

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E DE MATERIAIS

PEDRO MARASCHIM ZANCAN

BENEFICIAMENTO DE CARVÃO MOÇAMBICANO POR FLOTAÇÃO:
Efeito da proximidade com estruturas geológicas intrusivas

Porto Alegre

2020

PEDRO MARASCHIM ZANCAN

BENEFICIAMENTO DE CARVÃO MOÇAMBICANO POR FLOTAÇÃO:

Efeito da proximidade com estruturas geológicas intrusivas

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia

Orientador: Prof. Dr. Irineu Antônio Schadach de Brum

Porto Alegre

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos André Bulhões

Vice-Reitora: Patricia Pranke

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretor: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Vice-diretora: Carla Schwengber ten Caten

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS, METALÚRGICA
E DE MATERIAIS – PPGE3M

Coordenador: Afonso Reguly

Coordenadora Substituta: Andréa Moura Bernardes

Zancan, Pedro Maraschim

Beneficiamento de Carvão Moçambicano por Flotação: Efeito da proximidade com estruturas geológicas intrusivas / Pedro Maraschim Zancan. -- 2020.

114 f.

Orientador: Irineu Antônio Schadach de Brum.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Carvão Mineral. 2. Flotação de Finos. 3. Mina de Moatize. I. Brum, Irineu Antônio Schadach de, orient. II. Título.

PEDRO MARASCHIM ZANCAN

BENEFICIAMENTO DE CARVÃO MOÇAMBICANO POR FLOTAÇÃO:

Efeito da proximidade com estruturas geológicas intrusivas

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia

Orientador: Prof. Dr. Irineu Antônio Schadach de Brum

Aprovado em 18/12/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rafael Teixeira Rodrigues (UFRGS)

Prof. Dr. Régis Sebben Paranhos (UNIPAMPA)

Prof. Dr. Weslei Monteiro Ambrós (UFRGS)

Porto Alegre

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e tenacidade recebidas nos últimos anos assim como o apoio incondicional que recebi de meus pais, Doris Maraschim Zancan e Gilberto Zancan, e o carinho e a atenção da minha namorada, Pâmela de Almeida, nos momentos mais estressantes.

Sou grato ao Prof. Irineu Antônio Schadach de Brum pela orientação prestada nesta dissertação, assim como sou grato à Dra. Gelsa Edith Navarro Hidalgo e ao Dr. Gerson Luis Miltzarek por toda instrução e auxílio recebido nas atividades de laboratório mais complexas bem como ao Laboratório de Processamento Mineral (Laprom) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela estrutura que tive à disposição nos últimos anos.

Agradeço também aos Gorki Brandt González Dávila e Jeremias Corbellini Brito de Azambuja, pelas primeiras instruções e orientações que recebi sobre flotação de carvão; bem como à Cristiane Ericksson pela orientação quanto aos métodos de organização em laboratório; e aos professores Carlos Hoffmann Sampaio, Carlos Otavio Petter e Wesley Monteiro Ambrós, pelo amplo conhecimento compartilhado comigo sobre assuntos relacionados tanto de forma direta como indireta ao presente trabalho ao longo dos anos em que estive no Laprom.

Sou grato pela oportunidade de ter trabalhado ao longo do mestrado com Aline Krum Ferreira, Amanda Wociechoski, Gustavo Pretto Scholze, Jamal Mussa Talacuece, Jaqueline Luiza Mohr, Luísa Fróes Moritz e Michael José Batista dos Santos, cujo auxílio e apoio foram significativos para o andamento das diversas etapas da presente pesquisa; bem como sou grato ao auxílio prestado por Joana Maraschim Uriartt durante a revisão final do texto da presente dissertação.

Agradeço a oportunidade de ter conhecido e convivido com Aaron Samuel Young, Adam Lee Paz da Silva, Amilton Feliciano de Castro, Arthur Hoffmann do Santos, Bruno Deves Flores, Bruno Hoepers Schmidt, Diana Fernanda Caicedo Chaguezac, Diego Felipe Johann, Edison Antônio Petter Filho, Fernando Leinhardt de Freitas, Fortunato Lucas Quembo Raposo, Jean Rafael Machado Silveira, Juliana Gonçalves Pohlmann, Márcio André Kronbauer, Marco Alberto Garcia Cardoso e Moacir Medeiros Veras (além de todos os demais colegas e professores acima citados) ao longo de todos anos em que estive no Laprom em virtude de toda a troca de experiências que tornaram o ambiente mais acolhedor bem como me auxiliaram no meu aprimoramento como indivíduo.

Por fim, agradeço à Vale, pelas amostras fornecidas e pela bolsa de mestrado; bem como à Escola de Engenharia da UFRGS e ao respectivo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, por toda a instrução acadêmica que recebi; sem os quais não teria sido possível realizar a presente pesquisa de mestrado.

RESUMO

Este trabalho foi realizado com amostras de carvão extraídas na mina da Vale-Moçambique, localizada no distrito de Moatize, Província de Tete. O objetivo principal foi avaliar o desempenho da flotação com amostras de carvão obtidas em diferentes distâncias de um dique de rocha intrusiva. Dentre os métodos de beneficiamento de carvão, a flotação se destaca como um dos mais importantes para a concentração deste material, em particular no tratamento de partículas finas. A capacidade total da planta de processamento da Vale-Moçambique é de 8.000 t/h de carvão, em que 10% dessa alimentação corresponde a fração fina que alimenta o circuito de flotação. O material utilizado nesse estudo apresentou granulometria entre 96,35% e 100% menor do que 0,25 mm. Os reagentes utilizados nos ensaios de flotação foram *Betacol Com 3* e óleo diesel como agentes hidrofobizantes e *Betafroth Fom 3* e MIBC como espumantes. O intervalo de concentrações de reagentes na primeira fase de ensaios foi de 75 g/t a 300 g/t, e na segunda fase foi de 50 g/t a 250 g/t de coletor e manteve-se constante o espumante em 100 g/t. Os resultados obtidos permitiram avaliar o desempenho dos diferentes reagentes bem como das dosagens utilizadas quanto à recuperação mássica, recuperação da matéria carbonosa, teor de cinzas e seletividade do produto. Apesar da recuperação mássica das amostras extraídas a distâncias maiores do dique terem apresentado bons resultados, o mesmo não pôde ser confirmado em amostras próximas ao dique, indicando que o calor de formação do dique alterou de forma negativa a formação do carvão.

Palavras-chaves: Carvão Mineral. Flotação de Finos. Mina de Moatize.

ABSTRACT

This work was carried out with samples of coal extracted at the Vale-Mozambique mine, located in the Moatize district, Tete Province. The main objective was to evaluate the flotation performance of coal samples obtained at different distances from an intrusive rock dike. Among the methods of coal processing, flotation stands out as one of the most important ones for this material's concentration, particularly in the treatment of fine particles. The total capacity of the Vale-Mozambique processing plant is 8,000 t/h of coal, where 10% of this supply corresponds to the fine fraction that feeds the flotation circuit. The particle size of the material used in this study was 96.35% to 100% less smaller than 0.25 mm. The reagents used in the flotation tests were *Betacol Com 3* and diesel oil as hydrophobizing agents and *Betafroth Fom 3* and MIBC as frothing agents. The range of reagent concentrations was 75 g/t to 300 g/t in the first test phase, 50 g/t to 250 g/t of collector in the second phase, and the frother was kept constant at 100 g/t. The results obtained allowed us to evaluate the performance of the different reagents, as well as their dosages, used in terms of mass recovery, carbonaceous material recovery, ash content and product selectivity. The mass recovery of the samples extracted at greater distances from the dike have shown good results, but the same could not be confirmed in the samples closest to it, indicating that the heat of the formation of the dike has negatively altered the formation of coal.

Key Words: Mineral Coal. Flotation of Fines. Moatize Mine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização geográfica de Moçambique e divisão administrativa.....	21
Figura 2 - Mapa de localização geográfica da província de Tete (A) e divisão administrativa do distrito de Moatize (B).....	22
Figura 3 - Bacias do Karroo em Moçambique e principais aspectos geográficos da zona de Tete-Moatize.....	25
Figura 4 - Combustíveis usados na geração de energia primária no mundo.	28
Figura 5 - Distribuição das reservas provadas de carvão no mundo.	29
Figura 6 - Produção e consumo mundial de carvão mineral.	29
Figura 7 - Produção e previsão da produção de carvão no mundo.....	30
Figura 8 - Ilustração do ângulo de contato formado por uma bolha de ar em uma superfície mineral.....	33
Figura 9 - Triângulo dos reagentes de flotação interagindo com a mineralogia.	34
Figura 10 - Representação das regiões granulométricas.	37
Figura 11 - Determinação da flotação verdadeira pelo método de Warren.....	39
Figura 12 - Cinética de Flotação.....	41
Figura 13 - Fluxograma do circuito dos finos de carvão de Moatize.....	44
Figura 14 - Posição esquemática das amostras coletadas.....	46
Figura 15 - Obtenção de Amostras Utilizadas nos Experimentos de Flotação.....	47
Figura 16 - Sequência experimental.....	48
Figura 17 - Curva granulométrica das amostras obtidas para diferentes distâncias do dique..	50
Figura 18 - Analisador de tamanho de partículas Cilas 1190.....	50
Figura 19 - Distribuição Granulométrica da fração fina das Amostras.....	51
Figura 20 - Quarteador Jones.....	52
Figura 21 - Quarteador Jones de bancada.....	52
Figura 22 - Máquina de flotação de bancada.....	54
Figura 23 - Filtro de pressão.....	55
Figura 24 - Amostras secando em estufa.....	55
Figura 25 - Característica da amostra em relação à distância do dique.....	57
Figura 26 - Correlação entre densidade e teores analisados.....	57
Figura 27 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC.....	59

Figura 28 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	59
Figura 29 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	60
Figura 30 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	60
Figura 31 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	61
Figura 32 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	61
Figura 33 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	62
Figura 34 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	62
Figura 35 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	64
Figura 36 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	64
Figura 37 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	65
Figura 38 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	65
Figura 39 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	66
Figura 40 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	66
Figura 41 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	67
Figura 42 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	67
Figura 43 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	68
Figura 44 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	69

Figura 45 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	69
Figura 46- Teores resultantes das flotações preliminares em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	70
Figura 47 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	70
Figura 48 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	71
Figura 49 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	71
Figura 50 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	72
Figura 51 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	74
Figura 52 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	75
Figura 53 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	75
Figura 54 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	76
Figura 55 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 100 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	76
Figura 56 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 150 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	77
Figura 57 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 200 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	77
Figura 58 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 250 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	78
Figura 59 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	79
Figura 60 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	79
Figura 61 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	80

Figura 62 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	81
Figura 63 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	81
Figura 64 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	82
Figura 65 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 100 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	82
Figura 66 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 150 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	83
Figura 67 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 200 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	83
Figura 68 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 250 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	84
Figura 69 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	85
Figura 70 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	85
Figura 71 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	86
Figura 72 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC	87
Figura 73 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	87
Figura 74 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC	88
Figura 75 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 100 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	88
Figura 76 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 150 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	89
Figura 77 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 200 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	89
Figura 78 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 250 g/t de OD e 100 g/t de MIBC	90

Figura 79 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	91
Figura 80 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3	91
Figura 81 - Recuperação das flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	102
Figura 82 - Teores das flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	102
Figura 83 - Recuperação das flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	103
Figura 84 - Teores das flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	103
Figura 85 - Recuperação das flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	104
Figura 86 - Teores das flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	104
Figura 87 - Recuperação das flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	105
Figura 88 - Teores das flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	105
Figura 89 - Recuperação das flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	106
Figura 90 - Teores das flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	106
Figura 91 - Recuperação das flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	107
Figura 92 - Teores das flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	107
Figura 93 - Recuperação das flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	108
Figura 94 - Teores das flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	108
Figura 95 - Recuperação das flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	109

Figura 96 - Teores das flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	109
Figura 97 - Recuperação das flotações realizadas com 50 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	110
Figura 98 - Teores das flotações realizadas com 50 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	110
Figura 99 - Recuperação das flotações realizadas com 100 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	111
Figura 100 - Teores das flotações realizadas com 100 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	111
Figura 101 - Recuperação das flotações realizadas com 150 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	112
Figura 102 - Teores das flotações realizadas com 150 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	112
Figura 103 - Recuperação das flotações realizadas com 200 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	113
Figura 104 - Teores das flotações realizadas com 200 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. - Distribuição granulométrica das amostras obtidas para diferentes distâncias do dique.....	49
Tabela 2. - Análise granulométrica da fração fina do carvão de Moatize.....	51
Tabela 3. - Parâmetros dos ensaios de flotação.....	53
Tabela 4 - Características das amostras.....	56
Tabela 5 - Experimentos preliminares realizados com amostra de 20 m.....	58
Tabela 6 - Experimentos preliminares realizados com amostra de 10 m.....	63
Tabela 7 - Experimentos preliminares realizados com amostra de 2 m.....	68
Tabela 8 - Comparativo de resultados com Cp/p de 4% e 8% utilizando OD e MIBC.....	73
Tabela 9 - Comparativo de resultados com Cp/p de 4% e 8% utilizando BC3 e BF3.....	73
Tabela 10 - Experimentos finais realizados com amostra de 20 m.....	74
Tabela 11 - Comparativo de resultados finais com Cp/p de 4% e 8% utilizando OD e MIBC para VL-20M.....	78
Tabela 12 - Experimentos finais realizados com amostra de 10 m.....	80
Tabela 13 - Comparativo de resultados finais com Cp/p de 4% e 8% utilizando OD e MIBC para VL-10M.....	84
Tabela 14 - Experimentos finais realizados com amostra de 2m.....	86
Tabela 15 - Comparativo de resultados finais com Cp/p de 4% e 8% utilizando OD e MIBC para VL-02M.....	90
Tabela 16 - Especificações dos experimentos preliminares com amostra VL-20M.....	96
Tabela 17 - Especificações dos experimentos preliminares com amostra VL-10M.....	96
Tabela 18 - Especificações dos experimentos preliminares com amostra VL-02M.....	97
Tabela 19 - Resultados obtidos nos experimentos preliminares com amostra VL-20M.....	97
Tabela 20 - Resultados obtidos nos experimentos preliminares com amostra VL-10M.....	98
Tabela 21 - Resultados obtidos nos experimentos preliminares com amostra VL-02M.....	98
Tabela 22 - Especificações dos experimentos finais com amostra VL-20M.....	99
Tabela 23 - Especificações dos experimentos finais com amostra VL-10M.....	99
Tabela 24 - Especificações dos experimentos finais com amostra VL-02M.....	100
Tabela 25 - Resultados obtidos nos experimentos finais com amostra VL-20M.....	100
Tabela 26 - Resultados obtidos nos experimentos finais com amostra VL-10M.....	101
Tabela 27 - Resultados obtidos nos experimentos finais com amostra VL-02M.....	101

Tabela 28 - Flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	102
Tabela 29 - Flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	103
Tabela 30 - Flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	104
Tabela 31 - Flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%	105
Tabela 32 - Flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	106
Tabela 33 - Flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	107
Tabela 34 - Flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	108
Tabela 35 - Flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%	109
Tabela 36 - Flotações realizadas com 50 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	110
Tabela 37 - Flotações realizadas com 100 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	111
Tabela 38 - Flotações realizadas com 150 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	112
Tabela 39 - Flotações realizadas com 200 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%	113

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

Ac.	acumulado
BC3	Betacol Com 3
BF3	Betafroth Fom 3
BP	British Petroleum Company
Cp/p	concentração de sólidos em peso
EIA	Energy Information Administration, US- Government
FAD	flotação por ar dissolvido
Freq.	frequência
hab	habitante
Laprom	Laboratório de Processamento Mineral
MIBC	metil-isobutil-carbinol
NBR	Norma Brasileira
NE	Nordeste
NW	Noroeste
OD	óleo diesel
ROM	Run of Mine
RPM	rotação por minuto
SW	Sudoeste
t	tempo
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VL-02M	amostra extraída a 2 m do dique
VL-05M	amostra extraída a 5 m do dique
VL-10M	amostra extraída a 10 m do dique
VL-15M	amostra extraída a 15 m do dique
VL-20M	amostra extraída a 20 m do dique
WCI	World Coal Institute

LISTA DE SÍMBOLOS

°	símbolo de grau
'	símbolo de minuto
”	símbolo de segundo
t/ano	tonelada por ano
t/h	tonelada por hora
g	grama
g/cm ³	grama por centímetro cúbico
g/t	grama por tonelada
° C	grau Célsius
L	litro
L/min	litro por minuto
km	quilometro
km ²	quilometro quadrado
m	metro
cm	centímetro
cm ³	centímetro cúbico
mm	milímetro
µm	micrometro
kcal	quilocaloria

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE MOÇAMBIQUE.....	21
3.1.1. Localização Geográfica do distrito de Moatize, Superfície e População.....	22
3.1.2. Carvão de Moatize, Generalidades.....	23
3.1.3. Bacia Sedimentar de Moatize.....	23
3.2. CONTEXTO MUNDIAL DO CARVÃO MINERAL.....	26
3.2.1. Origem do Carvão.....	26
3.2.2. Composição e classificação.....	26
3.2.3. Uso dos Carvões.....	27
3.2.4. Reservas e Maiores Produtores.....	28
3.3. MINA DE MOATIZE.....	30
3.4. FLOTAÇÃO.....	31
3.4.1. Conceitos básicos.....	31
3.4.2. Aspectos gerais da flotação.....	31
3.5. REAGENTES DE FLOTAÇÃO.....	34
3.5.1. Coletores.....	35
3.5.2. Espumantes.....	35
3.5.3. Influência do Tamanho da Partícula.....	36
3.5.4. Finos na Flotação.....	37
3.5.5. Flotação verdadeira, arraste e aprisionamento.....	38
3.5.6. Cinética da flotação.....	40
3.5.7. Flotação do carvão.....	41
3.5.8. Mecanismos atuantes na flotação de carvão.....	41

3.5.9. Beneficiamento do carvão da mina Vale – Moçambique	42
3.5.10. Processo de flotação dos finos na mina Vale - Moçambique.....	43
4. EXPERIMENTAL	45
4.1. EQUIPAMENTOS	45
4.2. AMOSTRAS DE CARVÃO – OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO.....	46
4.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS BRUTAS	48
4.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA FRAÇÃO FINA	50
4.5. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	51
4.6. PREPARAÇÃO E QUARTEAMENTO DA AMOSTRA.....	52
4.7. REAGENTES	52
4.8. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1. CARACTERÍSTICA DAS AMOSTRAS INICIAIS	56
5.2. EXPERIMENTOS PRELIMINARES	57
5.3. EXPERIMENTOS FINAIS	72
6. CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS	94
APENDICE A - EXPERIMENTOS PRELIMINARES.....	96
APENDICE B - EXPERIMENTOS FINAIS	99

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento da população e do consumo de energia mundial das últimas décadas e a conseqüente demanda de recursos naturais, um dos principais desafios da indústria mineral é a busca de novas tecnologias e aprimoramento das já existentes. Tal desafio se justifica pelas necessidades de obter melhores resultados industriais e atender às especificações de mercado, considerando a escassez de jazidas com teores mais altos e a necessidade de beneficiamento de minérios mais complexos, teores mais baixos e granulometria de liberação menor.

Nas jazidas de carvão de Moatize, Província de Tete, Moçambique, são comuns as ocorrências de diques de rochas ígneas intrusivas (doleritos), as quais, devido ao calor emitido durante as intrusões e posicionamento na sequência carbonífera, modificaram as características metalúrgicas, físicas e químicas dos carvões situados próximos a essas estruturas geológicas. A lavra próxima aos diques é feita com restrições, pelo baixo nível de conhecimento tecnológico e de beneficiamento das características das camadas de carvão afetadas pelas intrusões ígneas posteriores às Formações Carboníferas.

Diante desse cenário, a flotação destaca-se como um dos mais importantes e versáteis métodos de processamento mineral, visto que sua aplicação se estende a uma grande variedade de minérios com diferentes granulometrias, composições químicas, mineralógicas e, principalmente, diferentes propriedades físico-químicas. A separação de minerais por flotação envolve a concentração seletiva de minerais hidrofóbicos na espuma. A seletividade baseia-se em diferenças de molhabilidade da superfície dos minerais tratados, com partículas hidrofóbicas sendo capazes de aderir às bolhas de ar.

O processo é realizado em um tanque, e as condições necessárias para uma boa aderência são a dispersão eficaz de partículas e as bolhas de ar ao longo do volume da célula, e o acompanhamento das condições hidrodinâmicas necessárias para a colisão, adesão e transporte. Deste modo, a seletividade global é determinada pelas diferenças nas taxas de flotação e arrastes com que as diferentes partículas minerais são carregadas para o produto final.

O objetivo principal deste estudo é analisar o sistema de reagentes na flotação da fração fina de amostras de carvão colhidas em diferentes distâncias de um dique de rocha ígnea intrusiva, em uma jazida pertencente à mineradora Vale-Moçambique, para recuperar o máximo da matéria carbonosa e reduzir o nível de cinzas. As variáveis analisadas foram às dosagens dos coletores e espumantes empregados.

2. OBJETIVOS

Para o presente trabalho, buscou-se amostrar e detalhar a caracterização para beneficiamento por flotação nas usinas e caracterização metalúrgica de carvões, com amostras situadas a diferentes distâncias dos contatos das estruturas ígneas intrusivas. Os ensaios de beneficiamento foram realizados a partir das análises da avaliação do grau de liberação nas diferentes amostras, coletadas a diferentes distâncias do contato com as estruturas geológicas intrusivas. Os estudos de caracterização metalúrgica foram realizados a partir de uma extensiva caracterização da matéria orgânica e inorgânica dos carvões nas amostras próximas a diques (entre 2 m e 20 m de distância). A partir dos estudos de beneficiamento e caracterização propostos tornou-se possível avaliar a relação entre beneficiamento e tipo de aproveitamento do carvão para diferentes distâncias em relação aos contatos laterais das estruturas geológicas intrusivas.

O objetivo deste trabalho é avaliar o melhor sistema de reagentes na flotação do carvão de Moatize, sua adequação para a recuperação da fração fina de parte amostrada, para obter um produto adequado de acordo com as especificações do mercado, tendo em conta um teor baixo de cinzas e máxima recuperação mássica. Propõe-se obter uma recuperação de massa no material flotado em torno de 50%, e um concentrado de carvão com teor de cinzas abaixo de 10% e definir a melhor concentração dos reagentes, comparando as combinações de reagentes “Betacol Com 3” (BC3) mais “Betafroth Fom 3” (BF3) com “óleo diesel” (OD) mais “metil-isobutil-carbinol” (MIBC).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

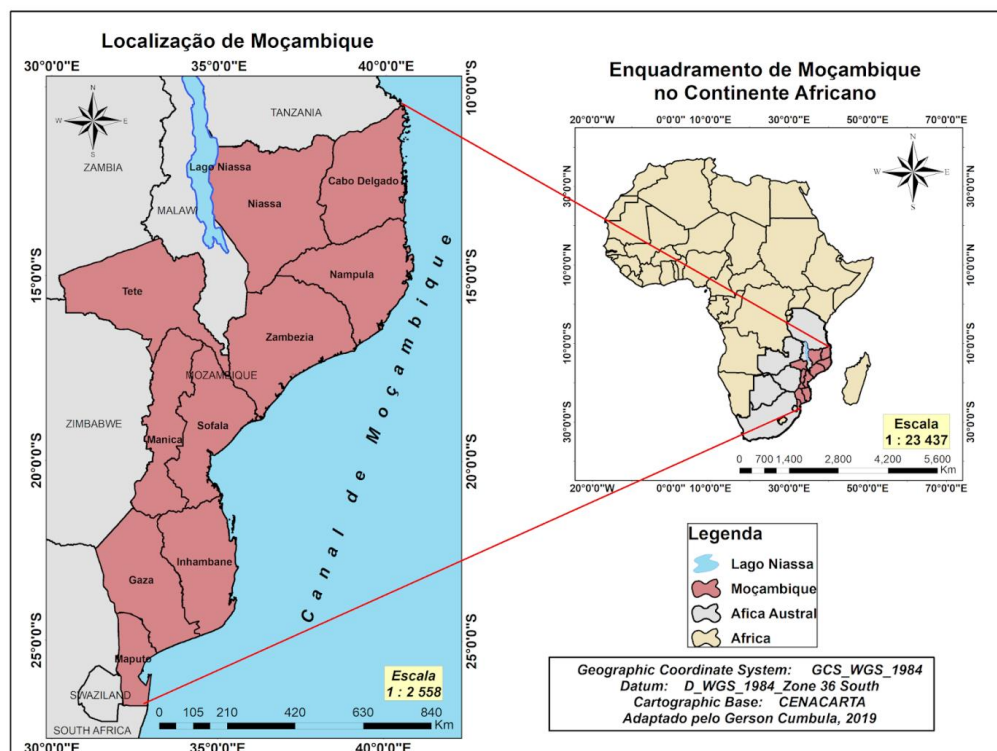
A revisão bibliográfica permitiu situar o presente estudo frente à localização geográfica de Moçambique, o contexto mundial do carvão mineral, as características da mina de carvão de Moatize, o processo de flotação e os respectivos reagentes utilizados.

3.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE MOÇAMBIQUE

Moçambique se localiza na costa sudeste do continente africano, tendo como limites a Leste o oceano Índico, a Norte a Tanzânia, o Malawi e a Zâmbia, a Oeste o Zimbabwe e a África do Sul e a Sul a Suazilândia. Tem uma superfície de 799.380 km², que se estende Norte-Sul voltando para o oceano Índico com que se confronta ao longo de 2.515 km de linha da costa. É um país com mais de 20 milhões de habitantes.

