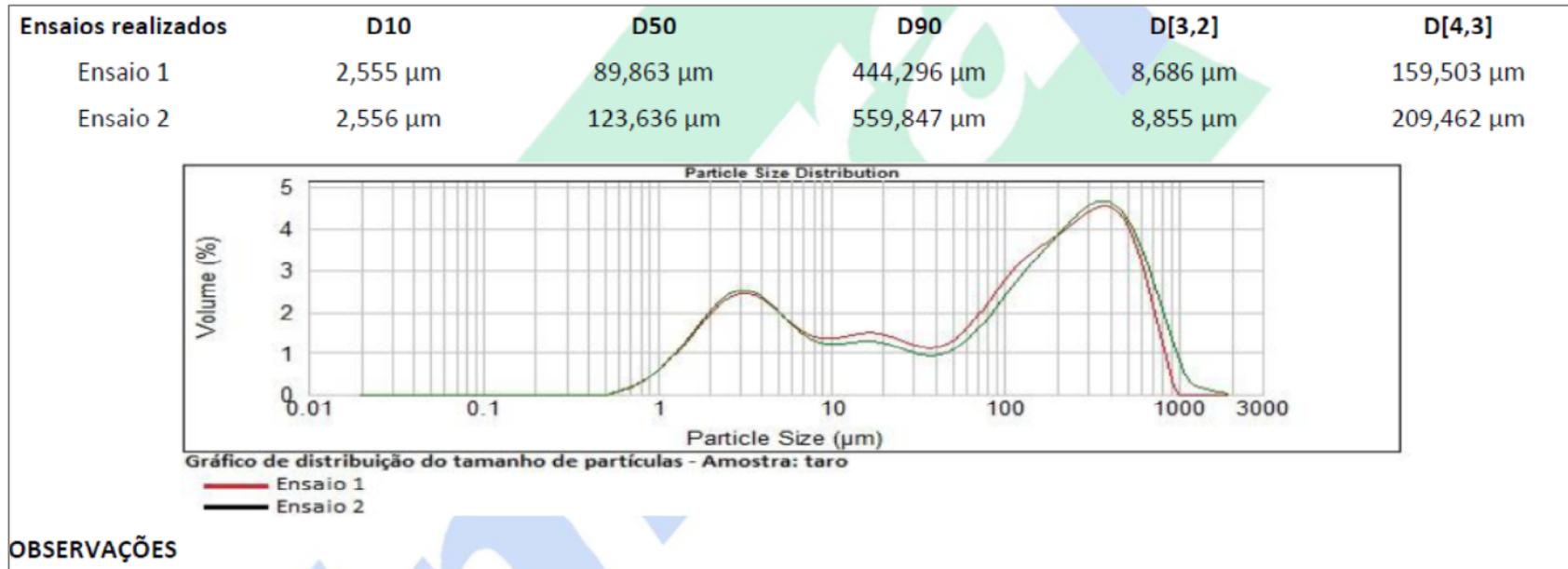
Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – baroa branca