O território moçambicano está dividido em onze províncias, de Norte a Sul nomeadamente: Cabo Delgado, Niassa, Nampula, Zambézia, Tete, Manica, Sofala, Inhambane, Gaza, Maputo e cidade de Maputo, esta última sendo a capital do país. Cada uma das províncias tem uma capital provincial de Norte a Sul são respectivamente: Pemba, Lichinga, Nampula, Quelimane, Tete, Chimoio, Beira, Inhambane, Xai-Xai, Matola (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização geográfica de Moçambique e divisão administrativa



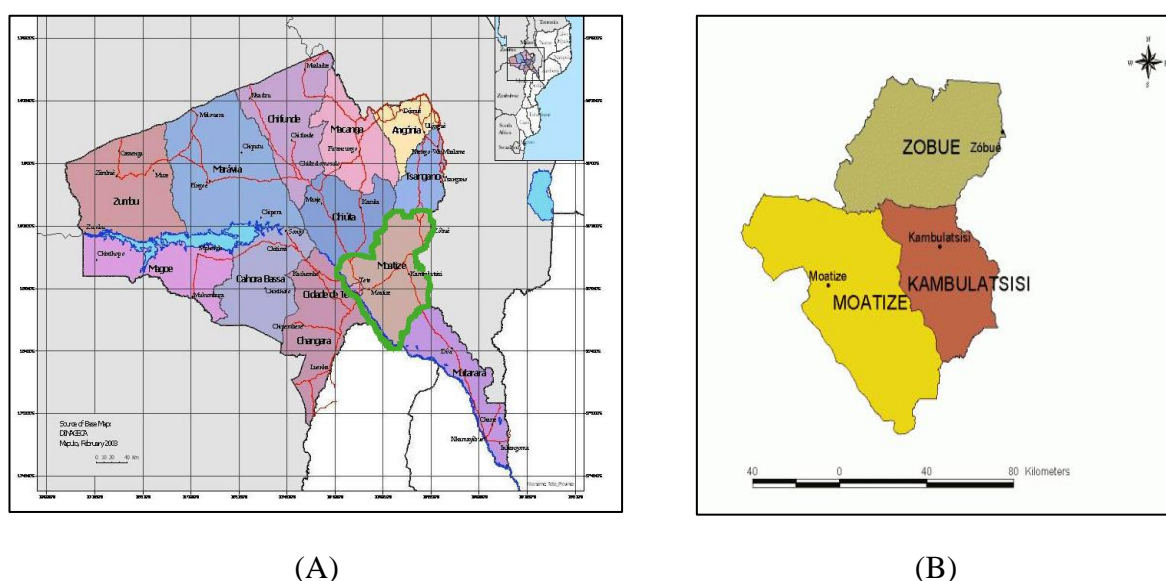
Fonte: CUMBULA,(2019)

3.1.1. Localização Geográfica do distrito de Moatize, Superfície e População

O distrito de Moatize, localizado a 20 km do Município de Tete situa-se a NE da cidade capital provincial entre os paralelos 15' 36" e 16' 38" latitude Sul e entre os meridianos 32' 16" e 34' 28" de longitude Leste. É limitado ao Norte pelos distritos de Chiúta e Tsángano, a Leste pela República do Malawi, a Sul pelo distrito de Tambara, Guro, Changara e município de Tete através do rio Zambeze e Mutarara através do rio Mecombedzi e a Oeste pelos distritos de Chiúta e Changara (MAE, 2005 apud CASTRO, 2016).

Com uma superfície de 8.455 km² e uma população cerca de 113.409 habitantes correspondente a uma densidade populacional de 17 hab/km² de acordo com o censo populacional de 2007. A relação de dependência econômica potencial é de aproximadamente 1:1, isto é, uma pessoa em idade ativa para cada não ativa (criança ou idoso). A população é jovem (48% abaixo dos quinze anos de idade), majoritariamente feminina (taxa de masculinidade de 48%) e de matriz rural (taxa de urbanização de 23%). Administrativamente o distrito tem três Postos administrativos: Moatize, Kambulatsitsi e Zóbuè que, por sua vez, estão subdivididos em nove localidades: Moatize, Benga, Mpanzu, Msungu, Kambulatsitsi, Mecungas, Zóbuè, Capridzanje e N`codedzi (MAE, 2005 apud CASTRO, 2016). A localização geográfica da província de Tete e divisão administrativa do distrito de Moatize são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Mapa de localização geográfica da província de Tete (A) e divisão administrativa do distrito de Moatize (B).



Fonte: Adaptado de Dinageca, (2003 apud CASTRO, 2016).

3.1.2. Carvão de Moatize, Generalidades

No que diz respeito ao carvão mineral, Moçambique é considerado um dos países com maiores reservas deste recurso mineral a nível mundial. “Existem diversas bacias carboníferas identificadas em diferentes áreas do país, nas províncias de Tete, Niassa, Cabo Delgado e Manica” (MEDIAX, 2010 apud CASTRO, 2016).

Segundo José e Sampaio (2011), a maior reserva de carvão mineral em Moçambique, se encontra localizada no distrito de Moatize, na província de Tete, e pretende integrar a lista dos maiores produtores e exploradores de Carvão Mineral no mundo. Os projetos de exploração de carvão em Moçambique se multiplicam nos últimos anos promovidos sobre tudo por empresas transnacionais (indianas, brasileiras e australianas), permitindo ao país exportador de eletricidade a partir da barragem Hidroelétrica de Cahora Bassa, localizada na província de Tete, reforçar a condição de potência energética regional e com o desenvolvimento do projeto de Moatize, espera-se que o país se torne o segundo maior produtor africano de carvão depois da África do Sul.

Estima-se que mais de 800 licenças de prospecção e pesquisa de minerais incluindo carvão mineral foram autorizadas pelo governo em fevereiro de 2011, além de o país dispor de recursos naturais, este número crescente de investidores na área mineral se deve também de um ambiente propício para atração de investimentos.

3.1.3. Bacia Sedimentar de Moatize

Na bacia carbonífera de Moatize, a mais conhecida de entre as diversas bacias de carvão existentes no país, foram realizados no passado diversos trabalhos de pesquisa geológica e presentemente existem vários bilhões de toneladas de carvão prontas para ser extraídas. Dentre vários trabalhos publicados sobre a área em referência, importa destacar os trabalhos de descrições, destacando fundamentalmente a descrição de afloramentos do sistema de Karroo e do complexo gabro anortosítico de Tete (COELHO, 1969 apud CASTRO, 2016).

Real (1966 apud CASTRO, 2016), no seu trabalho intitulado “Geologia da bacia do Zambeze”, faz referência às características geológicas e mineiras desta bacia, dando muita importância ao Karroo de Tete, onde estão inseridas importantes camadas de carvão. Este autor generaliza todos os dados existentes nesta província e, por exemplo, afirma que na bacia carbonífera de Moatize-Minjova as séries carboníferas apresentam uma espessura de 340 m.

Afonso (1978 apud JOSÉ e SAMPAIO, 2011), no seu trabalho denominado “Geologia de Moçambique”, faz referência a distribuição do Karroo em Moçambique, sua origem e sequência Geológica incluindo da existência de carvão na bacia carbonífera de Moatize.

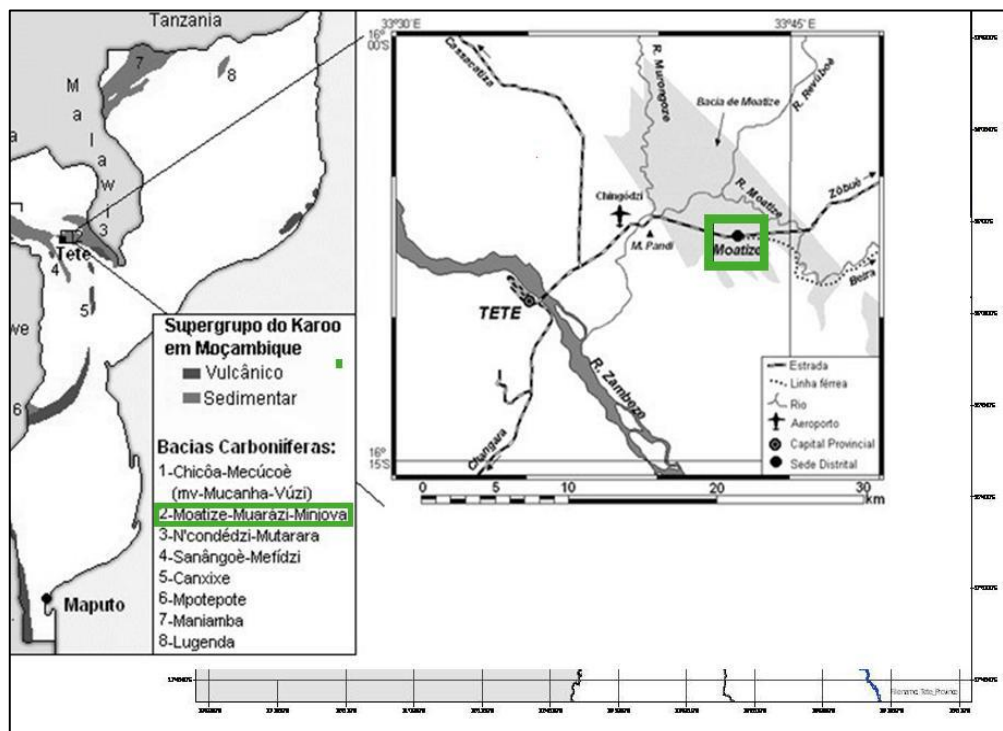
Lopo Vasconcelos (1995 apud JOSÉ e SAMPAIO, 2011), na sua tese de doutorado pela Universidade do Porto, Portugal, estudou os carvões de Moatize com o tema: contribuição para o conhecimento dos carvões da bacia carbonífera de Moatize.

A província de Tete em particular foi palco de vários estudos geológicos, os primeiros estudos em Tete datam de 1920, onde estudantes e professores universitários Belgas estudaram a bacia sedimentar, com particular incidência as camadas de carvão de Moatize, tendo concluído que em Moatize havia diferentes camadas de carvão que jaziam a diferentes profundidades. (JOSÉ & SAMPAIO, 2011)

Em 2007 e 2009 foram assinados dois contratos mineiros, com a Vale (Brasil) e Riversdale (Austrália) para Moatize e Benga respectivamente, que em conjunto contemplariam a produção e exportação anual de cerca de vinte milhões de toneladas de carvão, a partir do primeiro semestre de 2011. O Governo moçambicano atribuiu, até finais de 2012, três novas concessões de pesquisa e prospecção de carvão, o Ministério dos Recursos Minerais atribuiu 105 concessões de pesquisa e prospecção de Carvão Mineral; enquanto isso as Minas de Moatize e Benga em Tete, desenvolvidas pela companhia brasileira Vale e pela mineradora australiana Riversdale respectivamente, estão numa fase avançada. Na província de Tete, cerca de 16 empresas estão licenciadas para a pesquisa de outros minérios, destacando-se ouro aluvional, platina, ferro, pedras preciosas, água mineral e metais básicos. (CASTRO, 2016)

A bacia carbonífera de Moatize, pertence ao Super grupo do Karroo (Figura 3). A sequência estratigráfica tem seis principais camadas de carvão, designadas de baixo para cima como: Souza Pinto, Chipanga, Bananeiras, Intermédia, Grande Falésia e André. A camada Chipanga é a mais espessa de todas e a única que foi explorada. A Bacia Carbonífera de Moatize pertence a uma bacia maior que se estende de Tete a Minjova, na fronteira com o Malawi, que por sua vez se continua por este país adentro para a Bacia de Lengwe. Os limites NE e SW da escavação são definidos por falhas de bordadura com direção NW-SE. A escavação de Moatize tem um comprimento aproximado de 35 km e uma largura média de 2 km. O acidente orográfico mais importante é o Monte M'pandi, com uma altitude de 320,8 m, situado na margem SW da escavação, representando um braquianticlinal das rochas do embasamento.

Figura 3 - Bacias do Karroo em Moçambique e principais aspectos geográficos da zona de Tete-Moatize



Fonte: Adaptado de Vasconcelos & Pedro, (2004 apud CASTRO, 2016).

Na região de Moatize, superiormente à série produtiva, começa outra série sedimentar constituída por grão grosseiro à médio, grés arcósico e pequenas camadas lenticulares de seixos rolados e estratificação cruzada (F. REAL, 1966 apud CASTRO, 2016).

A série produtiva é de grande interesse por nela estar englobada a importante camada de carvão. Esta série é caracterizada por possuir xistos, grés carbonosos, argilitos negros, por vezes piritosos. A idade desta série é de Pérmico Inferior, que, provavelmente se corresponde com o andar Ecca (A. REAL, 1978 apud CASTRO, 2016).

As bacias de Moatize, pelos resultados reportados em estudos recentemente apresentados por várias pesquisas realizadas, mostram que a rede de bacias carboníferas não exploradas encontra-se na província de Tete e a geologia corrente mostra que, para além destes campos de Moatize, estima-se que a oeste se estendem os depósitos de Mucanha-Vuzi (reservas maiores que três bilhões de toneladas) e de Senângoe (reservas maiores que um bilhão de toneladas). Em caso de avanço do mega-investimento da Vale em Tete, Moatize poderá produzir mais de 20 milhões de toneladas anuais do carvão bruto ROM (*run-of-mine*), das quais 10 a 12 milhões de tonelada ano de carvão metalúrgico para exportação.

3.2. CONTEXTO MUNDIAL DO CARVÃO MINERAL

A origem do carvão mineral, sua composição, sua classificação, seu uso e as reservas mundiais de carvão no mundo são apresentados neste capítulo, ressaltando a participação do carvão como um bem energético fundamental na economia mundial e com amplas expectativas de crescimento.

3.2.1. Origem do Carvão

De acordo com Tessari (1980), carvão é o nome dado a diversas rochas sedimentares passíveis de uso como combustíveis constituídos de um material heterogêneo originado de restos vegetais depositados em águas rasas, protegidos da ação do oxigênio do ar. Com o passar do tempo, esse material (tecido lenhoso, celulose, esporos, géis, algas etc.) sofre parcial decomposição e ação de bactérias, seguindo-se a influência da pressão exercida pelo peso do material que vai sendo depositado (pressão litostática) e do calor. Para haver uma acumulação de matéria vegetal suficiente para gerar camadas de carvão é preciso que haja uma subsidência (afundamento) da área onde o material está sendo depositado. Esse afundamento não pode ser muito rápido para permitir que haja deposição dos vegetais mortos e, ao mesmo tempo, proliferação de novas árvores. Mas também não pode ser lento demais, do contrário favorecerá a acumulação de material silicoso, que não é combustível, gerando um carvão com alto teor de cinzas. Os carvões originados de vegetais superiores de ambiente continental são chamados de *carvões húmicos*. Aqueles relacionados a algas marinhas são os *carvões sapropélicos*.

3.2.2. Composição e classificação

Segundo Ferreira (1980), do ponto de vista químico, os carvões caracterizam-se pelo alto teor de carbono (de 55% a 95%, normalmente). De acordo com esse teor, têm-se, dos tipos menos ricos para os mais ricos em carbono: *turfa*, *linhito*, *hulha* (ou *carvão betuminoso*) e *antracito*. Um grau de pureza ainda maior que o do antracito seria o da grafita, mas ela não é combustível. Esses tipos de carvão constituem a série dos carvões e traduzem o grau de evolução (*rank*¹) do processo de transformação da matéria vegetal, ou seja, o grau de carbonificação. Além do *rank*, é também importante, na classificação dos carvões, o *grade*, que é a relação entre a matéria orgânica e a matéria inorgânica na camada. A turfa pode ter de

¹ Refere-se ao grau de carbonificação

55% a 60% de carbono; o linhito, de 67% a 78%; a hulha, de 80% a 90%; e o antracito, 96%. O teor de água é alto nas turfas (75%), e muito menor nos demais carvões (8% a 10%).

O poder calorífico, propriedade fundamental, é inferior a 4.000 kcal (quilocalorias) nos linhitos e turfas, e entre 7.000 e 8.650 kcal nos demais carvões. A turfa tem a característica de permitir claramente a identificação dos restos vegetais. Assim como uma rocha ígnea é composta de minerais, o carvão é uma rocha sedimentar composta de litótipos e macerais. Os principais litótipos identificáveis macroscopicamente são vitrênio, clarênio, durênio e fusênio, que se alternam na forma de lâminas na camada de carvão. O vitrênio forma finos leitos que terminam em forma de cunha, é o litótipo mais liso e mais brilhante e forma lâminas normalmente de 3 mm a 5 mm de espessura. O clarênio é menos brilhante que o vitrênio e mostra-se finamente estriado. O durênio ocorre em leitos mais esparsos e tem aparência fosca, com superfície rugosa. É, às vezes, muito rico em esporos. O fusênio é fosco, fibroso, friável, semelhante ao carvão vegetal e é o único litótipo que suja as mãos.

3.2.3. Uso dos Carvões

De acordo com Gomes (2002), o uso de um carvão depende de sua qualidade e esta, por sua vez, depende da natureza da matéria vegetal que o formou, do clima e da localização geográfica à época da formação, bem como da evolução geológica da área. A extração da turfa é precedida de drenagem da área, para reduzir sua umidade. Feito isso, ela é extraída e depositada a céu aberto para uma maior redução da umidade. Depois é cortada em blocos e usada como combustível em fornalhas, termoelétricas, obtenção de gás combustível, alcatrão, ceras, parafina, amônia e outras substâncias. É importante também seu uso na reconstituição de solos (turfa agrícola). Os linhitos podem ser de dois tipos, “marrom” ou “preto”, cada um deles com várias outras denominações. Eles são usados após secagem ou não, em gasogênios industriais, na obtenção de alcatrão e outros produtos. Por pirólise, pode fornecer ceras, fenóis, parafinas, olefinas etc. A cinza resultante de sua combustão pode ser aproveitada para a produção de cimento pozolânico e de cerâmicas.

A hulha tem dois usos principais e com base neles é dividida em carvão-vapor ou carvão energético, o mais pobre e com maior teor de cinzas, usado diretamente em fornos, principalmente em usinas termoelétricas, e em carvão metalúrgico, o mais nobre, passível de ser transformado em coque (por isso chamado também de carvão coqueificável).

O coque é um material obtido por aquecimento da hulha em ambiente fechado, sem combustão, resultando numa substância altamente porosa, leve, física e quimicamente

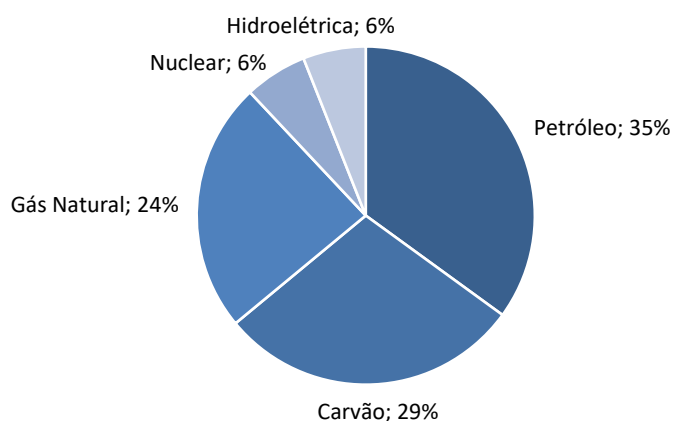
heterogênea, de brilho metálico característico, usada como combustível na metalurgia (altos-fornos). Sua qualidade depende muito da qualidade do carvão que o originou.

3.2.4. Reservas e Maiores Produtores

A matriz energética mundial, reservas mundiais de carvão, dados históricos e uma previsão da produção de carvão no mundo são apresentados neste capítulo, ressaltando a participação do carvão como um bem energético fundamental na economia mundial e com amplas expectativas de crescimento nos próximos 20 anos.

De acordo com dados da BP (2008 *apud* Ruiz 2009), atualmente o carvão contribui com 29% da energia primária² gerada no mundo, uma participação importante, maior que a do gás natural e da hidroelétrica. A Figura 4 ilustra a distribuição das diferentes fontes de geração de energia primária no mundo.

Figura 4 - Combustíveis usados na geração de energia primária no mundo.

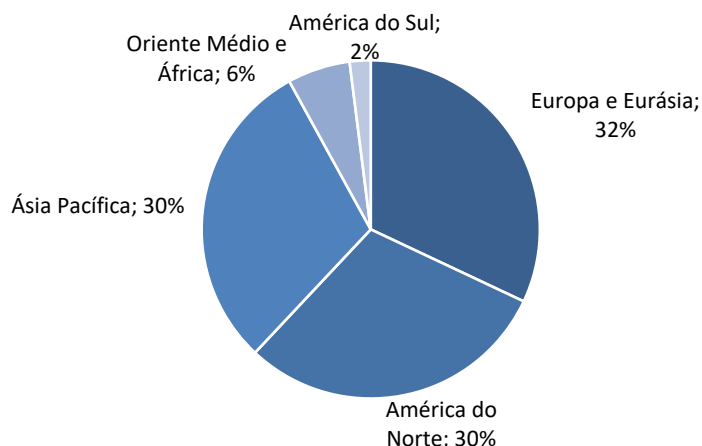


Fonte: Adaptado de RUIZ, (2009).

As reservas provadas de carvão no mundo são de 909 bilhões de toneladas, das quais 53% referem-se ao carvão antracito e betuminoso e 47% representam o carvão sub-betuminoso e linhito. As reservas economicamente exploráveis e que atendem às exigências de qualidade do mercado internacional se encontram na sua maioria em países como Estados Unidos, Rússia, China, Índia e África do Sul. Na América Latina são importantes como recurso econômico as reservas do Brasil, Colômbia e da Venezuela, embora representem apenas 2% das reservas mundiais. A Figura 5, adaptada de EIA (2007 *apud* RUIZ, 2009), mostra a distribuição percentual das reservas mundiais de carvão.

²Energia primária compreende só combustíveis comerciais, este conceito não inclui energia gerada com madeira ou biocombustíveis, nem a energia eólica, geotérmica e solar.

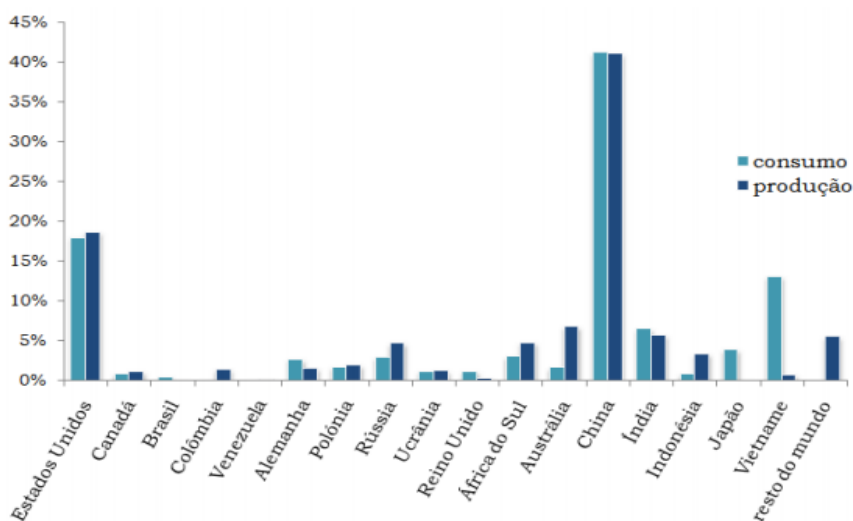
Figura 5 - Distribuição das reservas provadas de carvão no mundo.



Fonte: Adaptado de RUIZ, (2009).

Por outro lado, os maiores produtores de carvão são ao mesmo tempo os países que mais consomem a energia proveniente dele. Tal é o caso da China, da Índia e dos Estados Unidos, que são grandes produtores, mas pelo porte das suas economias, o consumo energético é também elevado. Na Figura 6, pode-se observar a produção e o consumo³ de carvão mineral de alguns países durante o ano de 2007, com dados publicados por BP (2008 apud RUIZ, 2009).

Figura 6 - Produção e consumo mundial de carvão mineral.

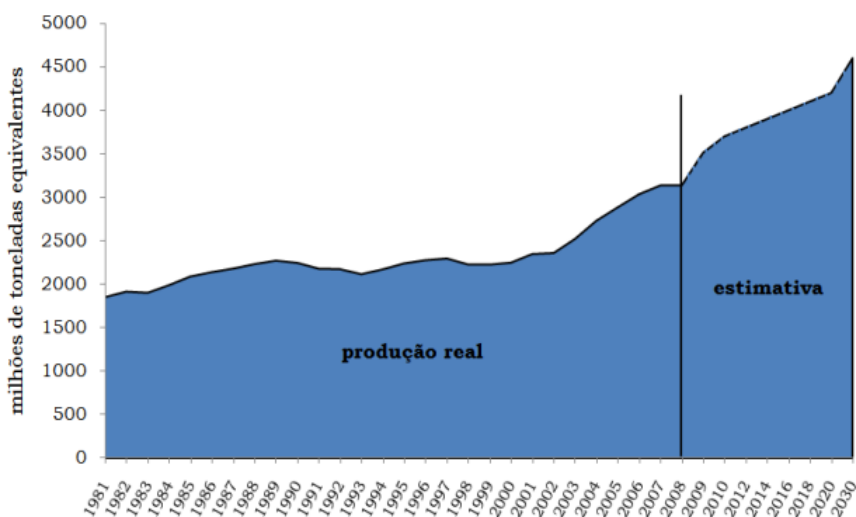


Fonte: Adaptado de RUIZ, (2009).

³Porcentagem calculada sobre o total de toneladas equivalentes (TE). TE é a unidade comum de energia, é igual a massa necessária para gerar a mesma energia que 1 tonelada de petróleo cru. Uma tonelada equivalente de petróleo é aproximadamente igual a 1,5 toneladas de carvão.

Segundo WCI (2007 *apud* Ruiz 2009), estima que para o ano 2030, a produção mundial seja de 8 bilhões e que a demanda de energia primária a partir de combustíveis fósseis também crescerá. A Figura 7 apresenta um histórico da produção do carvão no mundo com dados de BP (2008 *apud* RUIZ, 2009) e uma previsão, realizada por EIA (2007 *apud* RUIZ, 2009), até o ano 2030.

Figura 7 - Produção e previsão da produção de carvão no mundo.



Fonte: Adaptado de RUIZ, (2009).

3.3. MINA DE MOATIZE

A mina da Vale-Moçambique está em operação desde 2011, projetada para produzir 11 milhões t/ano de carvão, podendo chegar a 22 milhões t/ano, sendo 8,5 milhões de toneladas de coque para a indústria metalúrgica e 2,5 milhões de toneladas de carvão térmico para a produção de energia elétrica. Projeta-se que a produção do carvão na África cresça em média 3% ao ano, especificamente graças ao aumento da procura principalmente no continente asiático.

De acordo com o *rank*, o carvão é classificado como sendo betuminoso, variando de betuminoso de baixo-altos voláteis, e faz parte da camada de Chipanga a mais importante da série produtiva com uma espessura de 30-36 m. A lavra é a céu aberto e utiliza o método *strip mining*, por ser o método clássico de lavra mais adequado à configuração do terreno de Moatize e as condições geológicas.

3.4. FLOTAÇÃO

A flotação é o processo de separação seletiva de uma ou mais espécies minerais, em suspensão, através de sua adesão às bolhas de ar introduzidas dentro de uma célula de flotação, com posterior levitação e remoção de agregados bolha/partícula em uma camada de espuma.

3.4.1. Conceitos básicos

A flotação, no beneficiamento de minérios, é um método de concentração aplicado a partículas sólidas que explora diferenças nas características de superfície entre as várias espécies minerais presentes, tratando misturas heterogêneas de partículas suspensas em fase aquosa, nas quais se introduz uma fase gasosa (MONTE & PERES, 2004).

Como cada mineral possui uma superfície característica, teoricamente, a flotação poderia ser aplicada em qualquer situação. O processo envolve fases: sólida, líquida e gasosa. A seletividade na fase sólida se baseia no fato de que alguns minerais apresentam superfície polar (afinidade pela água) ou apolar (afinidade pelo ar), a fase líquida geralmente é representada pela água (polar), e a fase gasosa é representada pelas bolhas de ar (apolar).

A propriedade diferenciadora na qual se baseia a flotação é a hidrofobicidade superficial das partículas. A hidrofobicidade está definida como o grau de afinidade de uma espécie mineral pelo ar. Espécies hidrofóbicas apresentam mais afinidade com o estado gasoso que com o estado líquido.

Leja (1982 *apud* Ruiz 2009), explica que as propriedades de hidrofobicidade e hidrofiliabilidade estão diretamente relacionadas com a polaridade das substâncias. Uma espécie hidrofóbica é aquela cuja superfície é essencialmente “apolar”, portanto, suas moléculas não trocam elétrons, não se dissociam em íons e não se ligam aos dipolos de água, assim esta substância apresenta mais afinidade pelo ar que pela água. Já, uma espécie hidrofílica apresenta uma superfície “polar” e pode se dissociar em íons, gerando cargas superficiais que atraem os dipolos da água, desta maneira apresenta mais afinidade pela água que pelo ar.

3.4.2. Aspectos gerais da flotação

A flotação tem sido praticada com sucesso em escala industrial a mais de um século, sendo muito eficiente para separar partículas minerais na faixa de tamanhos entre 10 µm e 150 µm.

O método de concentração por flotação tem viabilizado projetos cujos depósitos são formados por minérios de baixo teor.

O princípio da flotação envolve a utilização de reagentes para alterar as características superficiais das partículas minerais e posterior separação das partículas, em uma suspensão de água (polpa). Durante o processo de flotação, as partículas com superfície hidrofóbica são coletadas por bolhas de ar onde se acumulam temporariamente em uma camada de espuma até saírem da célula de flotação por transbordo ou com o auxílio de um raspador. As partículas com superfície hidrofóbica acompanham o fluxo de polpa e são retiradas pelo fundo da célula.

De forma geral, um processo de flotação pode envolver as etapas de condicionamento, ajuste de temperatura, introdução de ar (ou aeração), macrofloculação e separação de fases. A etapa de condicionamento consiste no “preparo” das partículas presentes no meio através de um ou mais processos químicos, com o objetivo de torná-las hidrófobas, hidrofílicas, ou então de precipitá-las e/ou aglomerá-las em pequenos flocos (microflocos), mais fáceis de serem separados do meio. Após o condicionamento, pode ser necessária uma etapa de aquecimento, utilizada para acelerar as reações de condicionamento, reduzir a viscosidade da fase líquida, e/ou evitar o desenvolvimento de infecção no meio. Em seguida, tem-se a etapa de aeração, onde é efetuada a adição de microbolhas de ar, que vão se unir às partículas a serem separadas do meio líquido, tornando-as menos densas do que a fase líquida e, portanto, propensas à flotação. Uma etapa complementar de macrofloculação é necessária quando a flotação se processa por aprisionamento. Nesse caso, as partículas (microflocos) são agrupadas com as bolhas de ar para a formação de grandes flocos (macroflocos) de densidade mais baixa, que assim flutam rapidamente.

De acordo com Baltar, (2008 apud CASTRO, 2016) a Figura 8 mostra a representação esquemática do ângulo de contato entre as fases líquida, sólida e gasosa em equilíbrio, onde a equação de Young estabelece a condição termodinâmica de equilíbrio entre as interfaces envolvidas. O ângulo de contato θ depende da tensão superficial ou energia livre superficial, γ , das três interfaces:

$$\gamma_{SG} - \gamma_{SL} = \gamma_{LG} \times \cos \theta \quad (1)$$

onde:

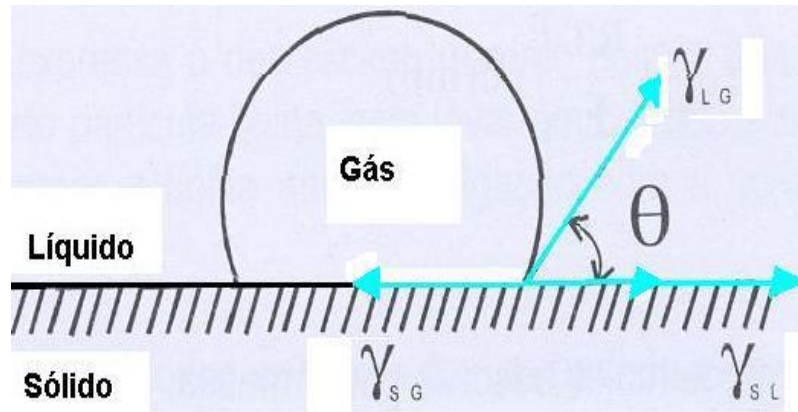
γ_{SG} - Tensão superficial na interface sólido-gás;

γ_{SL} - Tensão superficial na interface sólido-líquido;

γ_{LG} - Tensão superficial na interface líquido-gás.

A equação de Young é válida para um sistema ideal, onde todos os efeitos gravitacionais estão ausentes e as três fases em equilíbrio.

Figura 8 - Ilustração do ângulo de contato formado por uma bolha de ar em uma superfície mineral



Fonte: adaptada de Baltar, (2008 apud CASTRO, 2016).

Fuerstenau e Chander (1986 *apud* Monte *et al* 2004) destacam que a variação da energia livre de adesão entre partículas hidrofóbicas e bolhas de ar é obtida pela equação de Dupré:

$$\Delta G = \gamma_{SG} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LG}) \quad (2)$$

A equação de Dupré (equação 2) expressa o decréscimo máximo possível da energia livre do sistema, que resulta no contato partícula-bolha, sem levar em consideração, no entanto, o trabalho requerido para deformar a bolha antes da ligação com o sólido bem como a geometria do sistema.

Combinando a equação de Young com a forma apropriada da equação de Dupré (equação 2), obtém-se a equação de Young - Dupré, a qual fornece o critério termodinâmico para a flotação:

$$\Delta G = \gamma_{LG} \cos \theta \quad (3)$$

onde:

ΔG – Variação da energia livre;

γ_{LG} – Tensão superficial da interface líquido/gás;

θ – Ângulo formado entre duas retas tangentes às superfícies do sólido e da bolha de ar (ângulo de contato), com origem no ponto tríplice.

3.5. REAGENTES DE FLOTAÇÃO

Os reagentes de flotação são os agentes mais importantes em um processo de flotação. No estágio inicial da aplicação industrial do processo de flotação, os maiores avanços científicos e/ou tecnológicos foram no desenvolvimento de novos reagentes.

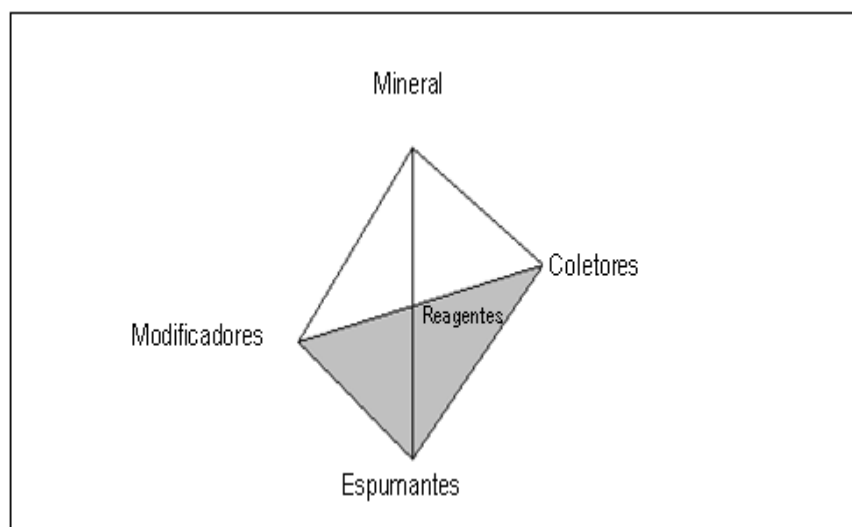
Conforme Baltar (2008 *apud* Dávila 2013), o sucesso na flotação depende da escolha adequada do reagente que contribui para quatro eventos essenciais no processo:

- Dispersão das partículas;
- Adsorção seletiva do coletor nas partículas;
- Estabilidade das bolhas de ar e
- Adesão partícula-bolha.

Uma classificação moderna dos reagentes de flotação é baseada em sua função específica no processo, sendo assim, são divididos em: coletores, espumantes e modificadores (depressores, ativadores, reguladores de pH e agentes dispersantes).

O triângulo formado pelos reagentes de flotação é à base de uma pirâmide Figura 9, que associado ao conhecimento básico, aos testes laboratoriais e nas necessidades da indústria mineral, visam a recuperação mineral (NAGARAJ, 2005 *apud* CASTRO, 2016).

Figura 9 - Triângulo dos reagentes de flotação interagindo com a mineralogia.



Fonte: Nagaraj, (2005 *apud* CASTRO, 2016)

3.5.1. Coletores

Os coletores são surfactantes que têm uma estrutura típica composta de uma parte de natureza molecular (não iônica) e outra de natureza polar (iônica). A parte polar pode apresentar diversas funções e a parte molecular é sempre uma cadeia orgânica, de comprimento variável, podendo ser linear, ramificada e até mesmo cíclica.

Os coletores são distinguidos em função da sua carga iônica, podendo ser aniônicos ou catiônicos, conforme a carga elétrica do grupo polar, resultante da ionização da molécula. Existem ainda, alguns reagentes reforçadores de hidrofobicidade, classificados erroneamente como coletores não ionizáveis, sendo constituídos em sua maioria por hidrocarbonetos líquidos (diesel, óleo combustível, querosene) (BERALDO, 1983 apud CASTRO, 2016). Óleos adicionados em mistura com o coletor costumam reforçar a sua ação coletora ou então aumentar a seletividade. Certos minerais como grafite, enxofre nativo, molibdenita, talco e carvões betuminosos são naturalmente hidrofóbicos, assim, os reagentes utilizados nestes casos são óleos minerais e derivados da destilação do carvão ou então, simplesmente meros espumantes. Uma mistura de coletores pode revelar uma ação sinérgica, de modo que o efeito da mistura é superior à soma dos efeitos de cada coletor. Óleos adicionados em mistura com o coletor costumam reforçar a sua ação coletora ou então aumentar a seletividade.

3.5.2. Espumantes

Bulatovic (2007 apud CASTRO, 2016) define espumantes como compostos tenso-ativos heteropolares que contém um grupo polar (OH, COOH, C=O, OSO₂ e SO₂OH) e uma cadeia hidrocarbônica, capazes de se adsorverem na interface água/ar. Dentre suas funções na flotação estão a formação de uma camada de espuma e a redução da tensão superficial na interface água/ar aumentando a resistência das bolhas, facilitando a dispersão e diminuindo a coalescência, tornando-as mais dispersas e estáveis, melhorando as condições para coleta das partículas.

Os espumantes utilizados na flotação são compostos orgânicos heteropolares, cuja estrutura é, portanto, parecida com a dos coletores. A diferença reside no caráter funcional do grupo polar: o radical dos coletores é quimicamente ativo e capaz em princípio de interagir elétrica ou quimicamente com a superfície do mineral a ser coletado. Já os espumantes têm um radical hidrofílico de grande afinidade pela água. Esta diferença funcional determina o comportamento

dos dois grupos de reagentes: enquanto os coletores tendem a migrar para a interface sólido-gás, os espumantes se dirigem para a interface líquido-gás.

Ao longo dos anos várias alternativas foram testadas e utilizadas por períodos em que os preços de mercado eram competitivos. Um dos espumantes utilizados com melhor desempenho na flotação de carvão foi o metil-isobutil-carbinol (MIBC), entretanto, devido a uma relação de custos-benefício desfavorável acabou sendo substituído pelo óleo de pinho, que até hoje é usado na flotação do carvão.

Leal Filho *et al.* (1993 *apud* Chaves 2009 *apud* CASTRO, 2016), reportam que outros espumantes sintéticos também já foram testados na flotação de finos de carvão, mas, da mesma forma que os espumantes convencionais, em função dos valores unitários relativamente baixos dos finos flotados de carvão, terminaram por não terem o seu uso viabilizado em escala industrial.

Como requisitos de qualidade para um bom espumante, eles devem apresentar as seguintes características (BALTAR, 2008 *apud* CASTRO, 2016):

- não ter propriedades coletoras, isto é, não adsorver na superfície do mineral;
- formar bolhas estáveis, permitindo o transporte de partículas minerais e a drenagem da água;
- formar bolhas estáveis durante o transporte do mineral até a superfície, mas que colapsem na descarga;
- insensível à variação de pH e a presença de sais dissolvidos;
- ter baixo custo e disponibilidade no mercado.

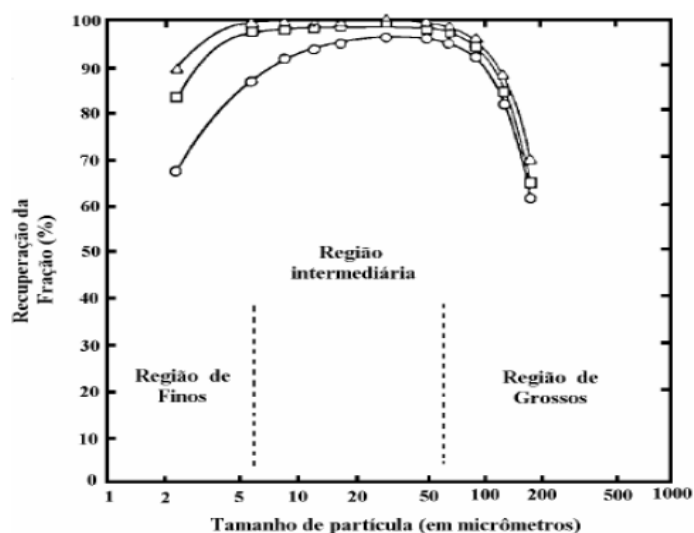
3.5.3. Influência do Tamanho da Partícula

Atualmente, um dos maiores desafios das indústrias mineiras está relacionado com a recuperação de partículas minerais finas, sendo este um problema reportado em diversos trabalhos publicados nas últimas décadas (Trahar e Warren, 1976; Trahar, 1981; Sivamohan, 1990; Wellenkamp, 1999; Tao *et al.*, 2000; Yuehua *et al.*, 2003), citados por Brum (2004). Esta preocupação é motivada pela necessidade de processamento de minérios que requerem um elevado grau de moagem e, conseqüentemente, resultam em significantes quantidades de finos.

Trahar (1981 *apud* Brum 2004) apresenta a Figura 10, onde a curva de recuperação versus tamanho de partícula é dividida arbitrariamente em três regiões. Nesta apresentação, as

frações correspondentes aos finos (abaixo de 5 μm) e aos grossos (acima de 70 μm) seriam as faixas “problema” para o processo de flotação, enquanto na região intermediária estariam concentradas as partículas de tamanho ideal (com maior flotabilidade).

Figura 10 - Representação das regiões granulométricas.



Fonte: Trahar, (1981 *apud* Brum 2004).

3.5.4. Finos na Flotação

Santos e Dutra (2011), destacam que os principais problemas observados na flotação de finos são: baixa probabilidade de colisão e adesão entre partículas e bolhas, dificuldade de superar a barreira energética entre elas, arraste mecânico, recobrimento por ultrafinos de ganga (*slime coating*), elevado consumo de reagentes, rigidez excessiva da espuma, e baixa seletividade na adsorção de reagentes, além de aspectos como composição e oxidação superficial das partículas, alterações mineralógicas e íons dissolvidos na água de processo (SONG *et al.* 2001 *apud* SANTOS & DUTRA, 2011). Todos esses fatores contribuem para uma diminuição da velocidade (cinética) de flotação e da recuperação do mineral de interesse, além de um aumento no consumo de reagentes. Por outro lado, as partículas grossas apresentam o problema contrário devido à sua massa elevada e baixo grau de liberação, o que leva a uma baixa recuperação.

Normalmente as partículas ultrafinas, com tamanho menor que 10 μm , têm baixa eficiência de colisão com bolhas de ar e são suscetíveis ao mecanismo de arraste hidrodinâmico. Este mecanismo não distingue as partículas hidrofílicas das hidrofóbicas e está estritamente relacionado com a recuperação de água. Em alguns trabalhos (TRAHAR, 1981; WARREN,

1985; SUBRAHMANYAM e FORSSBERG, 1990 apud SANTOS & DUTRA, 2011) observou-se uma relação linear entre a recuperação de água e do mineral, introduzindo os conceitos de grau de arraste hidrodinâmico e recuperação real, que é a obtida somente através do mecanismo bolha partícula.

Rubio *et al.* (2004), em qualquer sistema de flotação existe uma determinada faixa de tamanho de partículas para a qual deve-se dispor de uma distribuição de tamanho de bolhas adequada para que a “captura” de partículas pelas bolhas seja maximizada. Para uma ampla distribuição granulométrica de partículas, teoricamente necessita-se de uma distribuição de tamanho de bolhas correspondente. Isto não ocorre nas condições reais de flotação em usinas de tratamento de minérios e por isso, a recuperação das partículas minerais finas e ultrafinas é normalmente baixa.

As células de flotação convencionais geram bolhas com tamanho da ordem de 600 a 2000 μm . Alguns difusores podem gerar bolhas de tamanho médio (100 a 600 μm), porém ainda insuficiente para a flotação de partículas ultrafinas (YOON, 1993 apud SANTOS & DUTRA, 2011). As técnicas emergentes existentes para o aumento da recuperação de finos e ultrafinos são baseadas em novos conceitos de otimização da “captura” de partículas por bolhas, através do aumento da probabilidade de colisão bolha-partícula pelo aumento da distribuição de tamanho de bolhas na célula, com injeção de bolhas médias (100 – 600 μm) ou pequenas (< 100 μm) (SONG *et al.*, 2001; RUBIO *et al.* 2003 apud SANTOS & DUTRA, 2011).

Muitos estudos têm reportado que a recuperação de partículas de diâmetro entre 1 μm e 10 μm aumenta com a diminuição do tamanho de bolhas, já que ocorre um aumento significativo da eficiência de colisão entre as bolhas e as partículas (NGUYEN *et al.* 2006; SARROT *et al.* 2007 apud SANTOS & DUTRA, 2011). Técnicas alternativas têm sido empregadas para a geração de bolhas pequenas e microbolhas, como as técnicas de flotação por ar dissolvido (FAD) e eletroflotação (KETKAR *et al.* 1991; BURNS *et al.* 1997 apud SANTOS & DUTRA, 2011).

3.5.5. Flotação verdadeira, arraste e aprisionamento

De acordo com George *et al.* (2004 apud CASTRO, 2016), a recuperação de partículas finas é uma função de flotação verdadeira, arraste e aprisionamento. O aprisionamento de partículas ocorre em um sistema polidisperso com as partículas finas ficando presas entre os aglomerados de partículas mais grossas e as bolhas. A recuperação de partículas finas é assim

uma função de flotação verdadeira e de arraste apenas, quando não há partículas grossas adicionadas ao sistema.

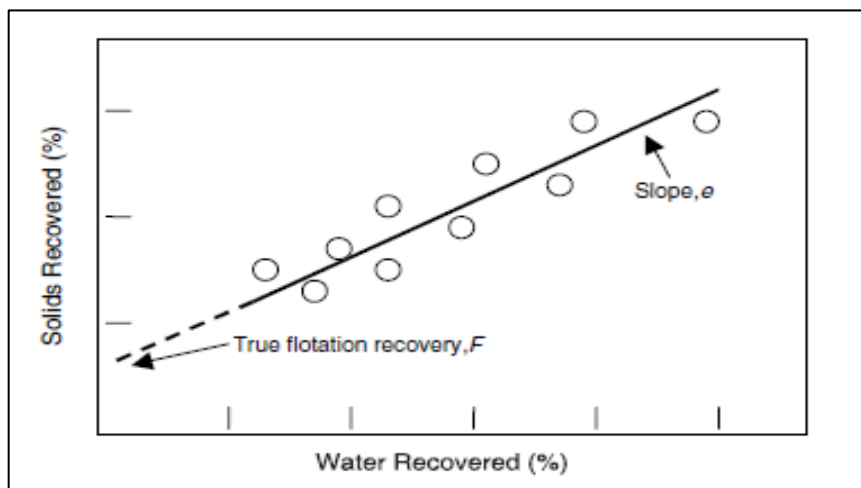
O processo de flotação verdadeira ocorre quando uma partícula colide com as bolhas de ar e sua adesão à sua superfície. A partícula selecionada é então removida da célula como parte da espuma. Por outro lado, o arraste de partículas ocorre quando as partículas são arrastadas a partir da polpa para a espuma no líquido intersticial. Enquanto a flotação verdadeira é um processo seletivo, a captura de partículas no líquido intersticial é não seletiva. Para um sistema, de espécies mistas, um elevado nível de arraste de partículas resultará em produtos de baixa qualidade.

Warren (1985 *apud* George *et al.* 2004 *apud* CASTRO, 2016), assumem que o arraste de partículas não ocorre em uma espuma seca. Uma série de experiências é conduzida e a taxa de recuperação de água varia alterando a taxa de remoção de espuma e a altura da espuma. A linha de regressão para a relação entre a recuperação de sólidos totais e recuperação de água é extrapolado para a recuperação de água equivalente a “zero”. A massa de sólidos recuperados neste ponto é a recuperação apenas por flotação verdadeira. Esta técnica pode ser resumida como:

$$R(t) = F + eW(t) \quad (4)$$

Onde, $R(t)$ e $W(t)$ são as recuperações do mineral (por flotação verdadeira e arraste) e água, respectivamente, como uma função de tempo, t . F é a recuperação devido à flotação verdadeira. O grau de arraste, e , é igual à inclinação de $R(t)$ em função $W(t)$. Uma representação esquemática desta técnica é dada na Figura 11.

Figura 11 - Determinação da flotação verdadeira pelo método de Warren.



Fonte: Adaptado de George *et al.* (2004 *apud* CASTRO, 2016)

3.5.6. Cinética da flotação

As velocidades com que as espécies minerais são removidas da célula obedecem a leis semelhantes às da cinética química. Assim, pode-se falar em cinéticas de flotação de ordem zero, de primeira ordem e de segunda ordem.

Na realidade, ao se flotar um minério composto de dois minerais, *A* e *B*, haverá remoção de ambos pela espuma, uma vez que a seletividade não é perfeita.

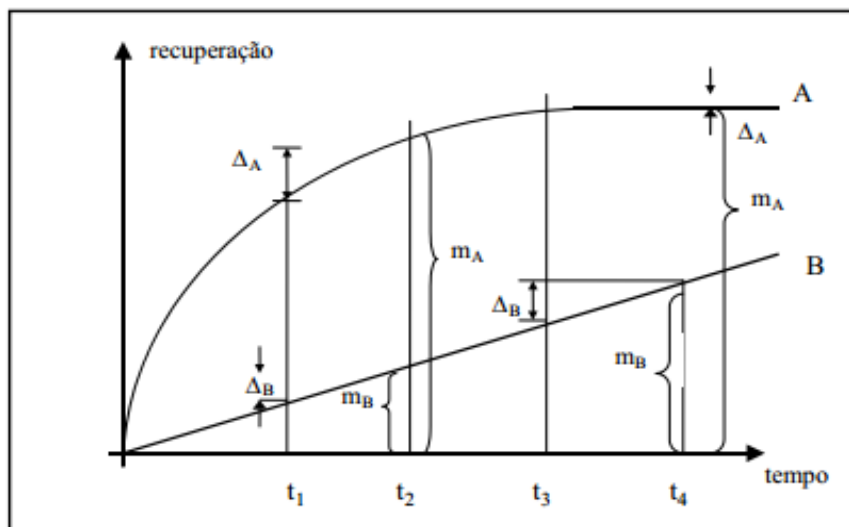
Mesmo considerando que a velocidade de flotação do mineral *A* (que se quer flotar) é muito maior que a do mineral *B*, este será também removido, mas em menor proporção. Se a operação se estender por tempo demasiadamente longo, a quantidade de *B* flotado pode vir a prejudicar o teor do concentrado final.