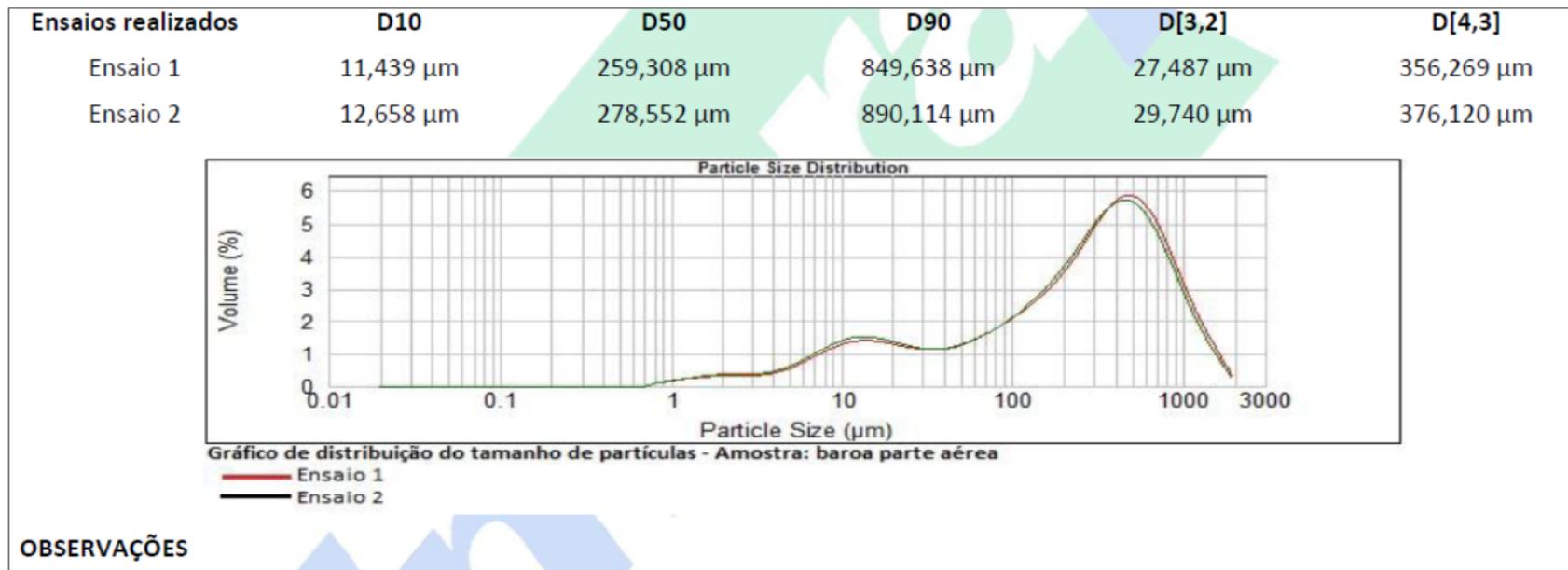
Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – Amido de milho - Maisena