O ensaio para se medir a cinética de flotação consiste em recolher o material flotado de forma segmentada, onde o recipiente de coleta é substituído em intervalos de tempo (maiores que 30") até a conclusão da flotação. Essas amostras flotadas e o material não flotado (deprimido) são secadas, pesadas e enviadas para análise. Com os resultados obtidos, é possível calcular as recuperações e representá-las num gráfico recuperação por tempo, como mostra a Figura 12. Nesta, o material *A* está flotando com uma cinética de segunda ordem e velocidade maior, enquanto *B* flota com uma cinética de primeira ordem e velocidade menor. A massa removida de *A* cresce no início da flotação, diminuindo com o tempo, ao passo que a remoção de *B* é constante.

Em consequência, aumentando-se o tempo de residência do minério na célula, de t_1 para t_2 , as massas m_A e m_B flotadas aumentam dos diferenciais dA e dB . Quando se passa de t_3 para t_4 , dA torna-se muito pequeno, enquanto dB continua sendo significativo. Existe então um tempo de residência ótimo em que a recuperação de *A* é boa e a contaminação de *A* com *B* (relação de m_A e m_B) é aceitável. Na Figura 12, este tempo parece estar em torno de t_2 : se a flotação for interrompida em t_2 , a contaminação do flotado com *B* será muito menor que se o tempo de flotação for t_3 ou t_4 . Se a flotação for interrompida em t_1 , o teor é muito bom, mas a recuperação é baixa.

O tempo de residência é, portanto, uma variável crítica para o dimensionamento e operação dos circuitos de flotação. Muitos processos de flotação podem ser controlados quanto à sua seletividade pela avaliação correta do tempo de residência nos estágios *rougher* e *cleaner*, como é o caso dos carvões minerais. (Da Luz *et al.*, 2010)

Figura 12 - Cinética de Flotação



Fonte: Da Luz *et al.* (2010 apud CASTRO, 2016)

3.5.7. Flotação do carvão

Segundo Chaves (1983 apud CASTRO, 2016), a prática da flotação de carvões também tem particularidades muito próprias, diferentes das práticas das substâncias minerais:

- usualmente, a flotação é feita em apenas um estágio; raramente utiliza-se “*cleaner*” e mais raramente ainda “*scavenger*”;
- a flotação dos carvões opera com granulometrias muito mais grossas que as dos minérios devido ao baixo peso específico do carvão;
- o processo dá melhores resultados com grandes quantidades de bolhas de ar de pequeno diâmetro, justificável pelo tamanho maior das partículas;
- a flotação do carvão opera com diluições extremamente altas (da ordem de 3 a 8% em peso) se comparadas com outros sistemas;
- a velocidade de flotação (cinética) varia com o “*rank*” do carvão, cresce com a aeração da polpa e é aproximadamente constante nas polpas diluídas.

3.5.8. Mecanismos atuantes na flotação de carvão

Os carvões betuminosos constituem um dos exemplos clássicos de substâncias naturais flotáveis apenas com o auxílio de espumante, sem a necessidade do uso de coletor. Esta flotabilidade natural decorre da sua estrutura química, constituída de hidrocarbonetos de cadeia muito longa e estruturas cíclicas.

Estes hidrocarbonetos, geralmente querosene ou diesel, são emulsionados e adicionados á polpa. Eles adsorvem sobre a superfície do carvão por adesão. Tanto carvão como óleos têm maior atração entre si e pela fase gasosa que pela fase aquosa. Desta forma, os óleos são segregados da fase aquosa, indo se depositar na superfície carbonosa e assim reforçam a hidrofobicidade.

É consenso que alguns espumantes, especialmente o óleo de pinho, tenham ação coletora sobre o carvão. Como os espumantes são moléculas polares - não polares pode haver uma atração elétrica entre a porção polar da molécula e os sítios portadores de minerais na superfície do carvão, caracterizando assim um efeito coletor. Outros autores, entretanto, atribuem este resultado apenas à consistência da espuma, que com óleo de pinho seria capaz de arrastar mecanicamente partículas carbonosa (CHAVES, 1983). O metil-isobutil-carbinol (MIBC), que gera espumas mais ralas tem, via de regra, menor recuperação mássica, mas fornece flotados de menor teor de cinzas. Também, a oxidação do carvão e a presença de partículas minerais iônicas intercrescidas com o carvão prejudicam a seletividade da flotação.

3.5.9. Beneficiamento do carvão da mina Vale – Moçambique

O beneficiamento do carvão na mina da Vale-Moçambique engloba, basicamente, as operações de britagem (três estágios), peneiramento e desaguamento, beneficiamento gravimétrico e flotação.

A etapa de fragmentação ocorre de forma semelhante a outros sistemas, embora utilize diferentes tipos de britadores (britadores de rolos e de rolos dentados). Após a britagem, as partículas são separadas pelos tamanhos “grosso” (menor que 50 mm e maior que 1 mm), “intermediário” (menor que 1 mm e maior que 0,25 mm) e “fino” (menor que 0,25 mm); cada fração alimenta um processo de beneficiamento. Isto permite que se obtenham os melhores rendimentos e que os seus produtos atendam as especificações.

O processamento do carvão utiliza métodos de concentração gravítica, nos quais o princípio de separação é a diferença de densidades entre as partículas de carvão e matéria mineral em um meio fluido (água, ar) ou meio denso e a flotação.

Na etapa de beneficiamento do carvão, através de processos de separação gravimétrica (ciclones de meio denso, espirais etc.) e de flotação, é feita a redução dos teores de cinzas do mesmo. Um dos processos mais amplamente utilizados para a concentração do carvão é o de separação em meio denso. Nele, o carvão fragmentado é adicionado a uma polpa composta

por água e magnetita finamente pulverizada, formando o chamado “meio denso”. Este meio deverá ter uma densidade intermediária entre a densidade do “carvão limpo” (mais leve) e da matéria mineral (mais pesado). As faixas de tamanhos das partículas aplicados no processo de separação em meio denso são as de tamanho grosso (menor que 50 mm e maior que 1 mm) e para concentração em espirais são as de tamanho intermediário (menor que 1 mm e maior que 0,25 mm).

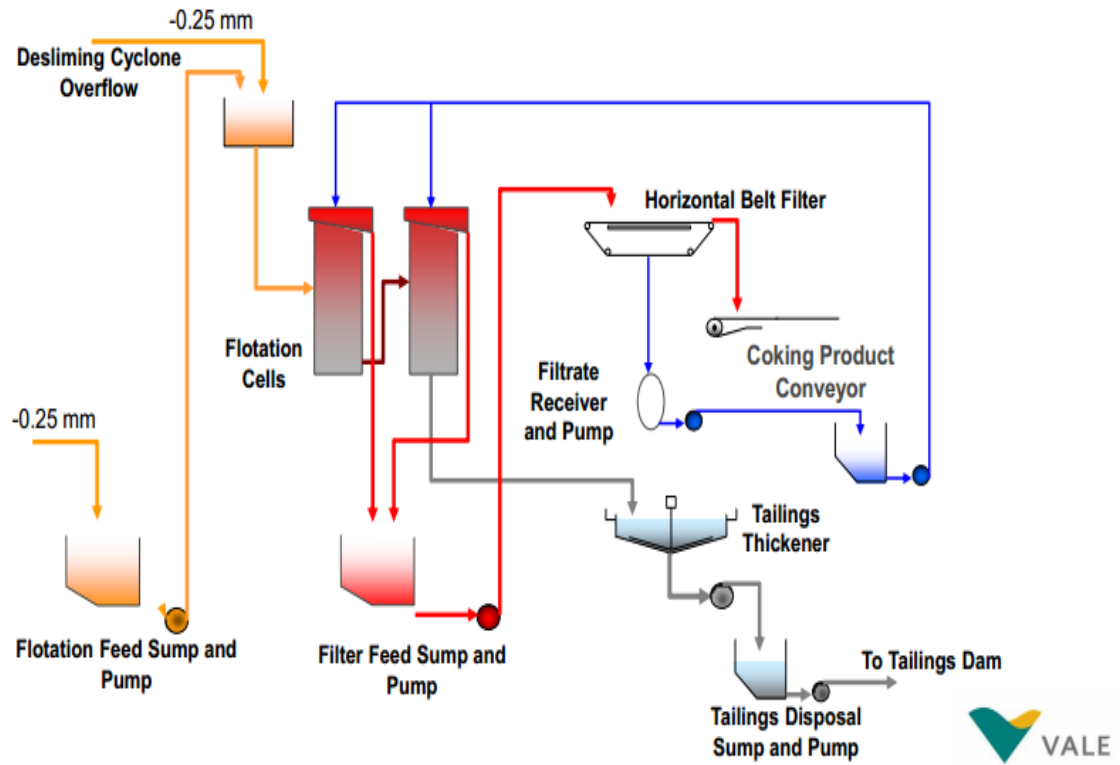
Partículas de tamanho fino (menor que 0,25 mm) alimentam as colunas de flotação juntamente com uma mistura de reagentes que visam formar e dar estabilidade a espuma e aumentar a hidrofobicidade das partículas de carvão para que elas se fixem às bolhas de ar. As partículas de carvão aderem às bolhas de ar da espuma indo para o topo das colunas onde são coletadas. O carvão limpo é desaguado com a utilização de filtros ou centrífugas.

A matéria mineral se dirige com a água para o fundo da coluna onde são descarregadas em um espessador de rejeitos para recuperação da água, visando sua recirculação no circuito de beneficiamento. O rejeito final é enviado para as barragens de rejeito.

3.5.10. Processo de flotação dos finos na mina Vale - Moçambique

O processo de flotação dos finos na mina da Vale- Moçambique é realizada em duas plantas designadas **Moatize I** e **Moatize II**, e utilizam colunas para a flotação *rougher* e *Scavenger* com um teor de cinzas da alimentação em torno de 21%. A nova planta de **Moatize II** utiliza os reagentes *óleo diesel* e *MIBC*. Os reagentes atualmente utilizados na planta de **Moatize I** são *Betacol Com 3* (BC3) e *Betafroth Fom 3* (BF3). O produto da flotação das duas plantas contém em torno de 7,5% de cinzas. O circuito de finos recebe a fração granulométrica abaixo de 0,25 mm que representa o *overflow* do ciclone deslamador e a fração passante da peneira desaguadora que alimentam o processo de flotação. A Figura 13 mostra o fluxograma do circuito de flotação dos finos de carvão da mina da Vale- Moçambique.

Figura 13 - Fluxograma do circuito dos finos de carvão de Moatize



Fonte: Vale-Moçambique, (2016 apud CASTRO, 2016).

4. EXPERIMENTAL

A parte experimental deste trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Processamento Mineral (Laprom), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

As amostras do presente trabalho consistem da fração de granulometria menor que 0,25 mm obtida do peneiramento de amostra previamente britada (*topsize* de 32 mm). O estudo deste material foi realizado com o método de flotação convencional em bancada, utilizando uma máquina de flotação em bancada. Buscou-se avaliar o desempenho dos reagentes para obter melhor recuperação de matéria carbonosa e baixo teor de cinzas.

4.1. EQUIPAMENTOS

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

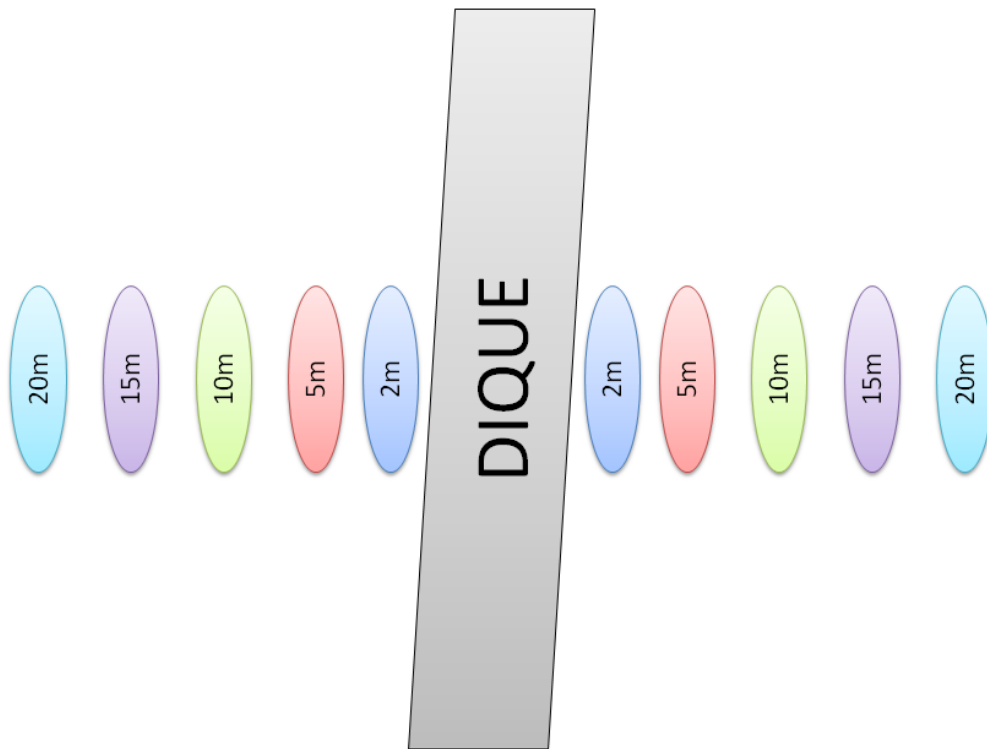
- Balança analítica modelo SHIMADZU AY220;
- Balança FILIZOLA ID-1500;
- Balança semi analítica tipo BEL MARK K12;
- Célula acrílica de flotação de 1,5 L;
- Célula acrílica de flotação de 4 L;
- Compressor Schulz modelo Msl 10 MI/ 175 Litros;
- Estufa marca DE LEO;
- Filtro de pressão marca ENGENDRAR, modelo 08 inox 304;
- Forno Mufla marca Jung, modelo 2312;
- Analisador de tamanho de partículas Cilas 1190;
- Homogeneizador tipo FISATOM, 6000 RPM;
- Jogo de peneiras Tyler;
- Máquina de flotação CDC, série CFB; modelo CEB-1000-EEP NBA;
- Medidor de pH marca ANALION PM 608 PLUS;
- Multipicnometro Quantachrome MUP-5DC;
- Peneira vibradora;
- Quarteadores tipo Jones.

4.2. AMOSTRAS DE CARVÃO – OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO

Foram estudadas amostras de carvões coletadas próximas a diques que ocorrem na mina de Moatize, sendo definidas com o planejamento de lavra/geologia de mina nas operações em Moatize.

As amostras foram coletadas a distâncias de 2 m, 5 m, 10 m, 15 m e 20 m (esta última correspondendo ao carvão “original” não afetado termicamente pela formação do dique) de cada lado das paredes de diferentes diques (Figura 14). Portanto, para um dique escolhido arbitrariamente pela mina, foram coletadas 10 amostras.

Figura 14 - Posição esquemática das amostras coletadas

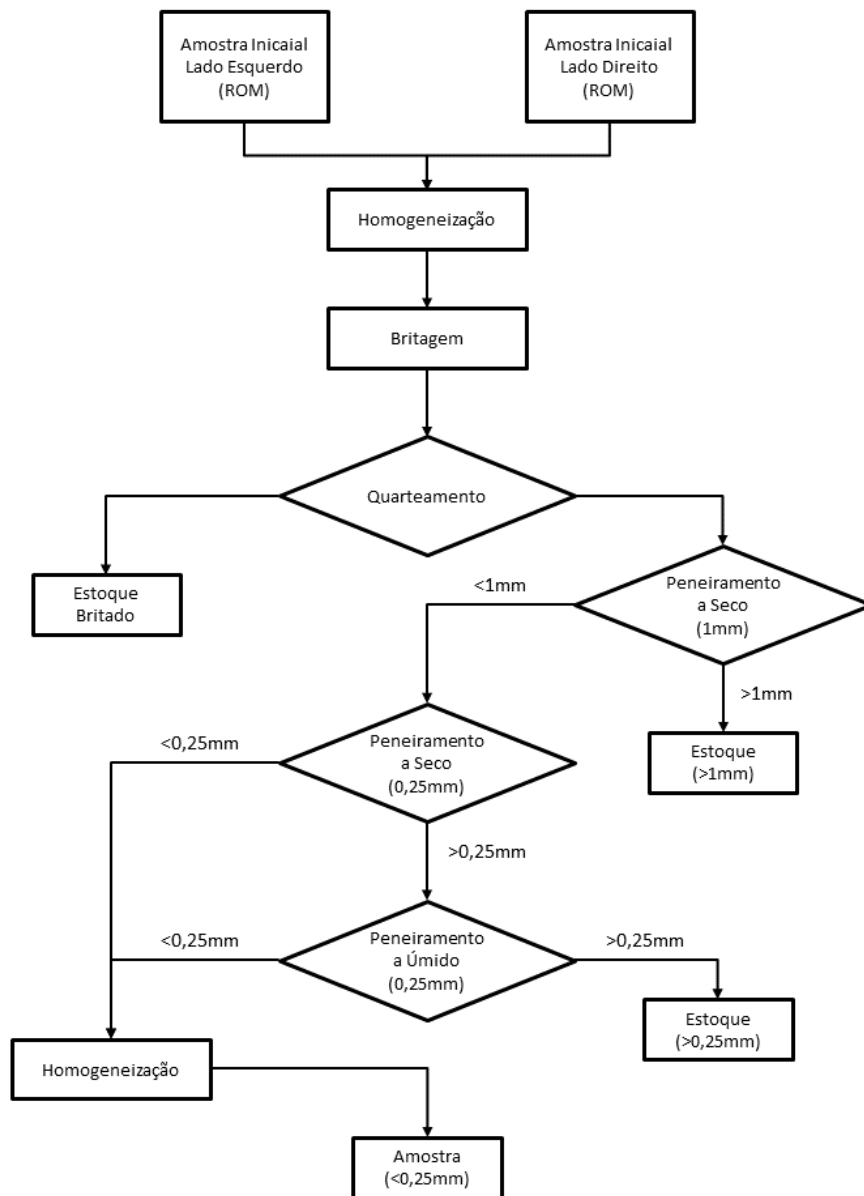


Fonte: produção própria do autor

Tendo em vista o material ter sido amostrado em granulometria ROM, de ter sido obtido em ambos os lados de um dique arbitrário e tendo como única característica informada a distância até ele (sem especificações adicionais como coordenadas ou profundidade) optou-se por homogeneizar as amostras de uma mesma distância antes de proceder com a britagem (para obtenção de material 100% passante em 32 mm). Após essa etapa, a amostra foi quarteada de modo a estocar parte da amostra britada. Em sequência, foi realizado o peneiramento da amostra de interesse na malha de 1,0 mm, sendo a parcela retida estocada e a parcela passante seguindo para a etapa seguinte, para seleção de material com diâmetro inferior a 0,25 mm.

Essa seleção final foi composta de dois processos sequenciais de peneiramento (a seco e a úmido) onde o material retido em 0,25 mm no peneiramento a seco foi submetido ao peneiramento a úmido e as parcelas resultantes deste (retida e passante) foram colocadas para secar a 45° C. Por fim, a parcela retida no peneiramento a úmido (menor que 1,00 mm e maior que 0,25 mm) foi estocada e as duas parcelas passantes em 0,25 mm (dos peneiramentos a seco e a úmido) foram reunidas e homogeneizadas para formar amostra de interesse para estudo. O fluxograma desse procedimento está ilustrado na Figura 15.

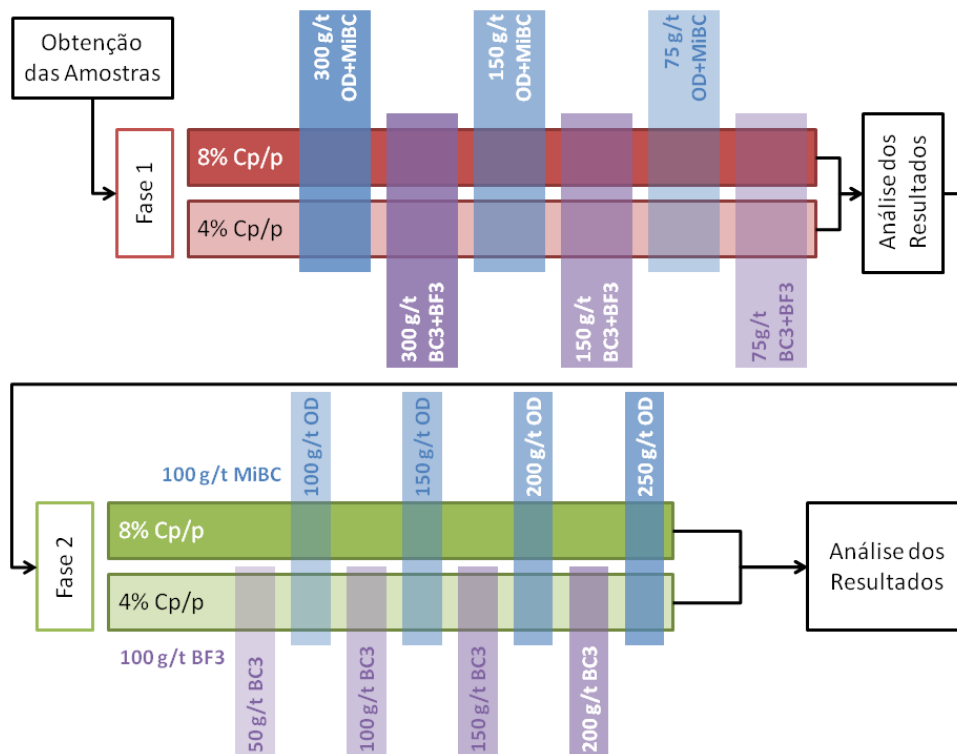
Figura 15 - Obtenção de Amostras Utilizadas nos Experimentos de Flotação



Fonte: produção própria do autor

A determinação das concentrações de reagentes se deu em duas fases: “experimentos preliminares” e “experimentos finais”. A primeira fase (experimentos preliminares) foi utilizada para sondar quais os parâmetros mais pertinentes deveriam ser estudados de forma mais detalhada na segunda fase (experimentos finais). Na primeira fase, foi previsto utilizar um percentual de sólidos por polpa (Cp/p) de 4% e 8% combinadas com 300 g/t, 150 g/t e 75 g/t das duas combinações de reagentes (OD com MIBC e BC3 com BF3, com as concentrações de coletores sendo iguais às concentrações dos espumantes) que orientaram as concentrações de partículas e de reagentes que seriam utilizadas na segunda fase. Devido a alguns fatores (como a quantidade limitada de amostra disponível e os resultados obtidos nos experimentos preliminares), optou-se por não realizar analisar a combinação de BC3 com BF3 em Cp/p de 8% nos experimentos finais. A Figura 16 apresenta o fluxograma esquemático da sequência dos experimentos.

Figura 16 - Sequência experimental



Fonte: produção própria do autor

4.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS BRUTAS

Para a obtenção da fração desejada para o estudo, o carvão foi devidamente homogêneo, britado e separado por tamanho por meio da peneira vibradora onde foram usadas uma série de peneiras com aberturas entre 16 mm e 1,00 mm. Posteriormente, para fins de análise, uma

parcela passante em 1,00 mm foi selecionada para ser submetida a peneiramento em frações entre 1,00 mm e 0,045 mm. A Tabela 1 mostra distribuição granulométrica do referido material, cujo gráfico de frequência acumulada encontra-se na Figura 17, demonstrando que as amostras obtidas a distâncias maiores (20 m) são mais friáveis que as demais. A partir do material estocado com fração menor que 1,00 mm, foram realizados dois procedimentos de peneiramento em sequência, um a seco e outro a úmido. O material de interesse passante em 1,00 mm foi peneirado a seco em 0,25 mm, onde o material passante foi reservado enquanto o retido foi submetido a peneiramento a úmido em 0,25 mm. Após os peneiramentos, os materiais resultantes do peneiramento a úmido foram secos a 45° C, sendo a fração retida em 0,25 mm embalada e estocada e as frações passantes homogeneizadas e reservadas para o presente estudo. Devido ao processo de peneiramento a úmido ser significativamente lento, foram processadas para os experimentos de flotação apenas amostras das faixas de 2 m, 10 m e 20 m, sendo as de 5 m e 15 m processadas apenas o suficiente para obtenção de amostra para análises subsequentes.