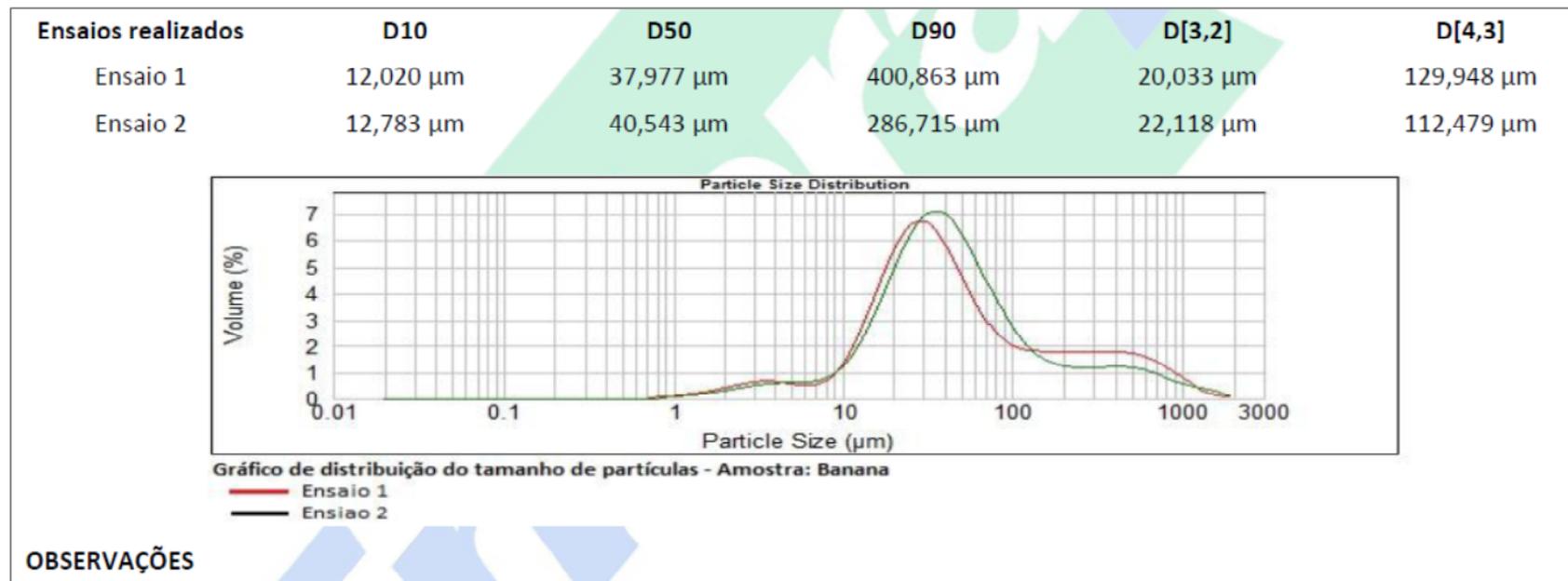
Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – Taro



Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – Coroa da baroa branca



Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – banana verde



Anexo 8 – Curvas granulométricas dos amidos – batata doce

Ensaio realizado	D10	D50	D90	D[3,2]	D[4,3]
Ensaio 1	11,394 μm	89,571 μm	528,624 μm	22,957 μm	194,035 μm
Ensaio 2	12,173 μm	109,203 μm	731,879 μm	24,997 μm	255,424 μm

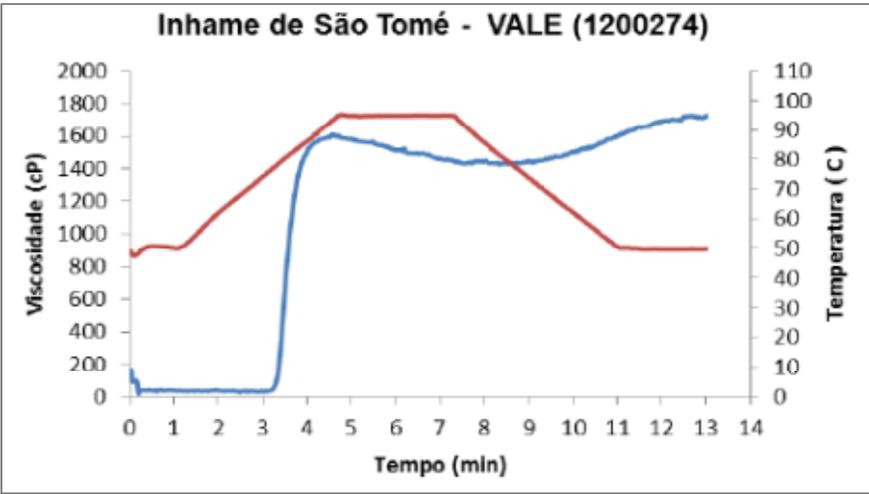
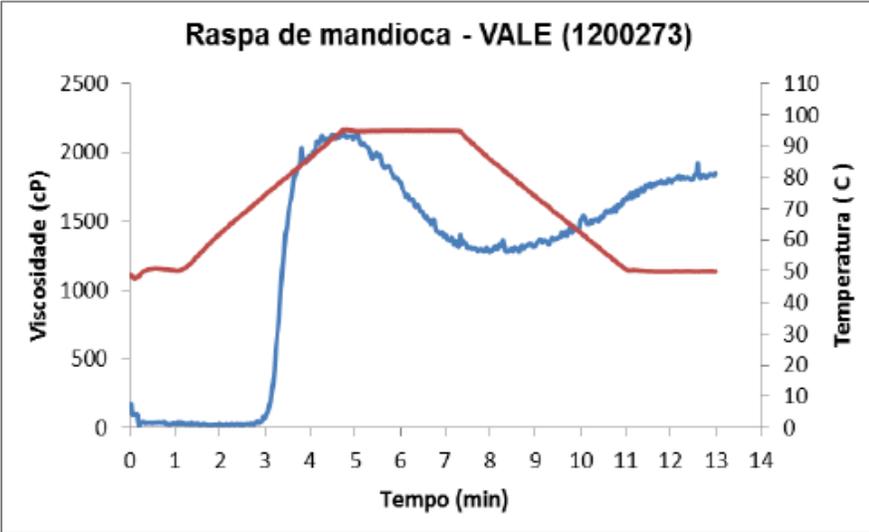
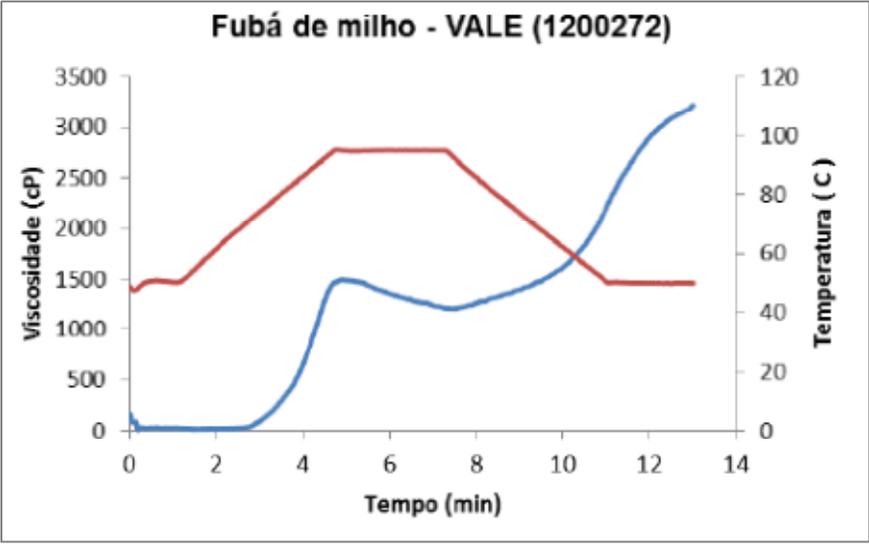
Particle Size Distribution

Gráfico de distribuição do tamanho de partículas - Amostra: batata doce

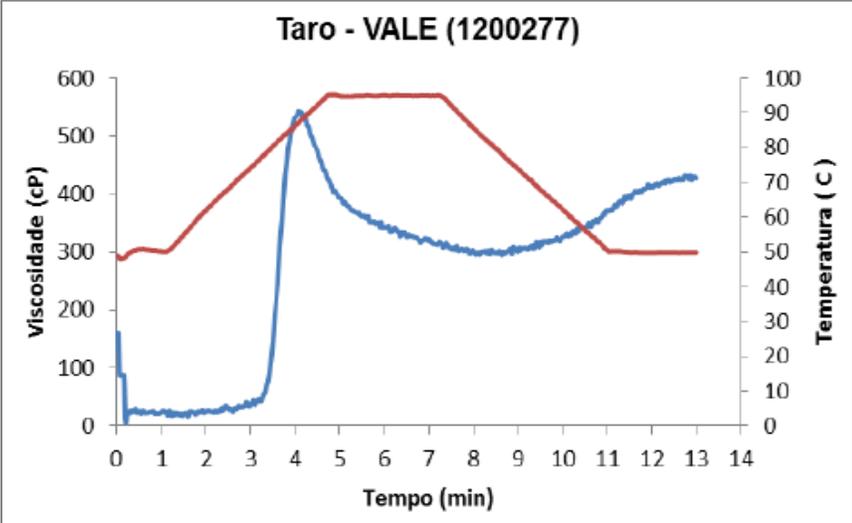
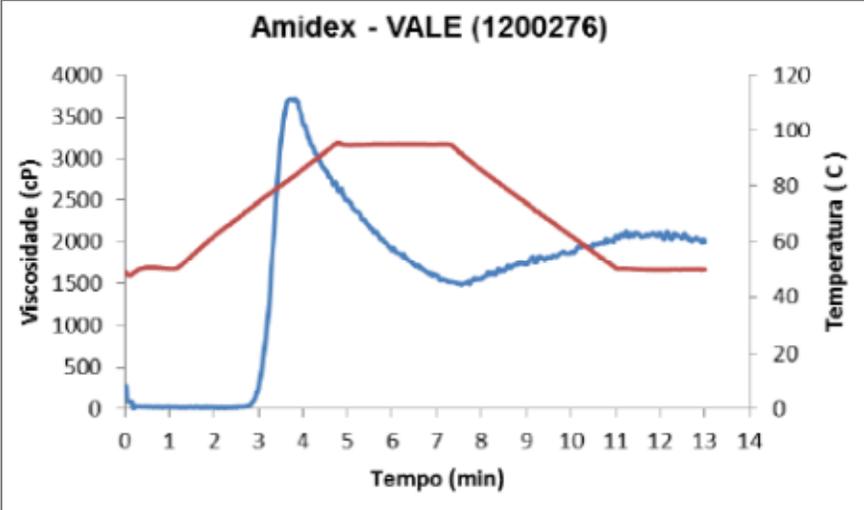
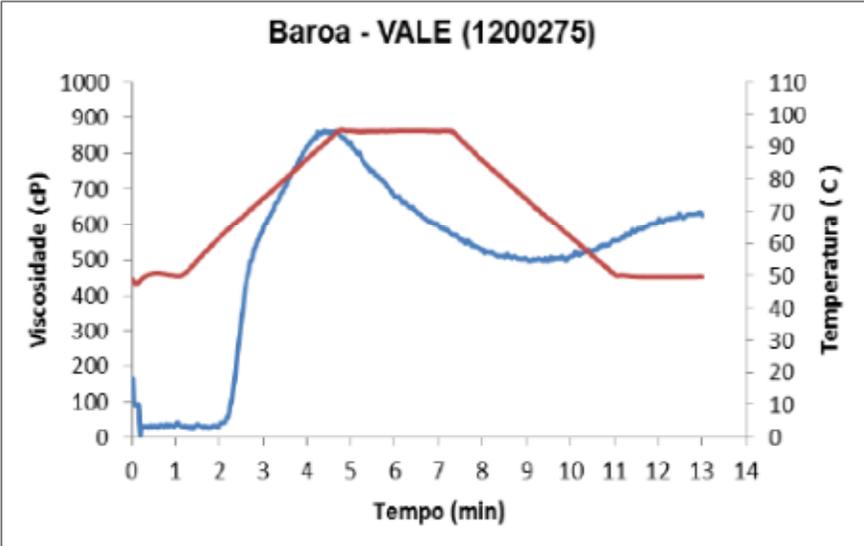
— Ensaio 1
— Ensaio 2