Tabela 1. - Distribuição granulométrica das amostras obtidas para diferentes distâncias do dique

Abertura (mm)	2 m (%)		5 m (%)		10 m (%)		15 m (%)		20 m (%)	
	Freq.	Ac.	Freq.	Ac.	Freq.	Ac.	Freq.	Ac.	Freq.	Ac.
+16,00	33,75	33,75	31,39	31,39	30,39	30,39	19,44	19,44	8,84	8,84
+12,00	9,89	43,65	6,91	38,29	7,36	37,74	4,93	24,38	2,40	11,25
+8,000	15,48	59,12	11,55	49,84	11,71	49,45	8,50	32,87	4,35	15,59
+4,000	13,48	72,60	13,85	63,69	13,19	62,65	13,87	46,75	66,05	81,64
+2,000	7,69	80,29	12,69	76,38	8,86	71,51	11,75	58,49	3,86	85,50
+1,000	6,99	87,28	7,10	83,48	7,49	78,99	10,68	69,17	4,20	89,70
+0,500	4,65	91,93	6,94	90,42	6,69	85,68	11,21	80,38	0,00	89,70
+0,250	4,31	96,24	5,49	95,91	6,65	92,34	10,24	90,62	0,00	89,70
+0,150	0,38	96,62	0,81	96,73	0,00	92,34	2,22	92,84	0,00	89,70
+0,100	0,41	97,03	0,79	97,52	0,00	92,34	1,82	94,66	0,02	89,73
+0,075	0,43	97,46	0,60	98,12	0,00	92,34	1,18	95,84	0,49	90,22
+0,045	0,90	98,36	0,62	98,74	0,18	92,51	1,37	97,21	3,62	93,84
-0,045	1,64	100,00	1,26	100,00	7,49	100,00	2,79	100,00	6,16	100,00

Figura 19 - Distribuição Granulométrica da fração fina das Amostras

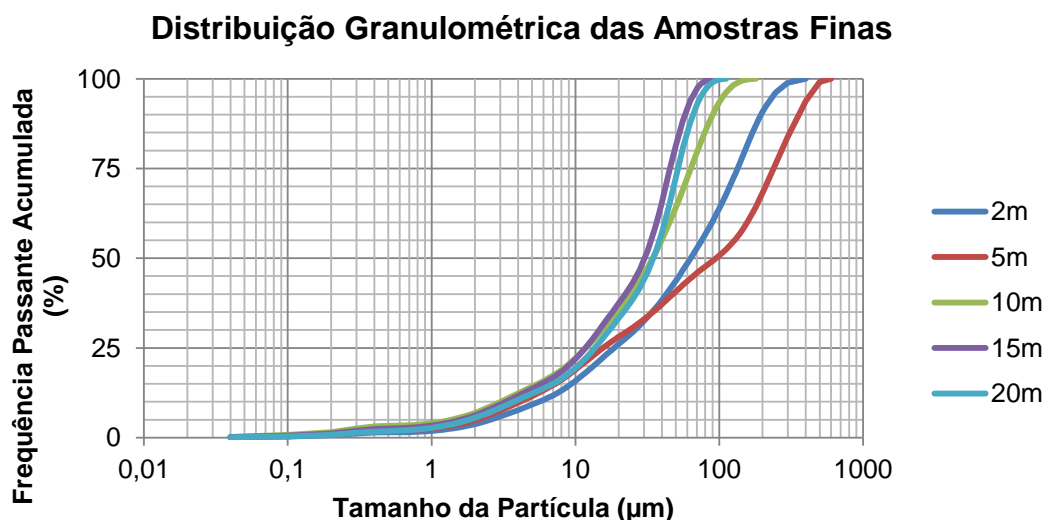


Tabela 2. - Análise granulométrica da fração fina do carvão de Moatize.

Diâmetro (μm)	Retido Acumulado (%)				
	2 m	5 m	10 m	15 m	20 m
250	3,65	23,22	0,00	0,00	0,00
200	9,30	31,88	0,00	0,00	0,00
150	20,34	41,24	0,36	0,00	0,00
100	36,20	49,26	6,60	0,00	0,23
50	56,26	59,25	35,80	18,50	27,41
25	70,59	69,32	59,47	56,89	61,48
15	78,23	75,47	70,49	69,40	73,04
10	84,23	81,09	77,90	78,15	80,62
5	90,78	88,42	85,78	86,39	87,73
2	96,23	95,13	93,10	93,77	94,49
1	98,10	97,48	95,96	96,64	97,26
0,5	98,52	98,05	96,73	97,44	98,17
<0,5	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

4.5. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

A partir das amostras passantes em 0,25 mm, foram feitas análises para determinação do teor de cinzas (NBR 8289) e do teor de matéria volátil (NBR 8290) a fim de obter o teor de matéria carbonosa das amostras além de analisada a densidade de cada amostra (utilizando o Multipicnometro Quantachrome MUP-5DC). Enquanto a densidade da amostra permite o cálculo adequado de Cp/p dos experimentos de flotação, os teores de cinzas, matéria volátil e matéria carbonosa (obtidos antes e depois do beneficiamento) permitem analisar adequadamente a eficiência dos processos empregados.

4.6. PREPARAÇÃO E QUARTEAMENTO DA AMOSTRA

As amostras de carvão foram devidamente acondicionadas em sacos plásticos. Cada amostra foi dividida sucessivas vezes com o uso de quarteadores Jones (Figura 20 e Figura 21), sendo que, uma parte foi armazenada no laboratório visando o futuro aproveitamento.

Figura 20 - Quarteador Jones



Fonte: produção própria do autor

Figura 21 - Quarteador Jones de bancada



Fonte: produção própria do autor

4.7. REAGENTES

Os reagentes utilizados para os ensaios de flotação do carvão foram: *Betacol Com 3* (BC3) como coletor e *Betafroth Fom 3* (BF3) como espumante, *óleo diesel* (OD) como coletor e *Metil isobutil carbinol* (MIBC) como espumante. Mais abaixo são descritas as características de cada reagente.

Betacol Com 3 (BC3) - é um composto químico orgânico com 70% de querosene, é um líquido imiscível de cor castanho claro, de odor forte, densidade igual a 0,87 g/cm³ a temperatura de 25° C (GROBLER, 2017).

Betafroth Fom 3 (BF3) - é um composto químico orgânico a base de álcool, é um líquido imiscível incolor, de odor forte, densidade igual a 0,90 g/cm³ a temperatura de 25° C (GROBLER, 2017).

Óleo Diesel (OD) - é um combustível derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos, o óleo diesel é um composto formado principalmente por átomos de

carbono, hidrogênio e em baixas concentrações por enxofre, nitrogênio e oxigênio (PETROBRAS, 2018).

Metil isobutil carbinol (MIBC) - é um composto químico orgânico, é um líquido derivado de acetona com um odor pungente de álcool. Ele tem uma solubilidade limitada em água, mas é miscível com a maior parte dos solventes orgânicos. As principais utilizações de MIBC como um espumante são em flotação de minerais e na produção de aditivos de óleo lubrificante (CELANESE, 2018).

4.8. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO

Decidiu-se por iniciar os trabalhos pela amostra extraída a 20 m do dique (VL-20M), em razão de ser a menos afetada pelo calor de formação do dique, seguindo com a amostra extraída a 10 m do dique (VL-10M) e concluir com a amostra extraída a 2 m do dique (VL-02M), sendo esta a mais afetada pelo dique.

Visando simular duas etapas de flotação subsequentes (*Rougher* e *Scavenger*) e evitar perdas de amostra entre as etapas, utilizou-se uma única célula de flotação em bancada operada por cinco minutos, sendo os dois primeiros correspondentes à primeira etapa (*Rougher*) e os três minutos seguintes (a partir do material não flotado na primeira) à segunda etapa (*Scavenger*). A etapa *Rougher* recebeu 80% do total de reagentes (coletor e espumante) e operou com vazão constante de ar-comprimido de 1 L/min enquanto a etapa *Scavenger* receberia os demais 20% do total de reagentes (coletor e espumante) e operaria com vazão crescente de ar-comprimido, de 2 L/min até 4 L/min. A fim de evitar desperdício de amostras, os ensaios preliminares foram realizados em uma célula de flotação de 1,5 L e os finais em uma célula de 4,0 L a fim de obter massa resultante suficiente para análises subsequentes. Os experimentos foram realizados em uma máquina de flotação de bancada (Figura 22) sob parâmetros básicos definidos para os ensaios de flotação em escala de bancada descritos na Tabela 3.

Tabela 3. - Parâmetros dos ensaios de flotação

Parâmetro	Descrição
Fabricante da máquina de flotação	C.D.C. Equipamentos Industriais Ltda.
Capacidade das células de acrílico	1,5 L e 4,0 L
Velocidade do rotor	1000 RPM
Vazão de Ar	1,0; 2,0; 3,0; e 4,0 L/min
Concentração dos sólidos (Cp/p)	4% e 8%
Tempo de flotação	30", 1'; 2'; 3'; 4'; e 5'

Figura 22 - Máquina de flotação de bancada



Fonte: produção própria do autor

Na primeira fase de experimentos (com célula de 1,5 L), foram obtidos três produtos: flotado em 2' (etapa *Rougher*), flotado de 2' a 5' (etapa *Scavenger*) e deprimido (não flotado). A opção por apenas essas três amostragens se deve à pouca massa utilizada para compor a polpa inicial e a conseqüente pouca massa em cada produto, o que inviabilizaria análises mais detalhadas (amostragens a cada minuto) devido à massa insuficiente. Entretanto, os experimentos realizados na etapa final renderam seis produtos cada: três da etapa *Rougher* (flotados em 30'', 1' e 2'), três da etapa *Scavenger* (flotados em 3', 4' e 5') e o produto deprimido (não flotado).

Devido ao grande volume de água contido na polpa não flotada (parcela deprimida) após os ensaios, a imediata secagem em estufa mostrou-se inapropriada. Assim sendo se fez o uso do filtro de pressão (Figura 23) para a filtragem prévia antes da secagem em estufa a 45° C (Figura 24), contudo as polpas flotadas não precisaram ser filtradas previamente e foram levadas diretamente para secar em estufa (a 45° C) logo após a flotação.

Todos os ensaios foram realizados visando otimizar parâmetros de separação, como recuperação mássica, recuperação da matéria carbonosa, recuperação da água, recuperação de cinzas bem como teores de cinzas e voláteis.

Figura 23 - Filtro de pressão



Fonte: produção própria do autor

Figura 24 - Amostras secando em estufa



Fonte: produção própria do autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cinco amostras foram analisadas para definir suas características quanto à densidade e aos teores de cinzas, matéria volátil e matéria carbonosa. Com base nesses resultados, foram utilizadas amostras das distâncias de 2 m, 10 m e 20 m (VL-02M, VL-10M e VL-20M, respectivamente) para realizar experimentos preliminares (com célula de flotação de 1,5 L) que permitiram estabelecer os parâmetros para experimentos finais (com célula de flotação de 4,0 L).

5.1. CARACTERÍSTICA DAS AMOSTRAS INICIAIS

A partir das amostras passantes em 0,25 mm, foram feitas análises para determinação do teor de cinzas (NBR 8289) e do teor de matéria volátil (NBR 8290) a fim de obter o teor de matéria carbonosa de cada amostra (equação 5). Também foi analisada a densidade de cada amostra (utilizando o Multipicnometro Quantachrome MUP-5DC) a fim de definir a quantidade correta de amostra a ser utilizada em cada experimento. Os resultados dessas análises são apresentados na Tabela 4, cuja análise permitiu obter o gráfico de características do carvão por distância ao dique (Figura 25), o qual pode-se observar significativa relação entre os teores de cinzas e matéria carbonosa com a densidade do material (Figura 26) em virtude da densidade da matéria inorgânica ser maior que a densidade da matéria orgânica.

$$C = 100\% - C_z - V \quad (5)$$

onde:

C - Teor de Matéria Carbonosa;

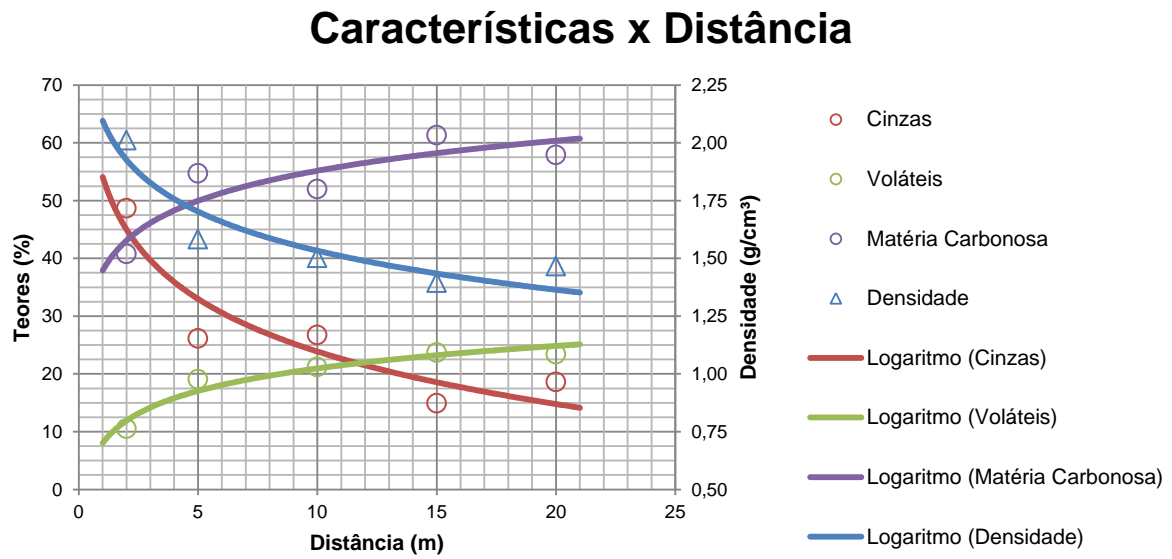
C_z - Teor de Cinzas;

V - Teor de Matéria Volátil.

Tabela 4 - Características das amostras

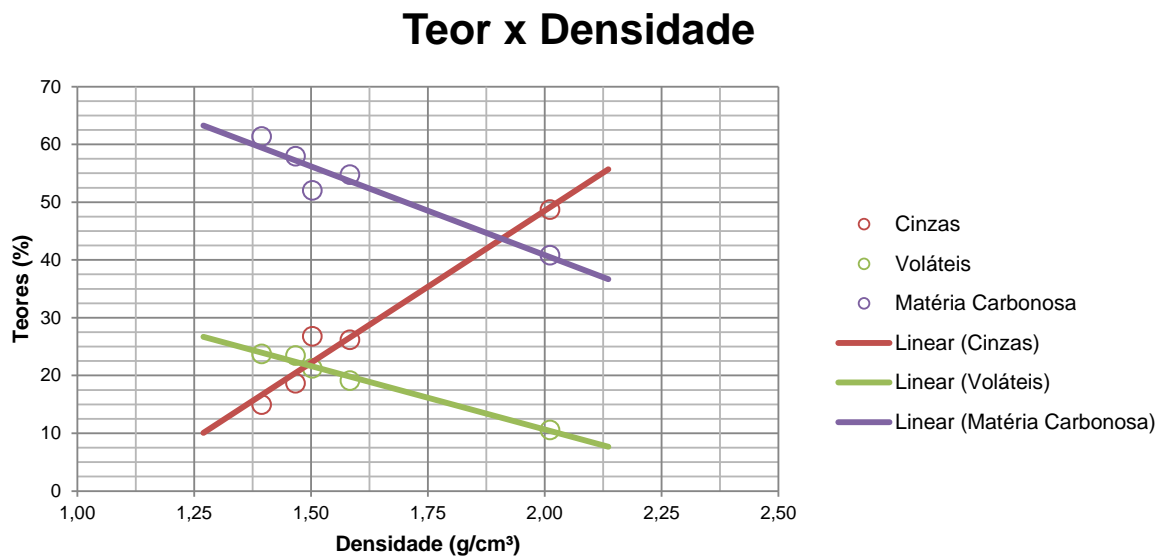
Amostra	Distância do Dique (m)	Densidade (g/cm ³)	Teores (%)		
			Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M	2	2,01	48,68	10,54	40,78
VL-05M	5	1,58	26,15	19,12	54,73
VL-10M	10	1,50	26,78	21,20	52,02
VL-15M	15	1,39	14,96	23,72	61,32
VL-20M	20	1,47	18,63	23,43	57,94

Figura 25 - Característica da amostra em relação à distância do dique



Fonte: produção própria do autor

Figura 26 - Correlação entre densidade e teores analisados



Fonte: produção própria do autor

5.2. EXPERIMENTOS PRELIMINARES

Visando replicar os procedimentos adotados na planta da Vale em Moatize em que 80% dos reagentes são acrescentados na etapa *Rougher* e os 20% restantes na etapa *Scavenger*, os primeiros ensaios preliminares de flotação foram realizados se limitaram à etapa *Rougher* visando avaliar a eficácia dos reagentes nesta etapa e estimar a quantidade de material não flotado, que corresponderia a alimentação de uma etapa *Scavenger* subsequente. Foram

realizados quatro experimentos, combinando os dois sistemas de reagentes utilizados (OD/MIBC e BC3/BF3), na concentração de 240 g/t (apenas os 80% de 300 g/t referentes à etapa *Rougher*) de coletor e de espumante, e a duas concentrações de partículas sólidas por polpa (Cp/p de 4% e 8%). Com base nesses resultados, foram realizados novos experimentos com 300 g/t de cada reagente acrescentados em duas etapas (80% na etapa *Rougher*, até 2', e 20% na etapa *Scavenger*, entre 2' e 5'). Após avaliar os resultados, foram realizados experimentos com parâmetros similares para concentrações de 150 g/t e 75 g/t de reagentes. Os experimentos iniciaram pela amostra VL-20M (amostra extraída a 20 m do dique), resultando em 16 experimentos (Tabela 5).

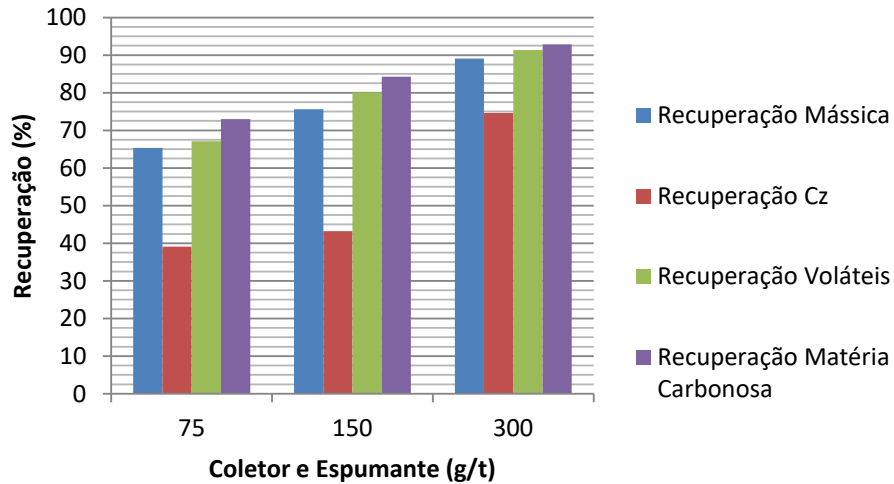
Tabela 5 - Experimentos preliminares realizados com amostra de 20 m

Ensaio	Cp/p (%)	Reagentes		Concentração de reagentes (g/t)	
		Coletor	Espumante	Rougher	Scavenger
VL-20M-01	8	OD	MIBC	240 (80% de 300)	--
VL-20M-02	8	BC3	BF3	240 (80% de 300)	--
VL-20M-03	4	OD	MIBC	240 (80% de 300)	--
VL-20M-04	4	BC3	BF3	240 (80% de 300)	--
VL-20M-05	8	OD	MIBC	240 (80% de 300)	60 (20% de 300)
VL-20M-06	8	BC3	BF3	240 (80% de 300)	60 (20% de 300)
VL-20M-07	4	OD	MIBC	240 (80% de 300)	60 (20% de 300)
VL-20M-08	4	BC3	BF3	240 (80% de 300)	60 (20% de 300)
VL-20M-09	8	OD	MIBC	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-20M-10	8	BC3	BF3	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-20M-11	4	OD	MIBC	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-20M-12	4	BC3	BF3	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-20M-13	8	OD	MIBC	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-20M-14	8	BC3	BF3	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-20M-15	4	OD	MIBC	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-20M-16	4	BC3	BF3	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)

Após a realização dos 16 experimentos com a amostra VL-20M (Tabela 5), analisou-se o resultado total de cada flotação (produto flotado em *Rougher* somado ao produto flotado em *Scavenger*) considerando os teores de cinzas, matéria volátil e, conseqüentemente, matéria carbonosa. Pode-se perceber nos experimentos utilizando-se a combinação de OD e MIBC com 8% de Cp/p que houve aumento de recuperação mássica conforme as concentrações de reagentes aumentaram, contudo houve aumento significativo de recuperação de cinzas (74,59%) para 300 g/t de reagentes frente à concentração de 150 g/t de reagentes, mas a recuperação de cinzas se manteve relativamente baixa (em torno de 40%) para as a concentrações de 75g/t e 150 g/t de reagentes (Figura 27). Contudo, analisando estritamente

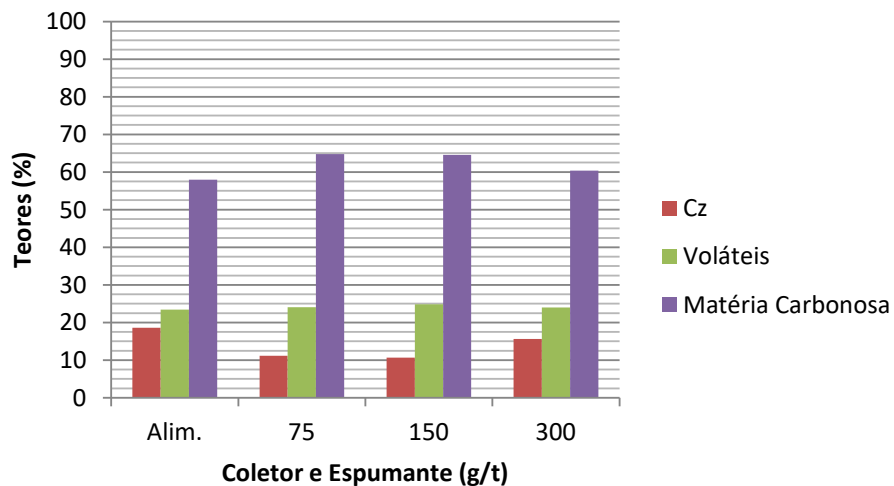
os teores dos materiais flotados (Figura 28), percebeu-se maior seletividade para as concentrações de 75 g/t e 150 g/t do que com 300 g/t.

Figura 27 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

Figura 28 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC

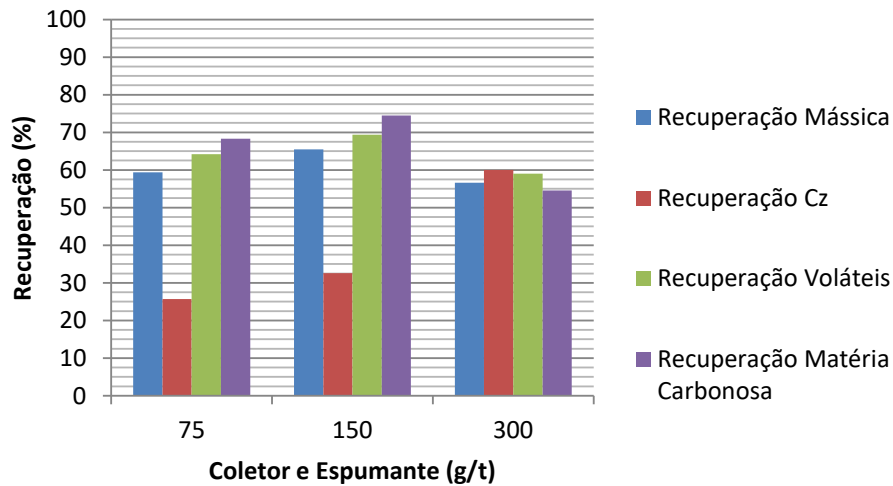


Fonte: produção própria do autor

Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 4% de Cp/p, percebeu-se um leve aumento nas recuperações (massa, matéria carbonosa, matéria volátil e cinzas) utilizando a concentração de 150 g/t contra 75 g/t de reagentes, mas com 300 g/t de reagentes houve menor recuperação de massa e de matérias carbonosa e volátil e aumento na recuperação de cinzas (Figura 29). Analisando estritamente os teores dos materiais flotados

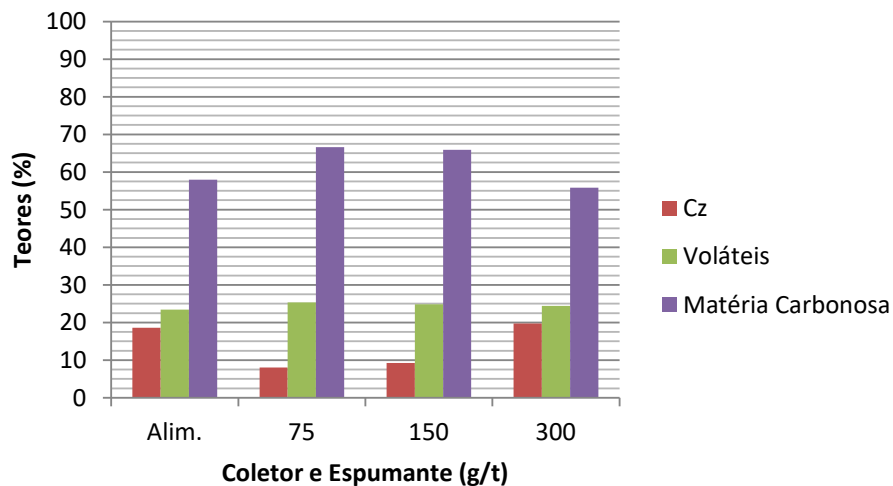
(Figura 30), percebeu-se menor seletividade utilizando-se 300 g/t de reagentes do que com 75 g/t ou 150 g/t.

Figura 29 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

Figura 30 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC

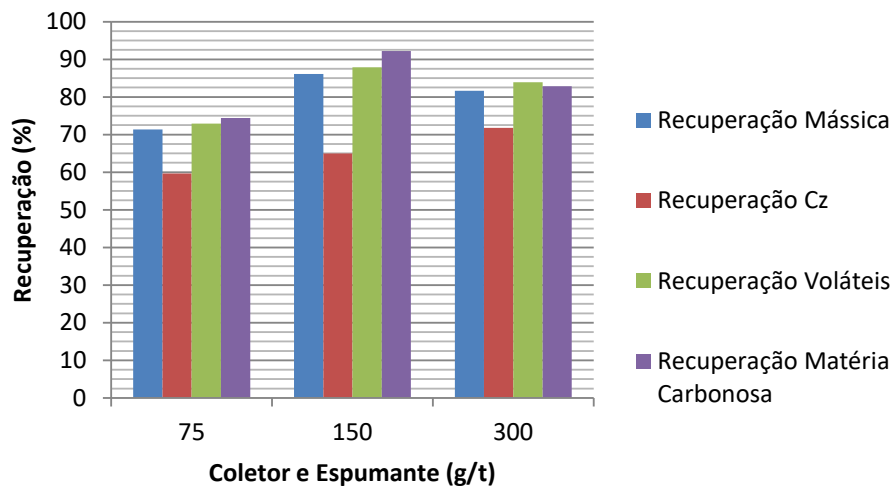


Fonte: produção própria do autor

Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 8% de Cp/p, percebeu-se aumento perceptível nas recuperações de massa, matéria carbonosa e matéria volátil e cinzas de 75 g/t para 150 g/t de reagentes, mas uma redução nessas recuperações quando as concentrações de reagentes aumentaram de 150 g/t para 300 g/t ao passo que a recuperação de cinzas aumentou conforme o aumento na concentração de reagentes (Figura 31). Nesses

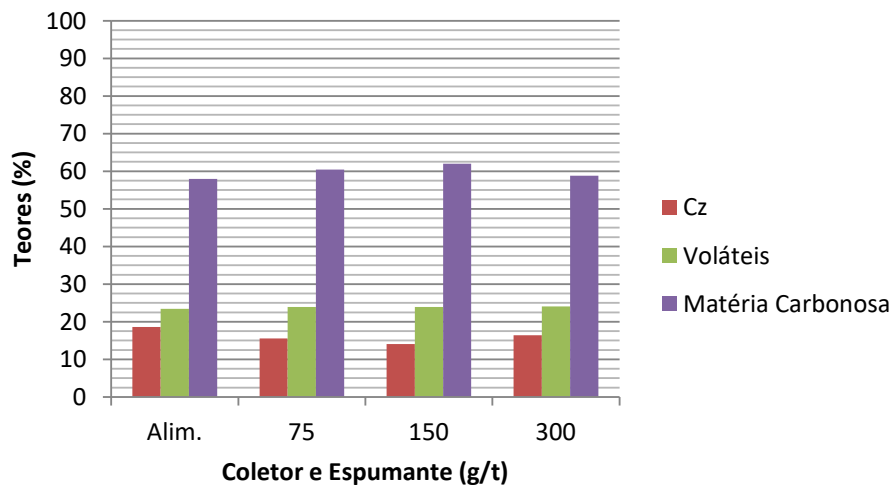
experimentos, não foi observada mudança significativa nos teores dos materiais flotados para as 3 concentrações de reagentes, que apresentaram sutil enriquecimento em comparação com a alimentação (Figura 32).

Figura 31 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Figura 32 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3

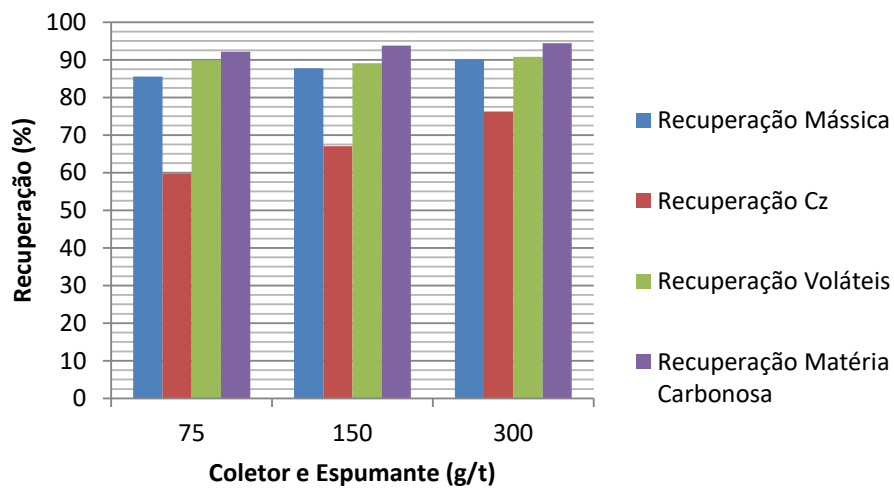


Fonte: produção própria do autor

Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 4% de Cp/p, percebeu-se comportamento semelhante aos experimentos com 8% de Cp/p; as recuperações de massa, matéria carbonosa e matéria volátil e cinzas se mantiveram praticamente constantes para as três concentrações de reagentes enquanto que a recuperação de cinzas aumentou conforme o

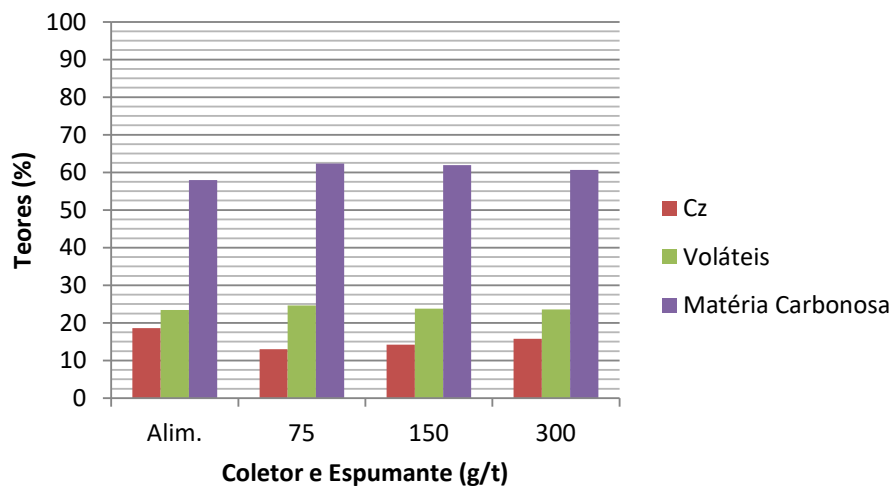
aumento na concentração de reagentes (Figura 33). Nesses experimentos, também não foi observada mudança significativa nos teores dos materiais flotados para as três concentrações de reagentes, que também apresentaram sutil enriquecimento em comparação com a alimentação (Figura 34).

Figura 33 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Figura 34 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Após análise dos resultados obtidos com a amostra VL-20M, percebeu-se não ser adequado usar a concentração de reagentes de 300 g/t para as amostras VL-10M e VL-02M. Dessa forma, foram realizados 12 experimentos com a amostra VL-10M (Tabela 6).

Tabela 6 - Experimentos preliminares realizados com amostra de 10 m

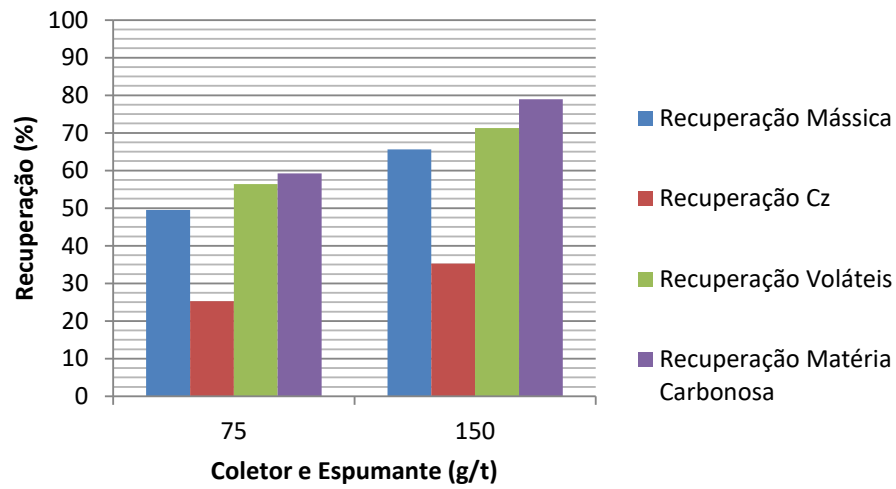
Ensaio	Cp/p (%)	Reagentes		Concentração de reagentes (g/t)	
		Coletor	Espumante	Rougher	Scavenger
VL-10M-01	8	OD	MIBC	120 (80% de 150)	--
VL-10M-02	8	BC3	BF3	120 (80% de 150)	--
VL-10M-03	4	OD	MIBC	120 (80% de 150)	--
VL-10M-04	4	BC3	BF3	120 (80% de 150)	--
VL-10M-09	8	OD	MIBC	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-10M-10	8	BC3	BF3	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-10M-11	4	OD	MIBC	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-10M-12	4	BC3	BF3	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-10M-13	8	OD	MIBC	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-10M-14	8	BC3	BF3	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-10M-15	4	OD	MIBC	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-10M-16	4	BC3	BF3	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)

Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 8% de Cp/p, percebeu-se aumento significativo nas recuperações de massa, matéria carbonosa e matéria volátil com pouco aumento na recuperação de cinzas conforme aumentou a concentração de reagentes (Figura 35). Os teores desses experimentos apresentaram teores similares entre si, contendo maior teor de matéria carbonosa e menor de cinzas do que a amostra original (Figura 36).

Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 4% de Cp/p, observou-se resultados similares aos com 8% Cp/p com aumento significativo nas recuperações de massa, matéria carbonosa e matéria volátil com pouco aumento na recuperação de cinzas conforme aumentou a concentração de reagentes (Figura 37). Os teores desses experimentos também ficaram similares aos de 8% de Cp/p apresentaram teores similares entre si, contendo maior teor de matéria carbonosa e menor de cinzas do que a amostra original (Figura 38).

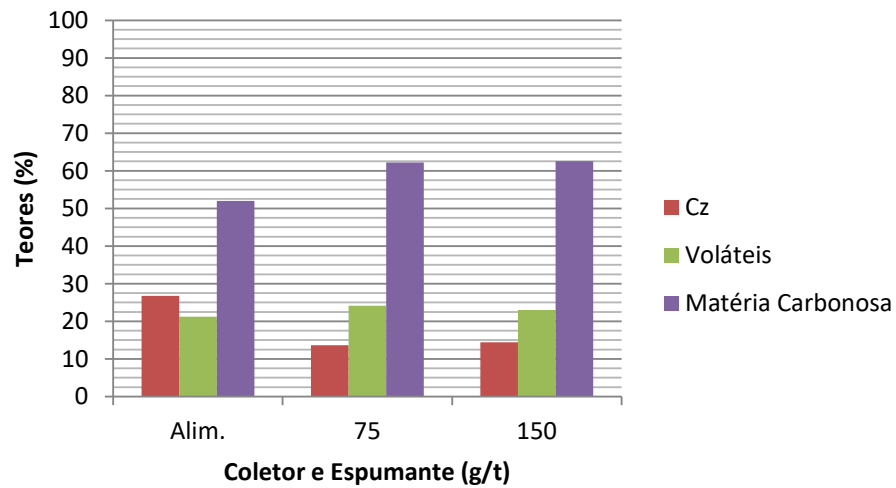
Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 8% de Cp/p, observou-se recuperações similares de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e cinzas em ambas as concentração de reagentes (Figura 39). Os teores desses experimentos também ficaram similares entre si, contendo maior teor de matéria carbonosa e menor de cinzas do que a amostra original (Figura 40).

Figura 35 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



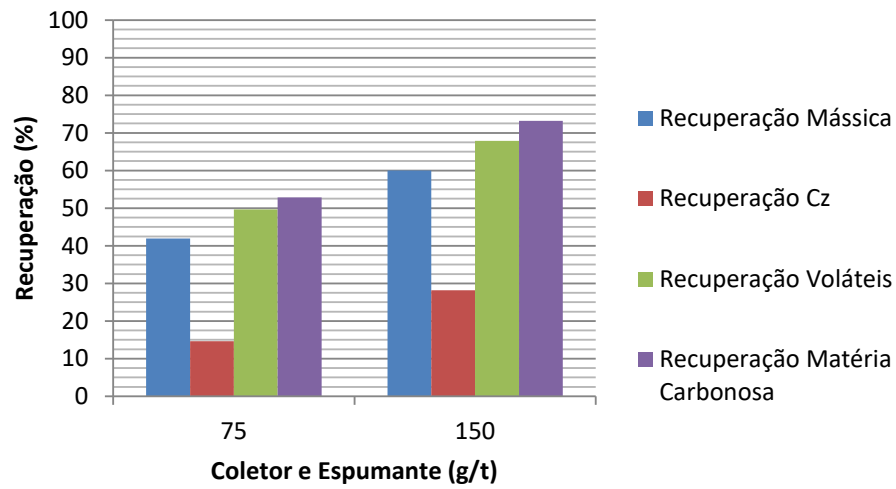
Fonte: produção própria do autor

Figura 36 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



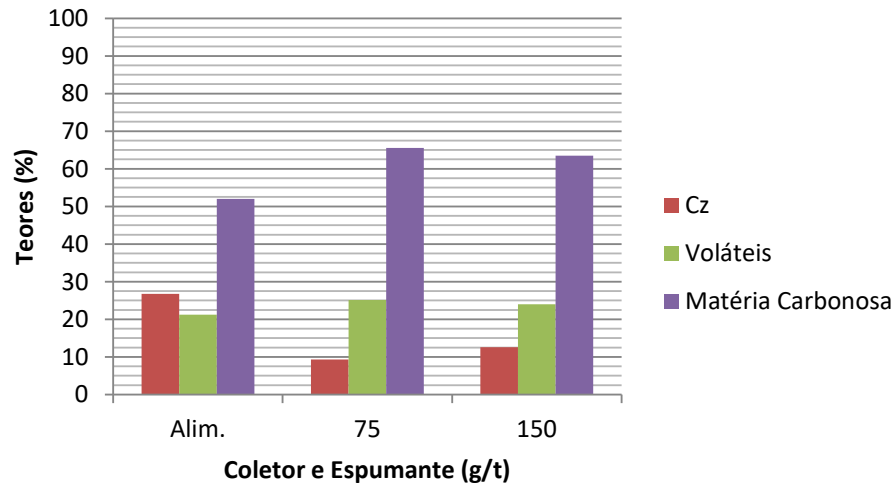
Fonte: produção própria do autor

Figura 37 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



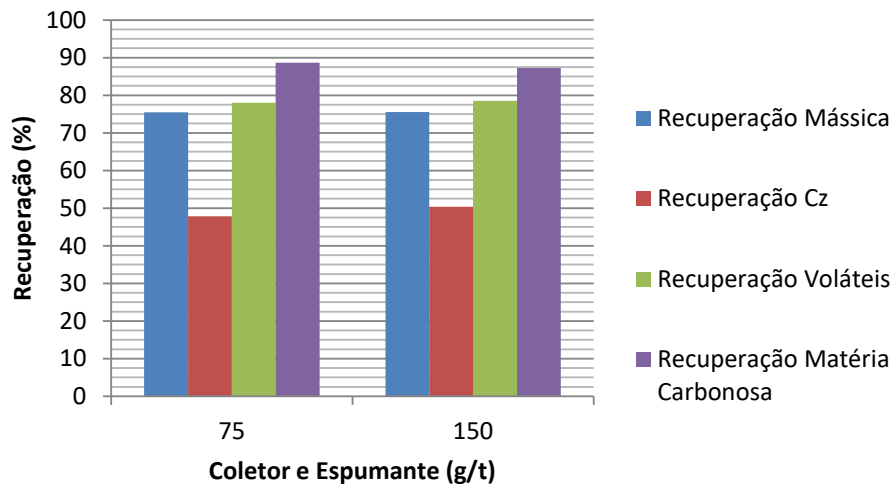
Fonte: produção própria do autor

Figura 38 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



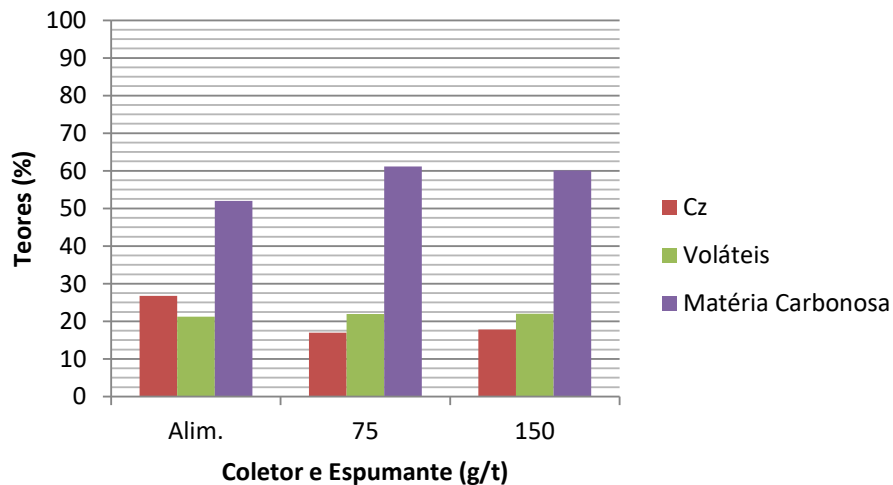
Fonte: produção própria do autor

Figura 39 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

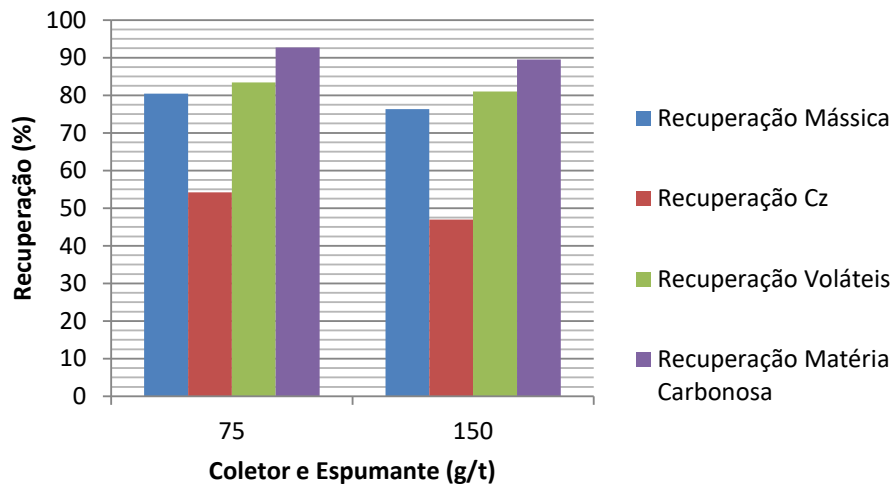
Figura 40 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

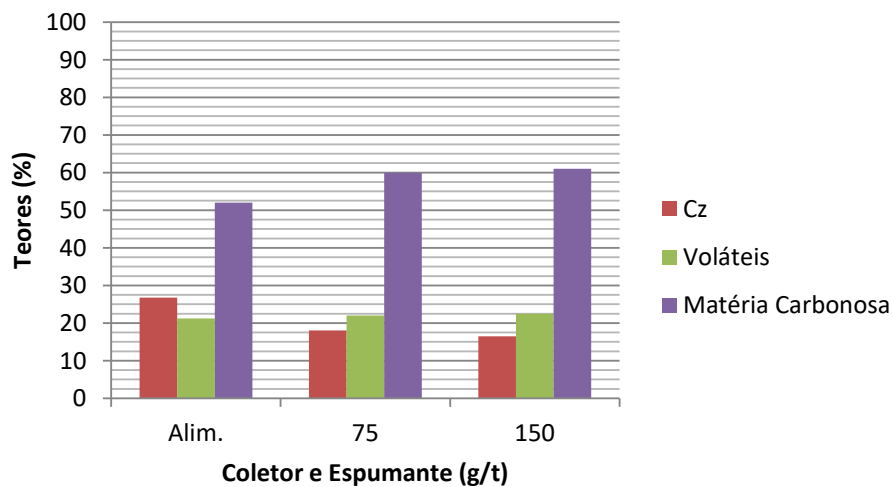
Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 4% de Cp/p, percebeu-se que as recuperações de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e cinzas foram maiores com as concentrações em 75 g/t do que com 150 g/t de reagente (Figura 41). Os teores desses experimentos também ficaram similares entre si, contendo maior teor de matéria carbonosa e menor de cinzas do que a amostra original (Figura 42).

Figura 41 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Figura 42 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Após a conclusão dos experimentos com as amostras VL-20M e VL-10M, optou-se por não retomar a concentração de reagentes de 300 g/t para os experimentos com a amostra VL-02M, resultando em 12 experimentos (Tabela 7).

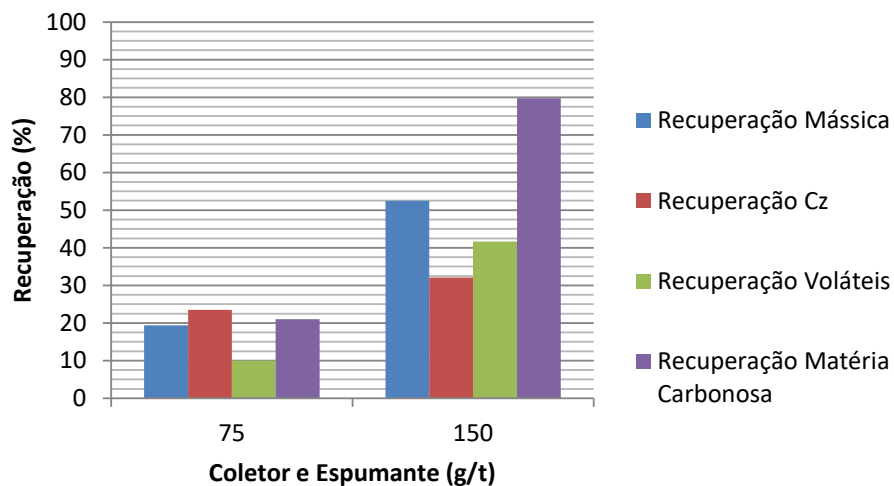
Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 8% de Cp/p, percebeu-se que as recuperações de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e cinzas foram significativamente maiores com as concentrações em 150 g/t do que com 75 g/t de reagente (Figura 43). Também se percebeu que com 75 g/t a recuperação de cinzas foi superior à de

matéria volátil e de matéria carbonosa enquanto com 150 g/t foi o contrário. Os teores desses experimentos também ficaram similares entre si, contendo maior teor de matéria carbonosa e menor de cinzas do que a amostra original (Figura 44).

Tabela 7 - Experimentos preliminares realizados com amostra de 2 m

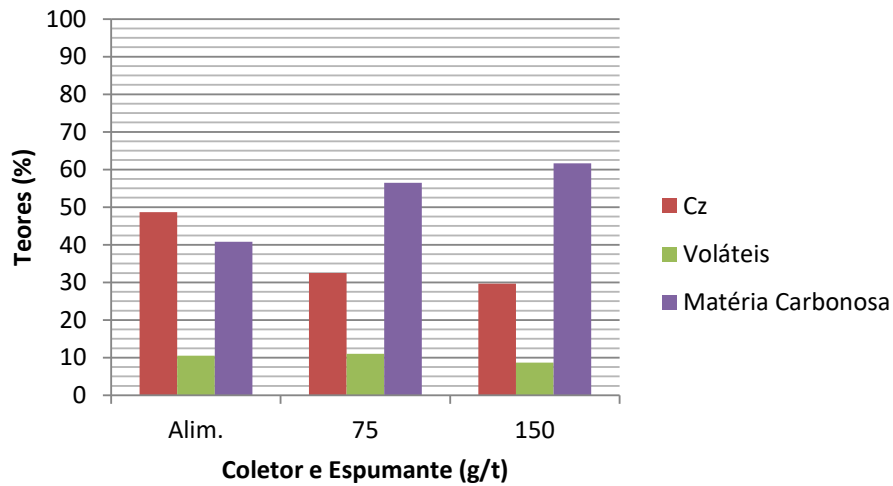
Ensaio	Cp/p (%)	Reagentes		Concentração de reagentes (g/t)	
		Coletor	Espumante	Rougher	Scavenger
VL-02M-01	8	OD	MIBC	120 (80% de 150)	--
VL-02M-02	8	BC3	BF3	120 (80% de 150)	--
VL-02M-03	4	OD	MIBC	120 (80% de 150)	--
VL-02M-04	4	BC3	BF3	120 (80% de 150)	--
VL-02M-09	8	OD	MIBC	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-02M-10	8	BC3	BF3	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-02M-11	4	OD	MIBC	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-02M-12	4	BC3	BF3	120 (80% de 150)	30 (20% de 150)
VL-02M-13	8	OD	MIBC	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-02M-14	8	BC3	BF3	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-02M-15	4	OD	MIBC	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)
VL-02M-16	4	BC3	BF3	60 (80% de 75)	15 (20% de 75)

Figura 43 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

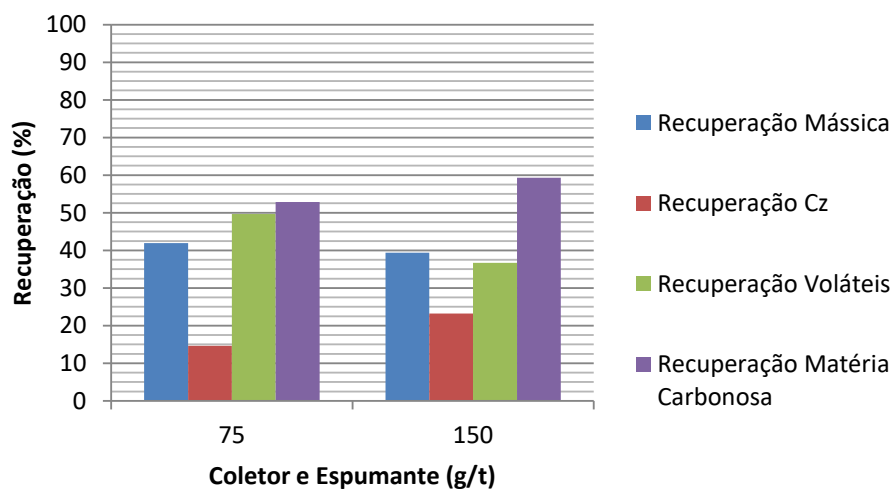
Figura 44 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

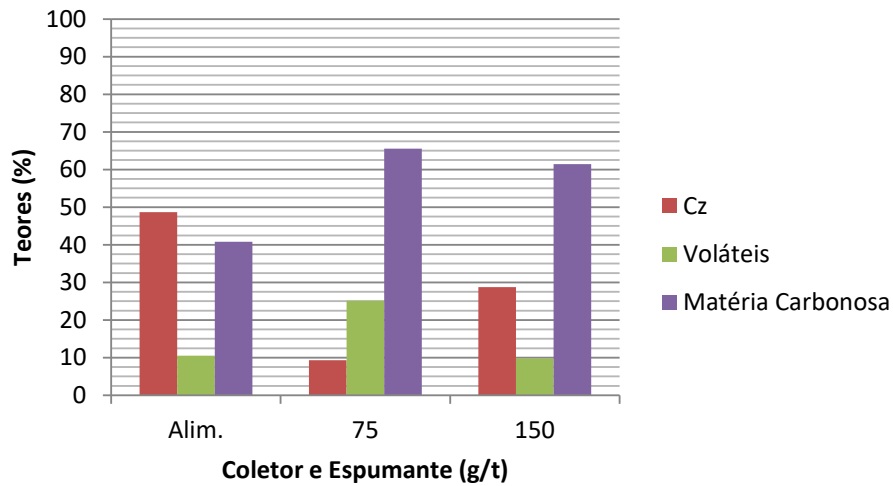
Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 4% de Cp/p, percebeu-se que as recuperações de matéria carbonosa e cinzas foram maiores com as concentrações em 150 g/t do que com 75 g/t de reagente, mas a recuperação mássica e de matéria volátil foi o inverso (Figura 45). Os teores desses experimentos apresentaram maior teor de matéria carbonosa e menor de cinzas do que a amostra original, mas a o material flotado com 150 g/t de reagentes apresentou maior teor de cinzas e menor teor de matéria volátil que o material flotado com 75 g/t de reagentes (Figura 46).