OBSERVAÇÕES

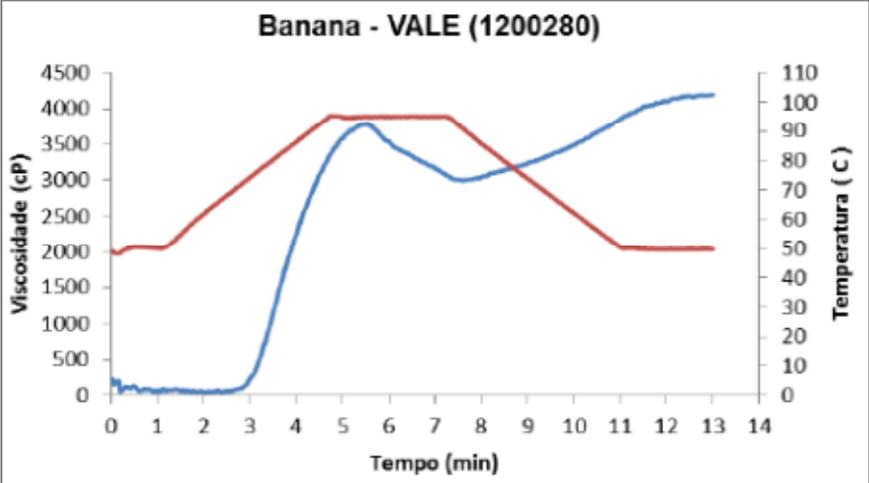
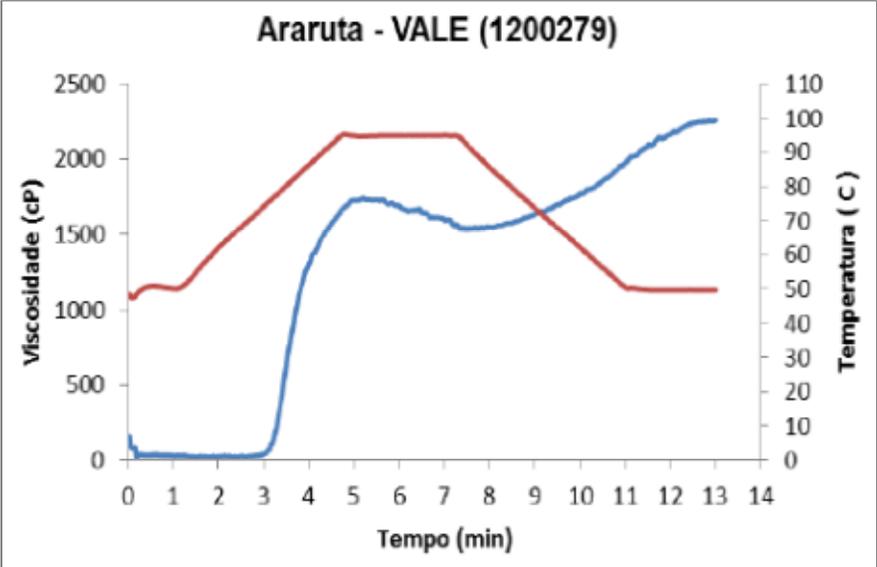
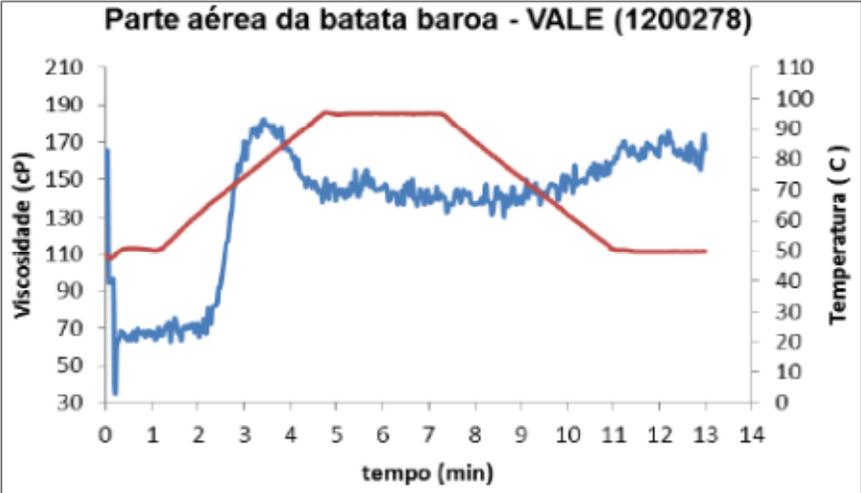
Anexo 9 – Curvas de viscosidade



Anexo 9 – Curvas de viscosidade – Continuação



Anexo 9 – Curvas de viscosidade – Continuação



Anexo 9 – Curvas de viscosidade – Final