Figura 45 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

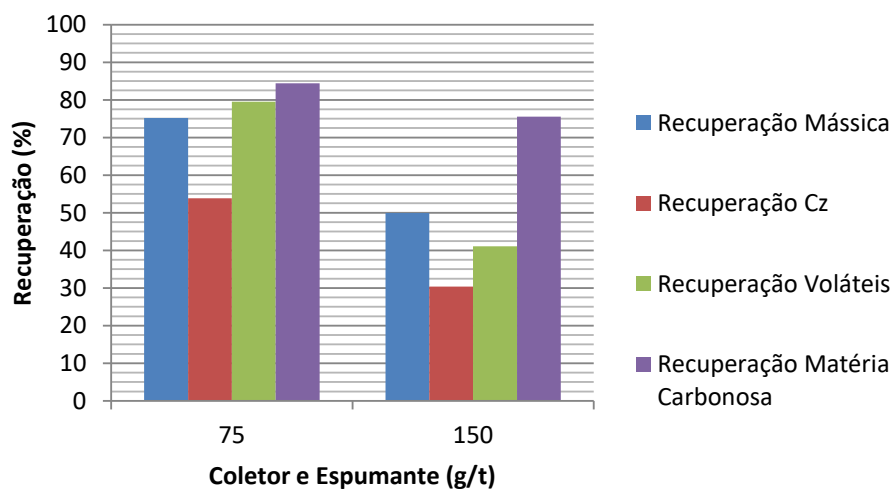
Figura 46- Teores resultantes das flotações preliminares em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

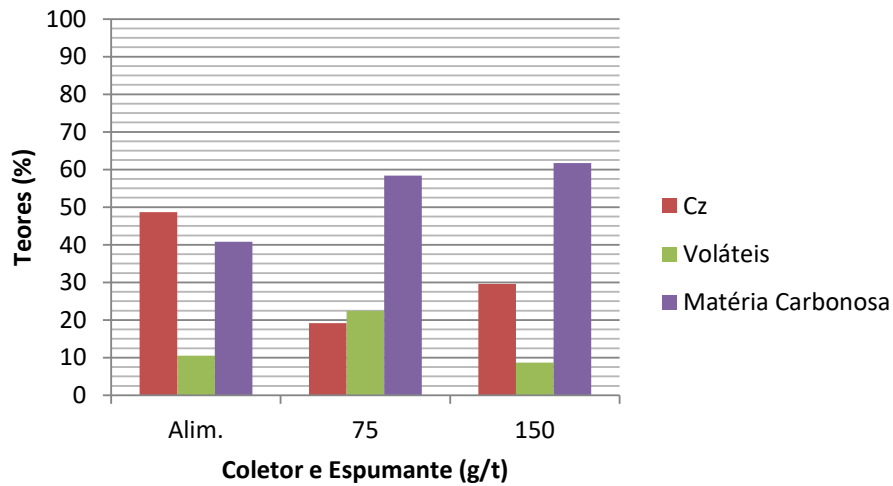
Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 8% de Cp/p, observou-se que as recuperações de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e cinzas foram maiores com as concentrações em 75 g/t do que com 150 g/t de reagente (Figura 47). Os teores desses experimentos apresentaram maior teor de matéria carbonosa e menor de cinzas do que a amostra original, mas a o material flotado com 150 g/t de reagentes apresentou maior teor de cinzas e menor teor de matéria volátil que o material flotado com 75 g/t de reagentes (Figura 48).

Figura 47 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

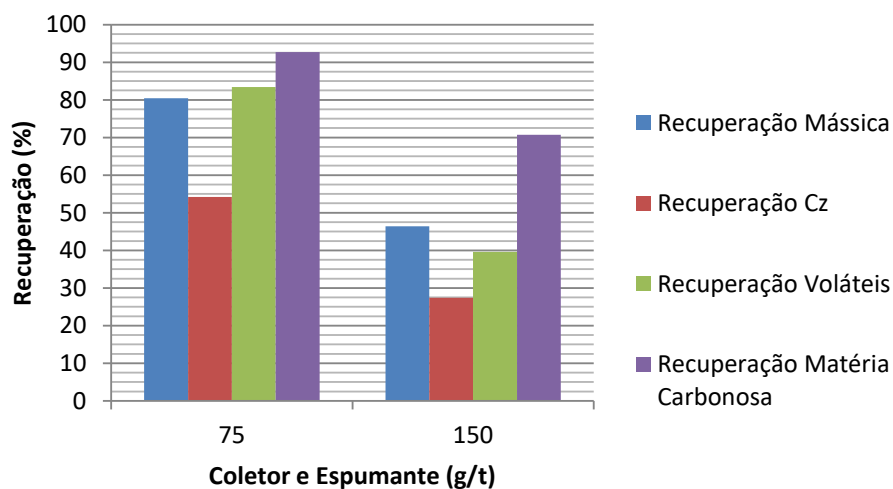
Figura 48 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

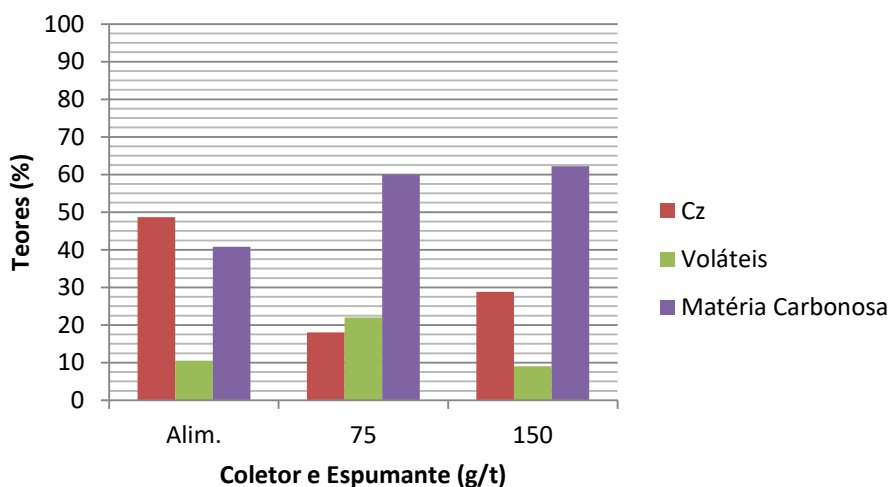
Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 4% de Cp/p houve comportamento similar aos realizados com 8% de Cp/p, com recuperações de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e cinzas foram maiores com as concentrações em 75 g/t do que com 150 g/t de reagente (Figura 49). Os teores desses experimentos também apresentaram maior teor de matéria carbonosa e menor de cinzas do que a amostra original, mas a o material flotado com 150 g/t de reagentes apresentou maior teor de cinzas e menor teor de matéria volátil que o material flotado com 75 g/t de reagentes (Figura 50).

Figura 49 - Recuperação obtida em flotações preliminares em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Figura 50 - Teores resultantes das flotações preliminares em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

5.3. EXPERIMENTOS FINAIS

Após a conclusão dos experimentos preliminares, foram estabelecidos os parâmetros para os experimentos finais, utilizando a célula de 4,0 L. Optou-se por fixar a concentração dos espumantes (MIBC e BF3) em 100 g/t e variar a concentração dos espumantes de 50 g/t a 200 g/t de BC3 e de 100 g/t a 250 g/t de OD. Em virtude da quantidade limitada de amostras obtidas (com diâmetro de partícula menor que 0,25 mm), dos experimentos utilizando a combinação OD e MIBC apresentarem diferença pouco significativa utilizando-se Cp/p de 4% ou 8% (Tabela 8) e dos experimentos utilizando a combinação BC3 e BF3 apresentarem diferença ainda menor utilizando-se Cp/p de 4% ou 8% (Tabela 9), optou-se por realizar novos experimentos com 8% de Cp/p apenas para a combinação de reagentes de OD e MIBC enquanto ambas as combinações de reagentes seriam testadas com 4% de Cp/p (concentração de polpa utilizada na planta existente em Moçambique). Como nos experimentos preliminares, iniciou-se os estudos com a amostra VL-20M (Tabela 10).

Tabela 8 - Comparativo de resultados com Cp/p de 4% e 8% utilizando OD e MIBC

Distância do Dique (m)	Coletor (g/t)	Espumante (g/t)	Cp/p (%)	Cinzas	Teores (%)		
					Δ Cinzas 4% e 8%	Matéria Carbonosa	Δ Mat. Carb. 4% e 8%
20	300	300	8	15,59	4,16	60,38	4,56
			4	19,75		55,82	
	150	150	8	10,64	1,38	64,54	1,37
			4	9,26		65,92	
10	75	75	8	11,16	3,10	64,77	1,83
			4	8,06		66,60	
	150	150	8	14,39	1,82	62,58	0,89
			4	12,56		63,46	
2	75	75	8	13,67	4,33	62,20	3,33
			4	9,35		65,53	
	150	150	8	29,67	0,94	61,67	0,22
			4	28,72		61,45	
75	75	8	13,67	4,33	62,20	3,33	
		4	9,35		65,53		
Média					2,87		2,22
Desvio Padrão					1,47		1,56

Tabela 9 - Comparativo de resultados com Cp/p de 4% e 8% utilizando BC3 e BF3

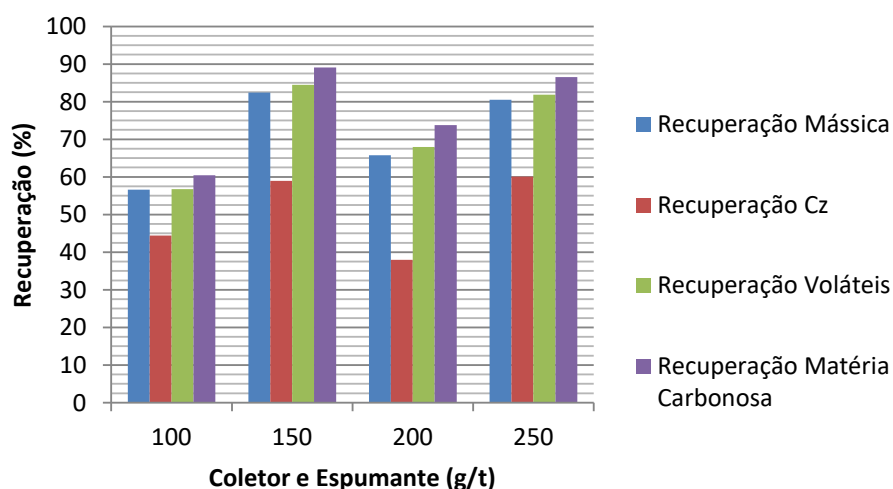
Distância do Dique (m)	Coletor (g/t)	Espumante (g/t)	Cp/p (%)	Cinzas	Teores (%)		
					Δ Cinzas 4% e 8%	Matéria Carbonosa	Δ Mat. Carb. 4% e 8%
20	300	300	8	16,38	0,62	58,80	1,85
			4	15,76		60,65	
	150	150	8	14,06	0,19	62,03	0,06
			4	14,24		61,96	
10	75	75	8	15,58	2,58	60,46	1,92
			4	13,00		62,38	
	150	150	8	17,86	1,38	60,10	0,91
			4	16,48		61,01	
2	75	75	8	16,95	1,08	61,13	1,17
			4	18,04		59,96	
	150	150	8	29,60	0,81	61,73	0,47
			4	28,79		62,20	
75	75	8	19,19	1,15	58,39	1,57	
		4	18,04		59,96		
Média					1,12		1,14
Desvio Padrão					0,76		0,70

Tabela 10 - Experimentos finais realizados com amostra de 20 m

Ensaio	Cp/p (%)	Conc. de Coletor (%)	Conc. de Espumante (%)
VL-20M-17	8	100 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-20M-18	8	150 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-20M-19	8	200 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-20M-20	8	250 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-20M-21	4	100 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-20M-22	4	150 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-20M-23	4	200 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-20M-24	4	250 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-20M-29	4	50 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-20M-30	4	100 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-20M-31	4	150 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-20M-32	4	200 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)

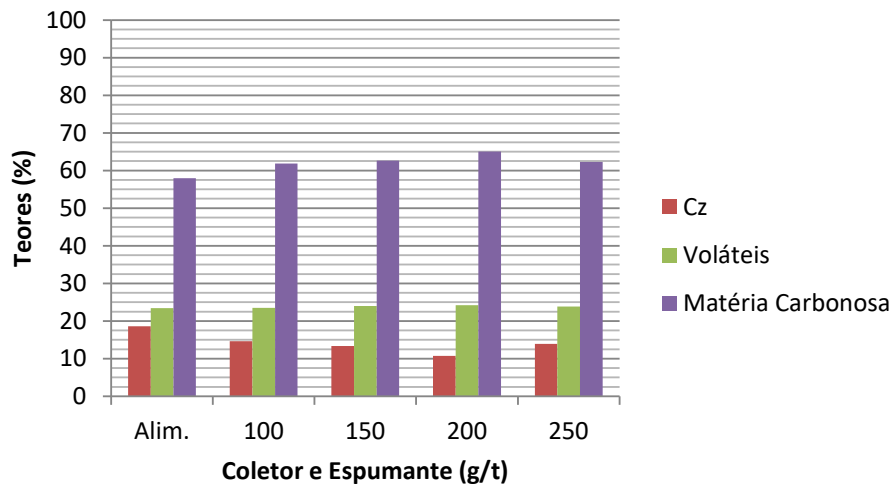
Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 8% de Cp/p percebeu-se maior recuperação de massa, matéria carbonosa e matéria volátil utilizando 150 g/t de OD, mas a menor recuperação de cinzas foi percebida com 200 g/t de OD (Figura 51). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 200 g/t de OD apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 52).

Figura 51 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

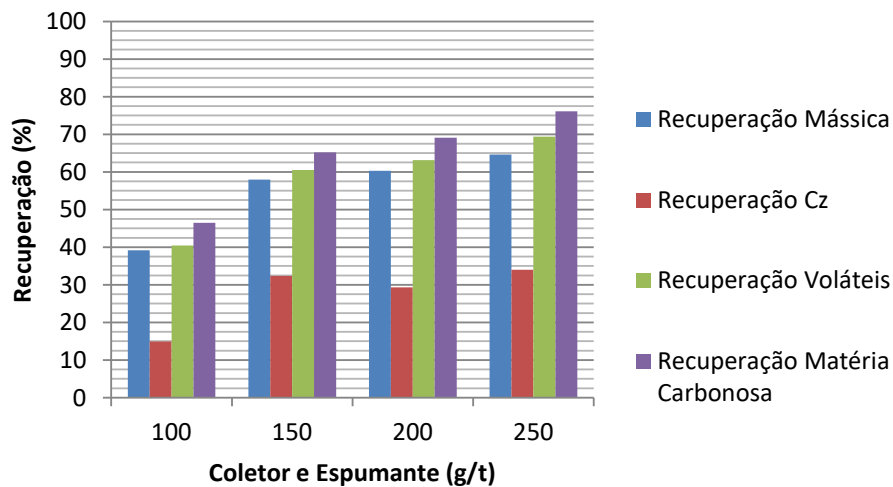
Figura 52 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

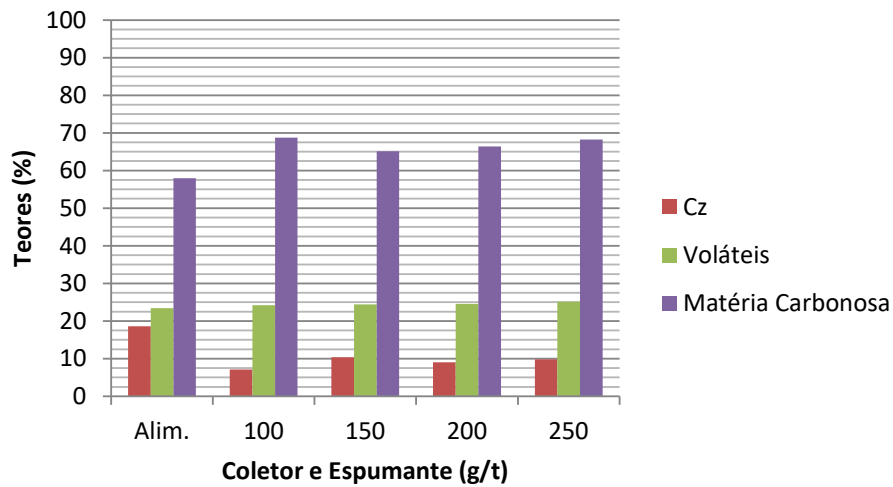
Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 4% de Cp/p percebeu-se maior recuperação de massa, matéria carbonosa e matéria volátil utilizando 250 g/t de OD mas a menor recuperação de cinzas foi percebida com 100 g/t de OD (Figura 53). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 100 g/t de OD apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 54).

Figura 53 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

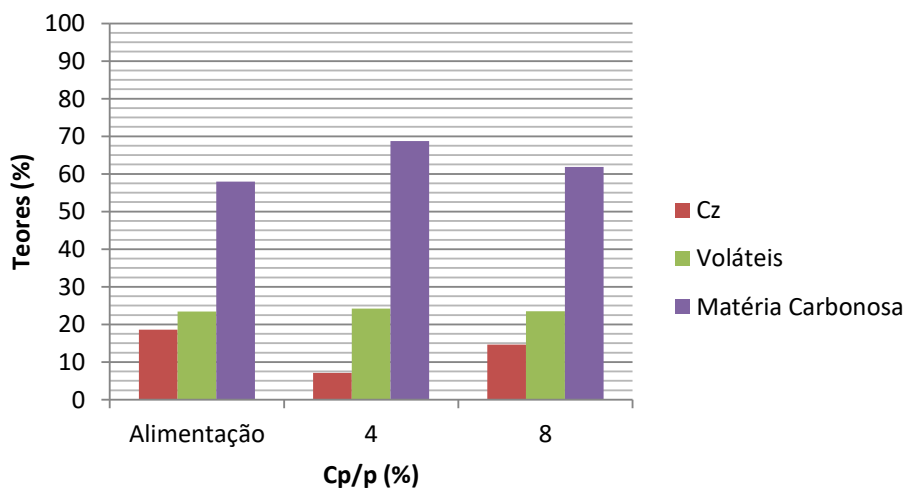
Figura 54 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

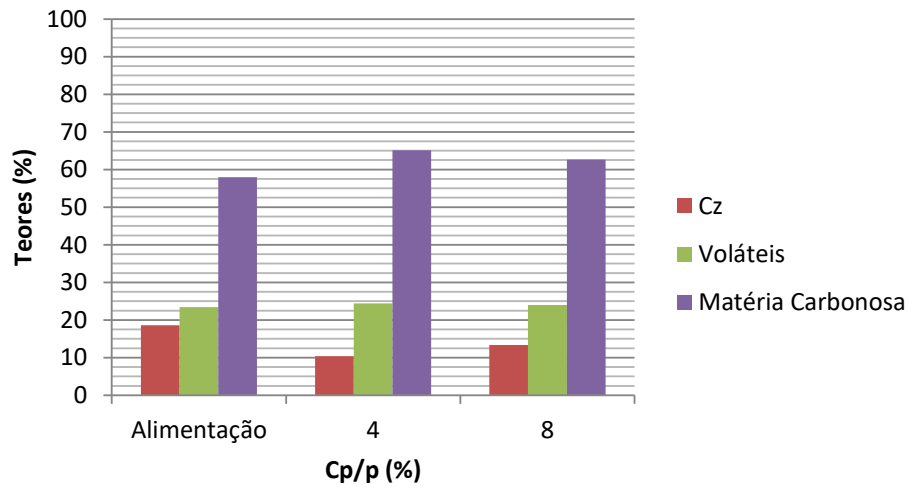
Comparando o enriquecimento dos materiais flotados utilizando 4% de Cp/p com 8% de Cp/p (Figura 55, Figura 56, Figura 57 e Figura 58), percebe-se uma seletividade maior nos materiais flotados com menor concentração de Cp/p. Entretanto, a diferença nos teores de cinzas e matéria carbonosa, para ambas as concentrações de polpa, é pequena (Tabela 11).

Figura 55 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 100 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



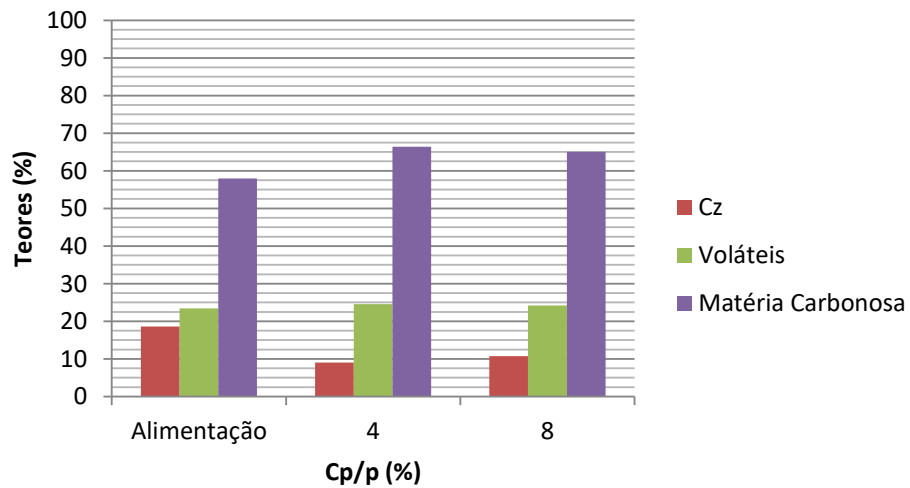
Fonte: produção própria do autor

Figura 56 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 150 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



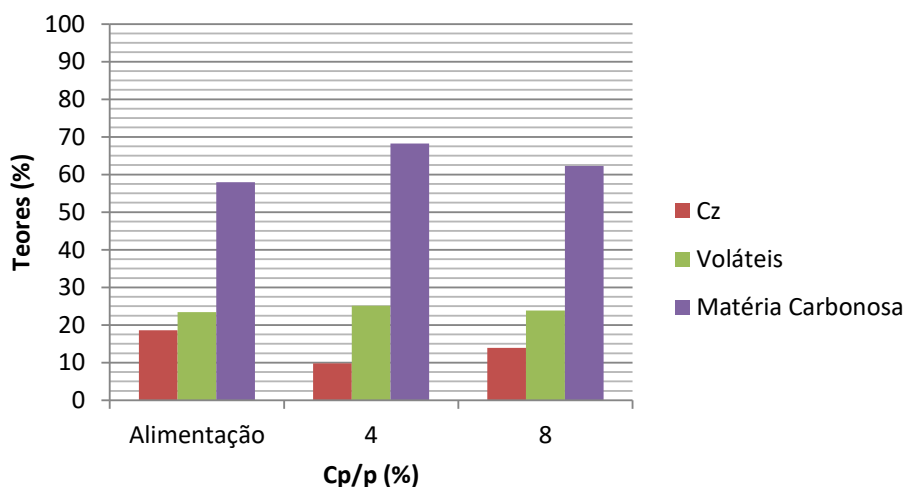
Fonte: produção própria do autor

Figura 57 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 200 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



Fonte: produção própria do autor

Figura 58 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 250 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



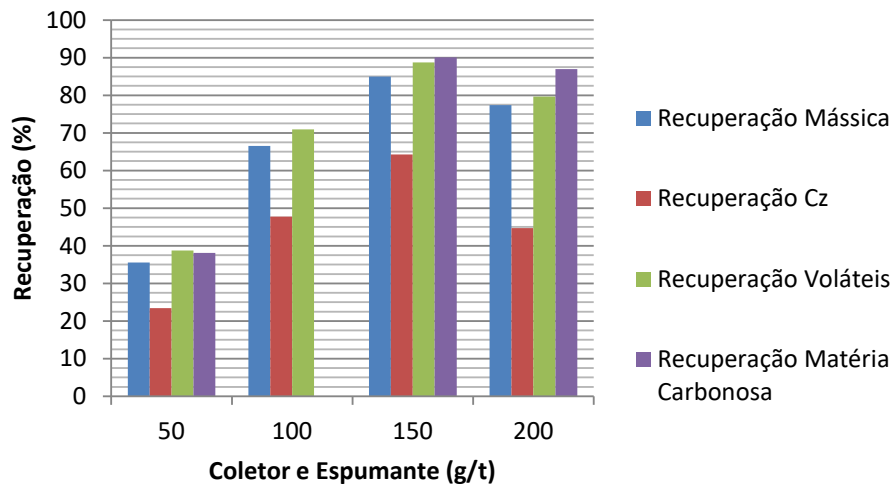
Fonte: produção própria do autor

Tabela 11 - Comparativo de resultados finais com Cp/p de 4% e 8% utilizando OD e MIBC para VL-20M

Concentração (g/t)			Teores (%)			
MIBC	OD	Cp/p	Cinzas	Δ 4% e 8%	Matéria Carbonosa	Δ 4% e 8%
100	100	8	14,63		61,89	
		4	7,11	7,52	68,70	6,81
	150	8	13,33		62,66	
		4	10,41	2,92	65,15	2,49
	200	8	10,76		65,03	
		4	9,06	1,70	66,38	1,36
250	8	13,90		62,27		
	4	9,80	4,11	68,20	5,93	
Média				4,06		4,15
Desvio Padrão				2,17		2,28

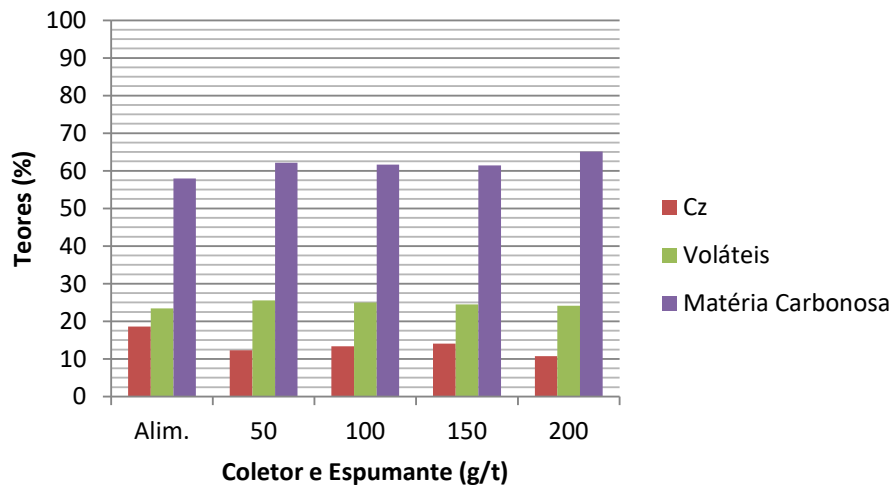
Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 4% de Cp/p percebeu-se maior recuperação de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e de cinzas com 150 g/t de BC3 e a menor recuperação de cinzas foi percebida com 50 g/t de BC3 (Figura 59). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 200 g/t de BC3 apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 60).

Figura 59 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Figura 60 - Teores resultantes das flotações finais em VL-20M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

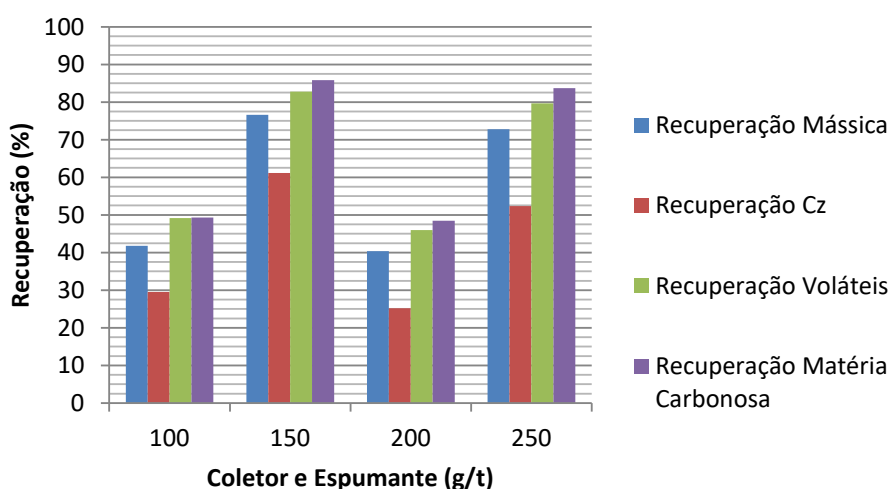
Após a conclusão dos experimentos com a amostra VT-20M, foram realizados experimentos similares utilizando a amostra VL-10M, conforme descrito na Tabela 12.

Tabela 12 - Experimentos finais realizados com amostra de 10 m

Ensaio	Cp/p (%)	Conc. de Coletor (%)	Conc. de Espumante (%)
VL-10M-17	8	100 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-10M-18	8	150 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-10M-19	8	200 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-10M-20	8	250 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-10M-21	4	100 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-10M-22	4	150 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-10M-23	4	200 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-10M-24	4	250 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-10M-29	4	50 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-10M-30	4	100 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-10M-31	4	150 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-10M-32	4	200 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)

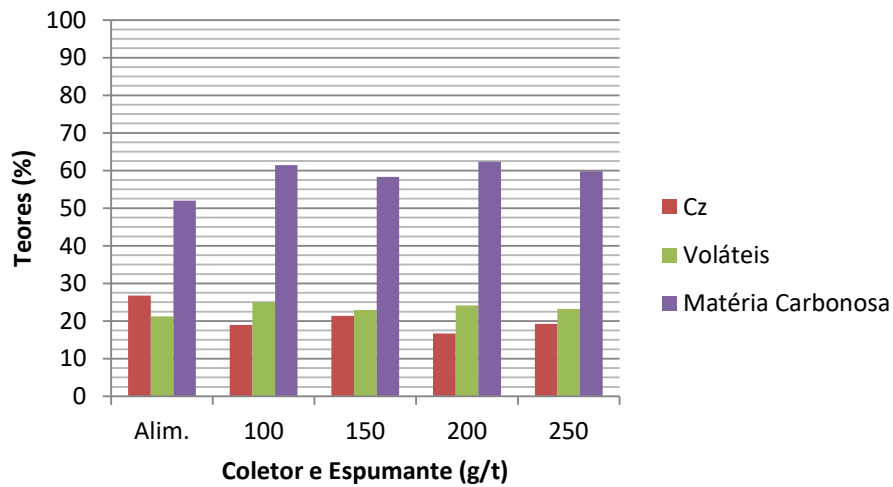
Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 8% de Cp/p percebeu-se maior recuperação de massa, matéria carbonosa e matéria volátil utilizando 150 g/t de OD mas a menor recuperação de cinzas foi percebida com 200 g/t de OD (Figura 61). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 200 g/t de OD apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 62). Esses resultados se assemelharam aos dos respectivos experimentos com VL-20M.

Figura 61 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

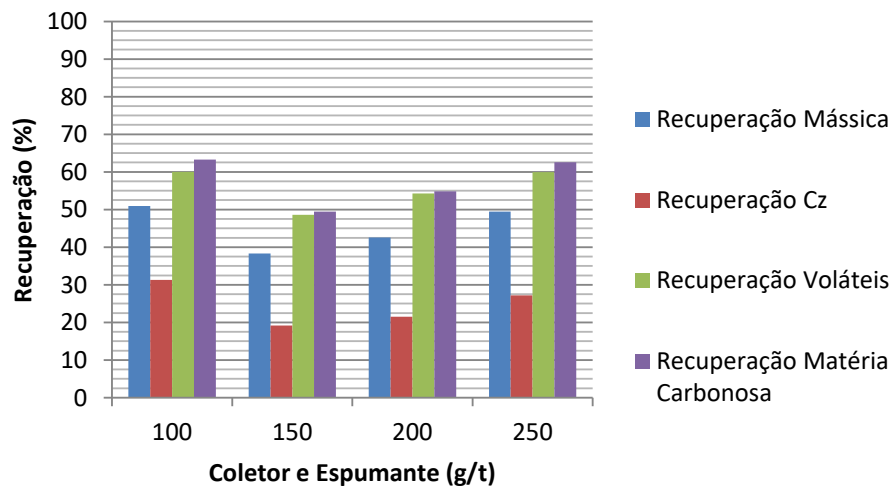
Figura 62 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

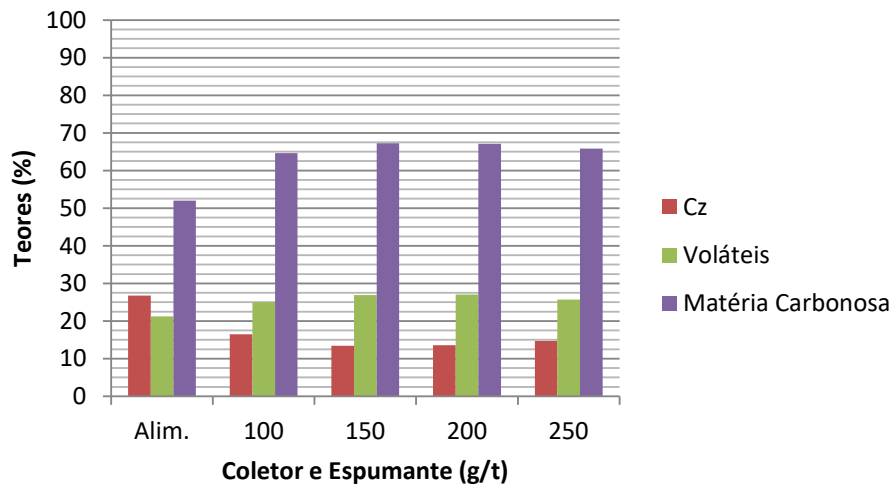
Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 4% de Cp/p percebeu-se maior recuperação de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e de cinzas utilizando 100 g/t de OD, mas a menor recuperação de cinzas foi percebida com 150 g/t de OD (Figura 63). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 150 g/t de OD apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 64).

Figura 63 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

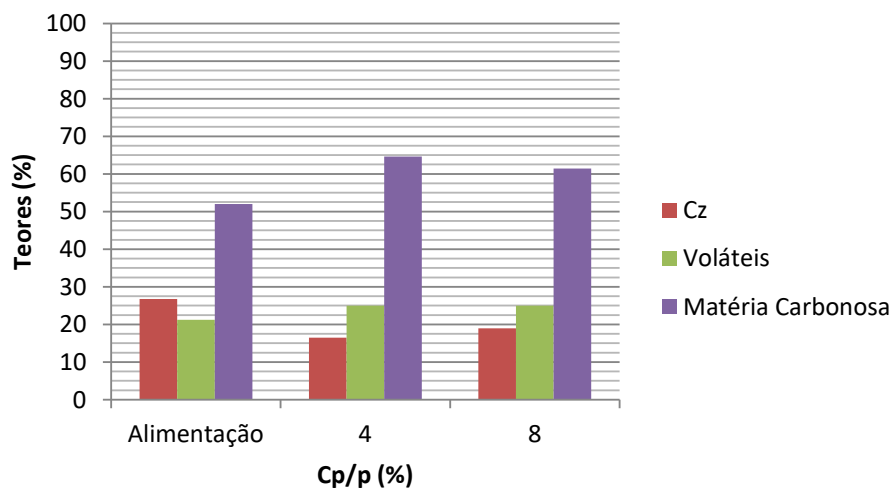
Figura 64 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

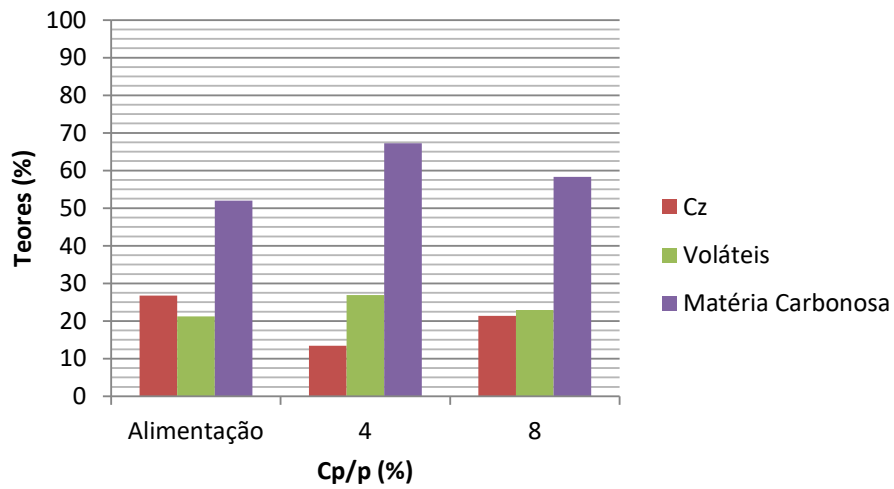
Comparando o enriquecimento dos materiais flotados utilizando 4% de Cp/p com 8% de Cp/p (Figura 65, Figura 66, Figura 67 e Figura 68), percebe-se uma seletividade maior nos materiais flotados com menor concentração de Cp/p, similar aos experimentos com VL-20M. Contudo, assim como observado nos experimentos com VL-20M, a diferença nos teores de cinzas e matéria carbonosa, para ambas as concentrações de polpa, é pequena (Tabela 13).

Figura 65 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 100 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



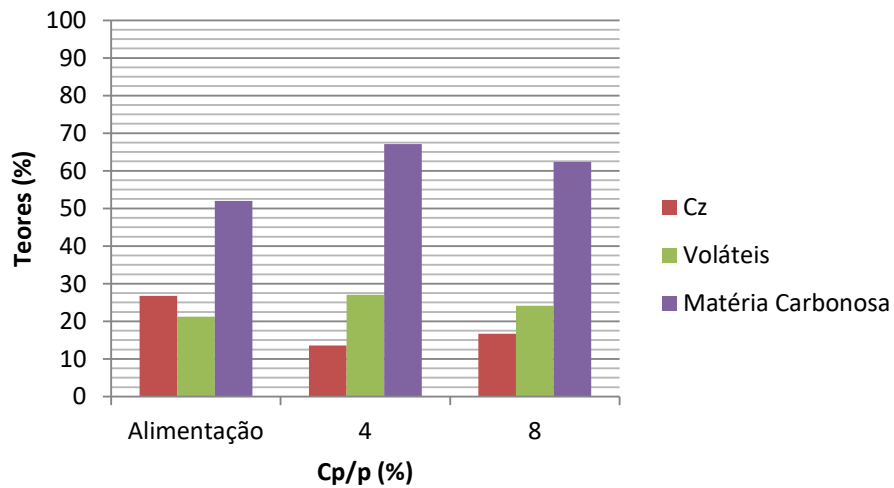
Fonte: produção própria do autor

Figura 66 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 150 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



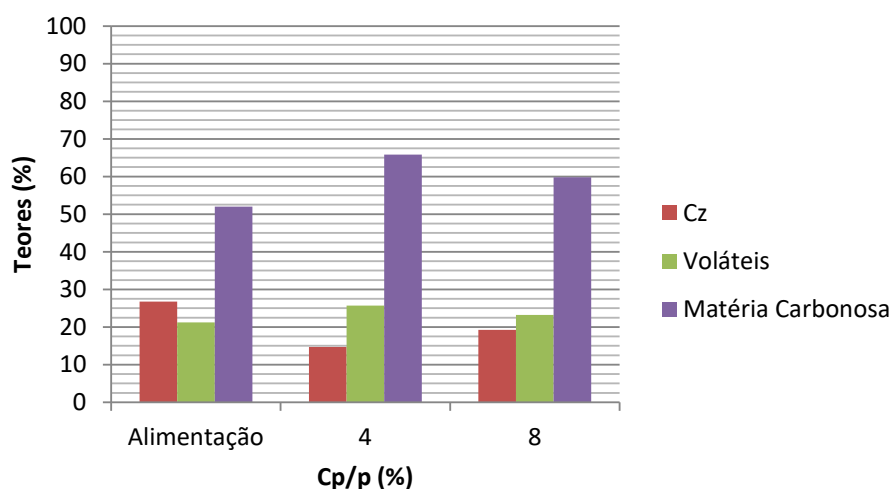
Fonte: produção própria do autor

Figura 67 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 200 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



Fonte: produção própria do autor

Figura 68 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 250 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



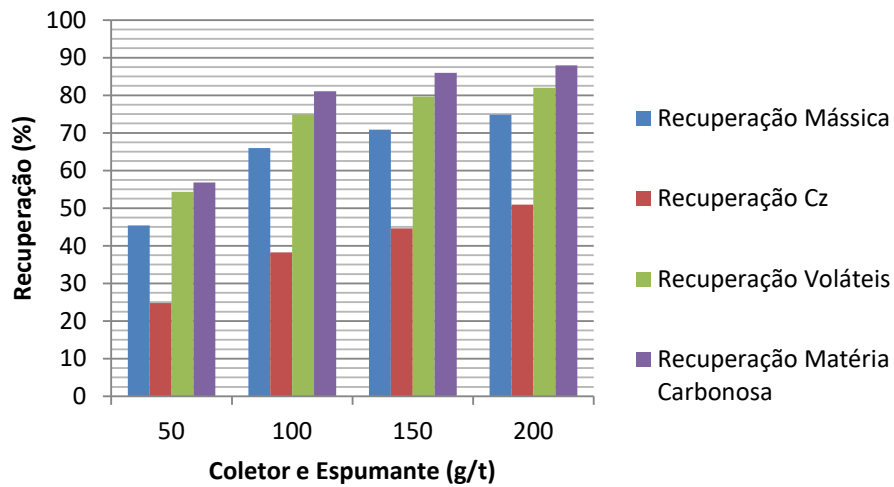
Fonte: produção própria do autor

Tabela 13 - Comparativo de resultados finais com Cp/p de 4% e 8% utilizando OD e MIBC para VL-10M

Concentração (g/t)			Teores (%)				
MIBC	OD	Cp/p	Cinzas	Δ 4% e 8%	Matéria Carbonosa	Δ 4% e 8%	
100	100	8	18,95		61,46		
		4	16,45	2,50	64,61	3,15	
	150	8	21,38		58,29		
		4	13,43	7,95	67,23	8,94	
	200	8	16,70		62,38		
		4	13,56	3,14	67,08	4,70	
	250	8	19,27		59,82		
		4	14,72	4,55	65,82	5,99	
	Média				4,54		5,70
	Desvio Padrão				2,11		2,13

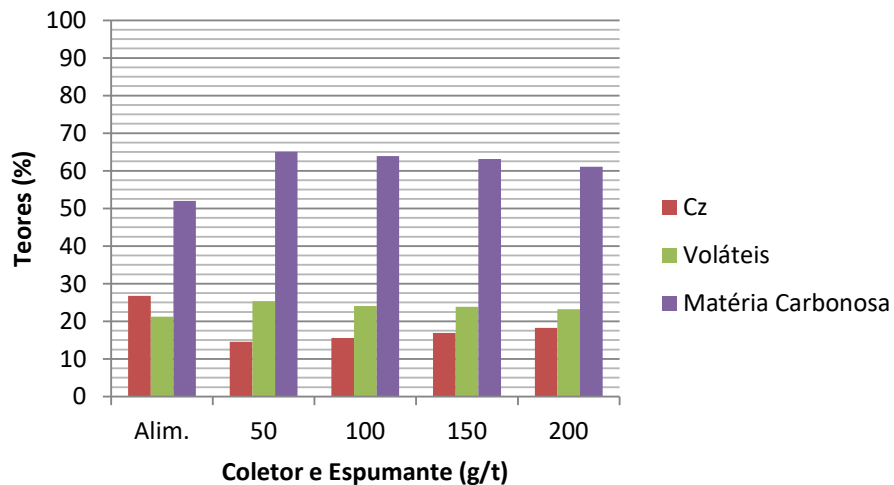
Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 4% de Cp/p percebeu-se maior recuperação de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e de cinzas com 200 g/t de BC3 e a menor recuperação de cinzas foi percebida com 50 g/t de BC3 (Figura 69). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 50 g/t de BC3 apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 70).

Figura 69 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Figura 70 - Teores resultantes das flotações finais em VL-10M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

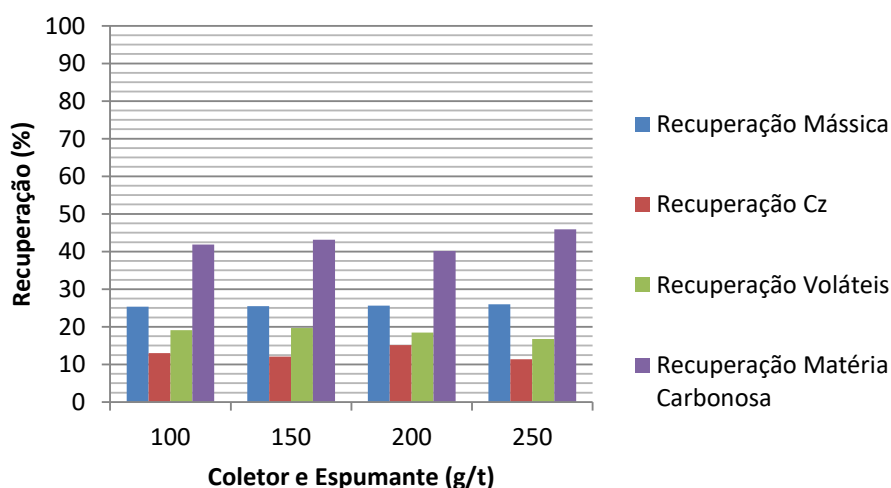
Após a conclusão dos experimentos com a amostra VL-20M e VL-10M, foram realizados experimentos similares àqueles utilizando a amostra VL-02M, conforme descrito na Tabela 14.

Tabela 14 - Experimentos finais realizados com amostra de 2m

Ensaio	Cp/p (%)	Conc. de Coletor (%)	Conc. de Espumante (%)
VL-02M-17	8	100 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-02M-18	8	150 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-02M-19	8	200 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-02M-20	8	250 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-02M-21	4	100 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-02M-22	4	150 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-02M-23	4	200 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-02M-24	4	250 g/t de OD (80% x 20%)	100 g/t de MIBC (80% x 20%)
VL-02M-29	4	50 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-02M-30	4	100 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-02M-31	4	150 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)
VL-02M-32	4	200 g/t de BC3 (80% x 20%)	100 g/t de BF3 (80% x 20%)

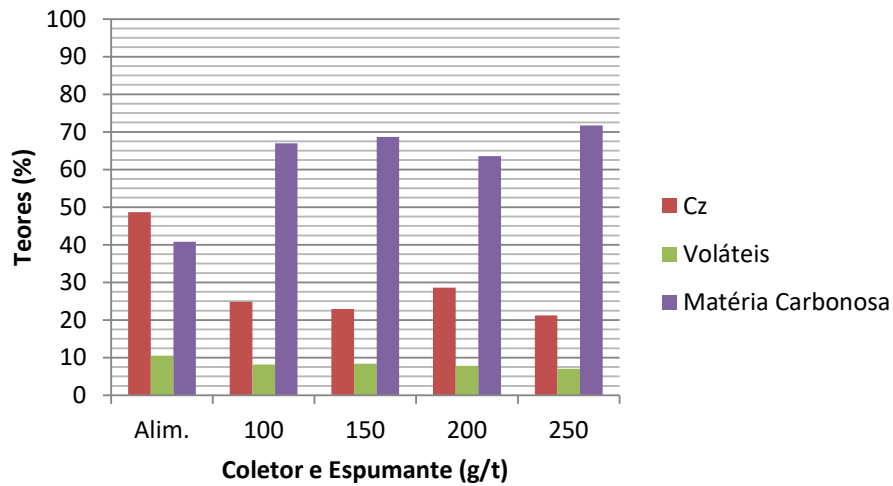
Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 8% de Cp/p percebeu-se recuperação de massa similar para todas as concentrações de OD, mas foi percebida maior concentração de matéria carbonosa e menor recuperação de cinzas com 250 g/t de OD (Figura 71). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 250 g/t de OD também apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 72).

Figura 71 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

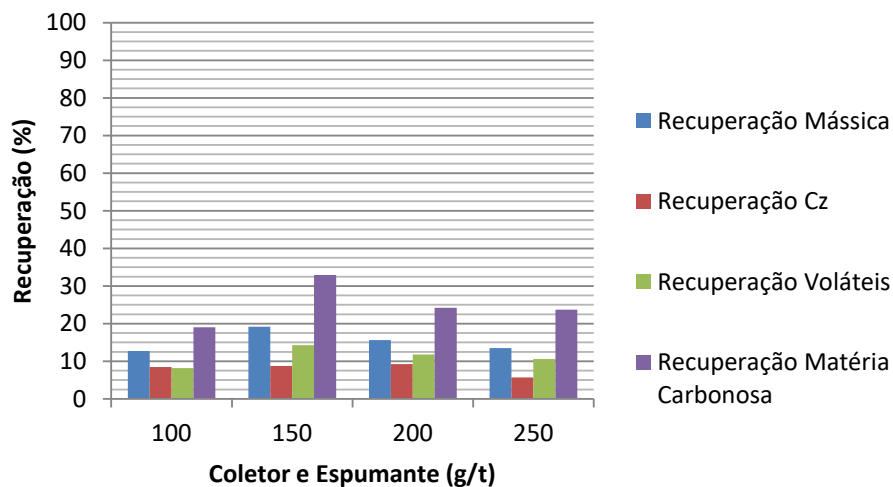
Figura 72 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 8% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

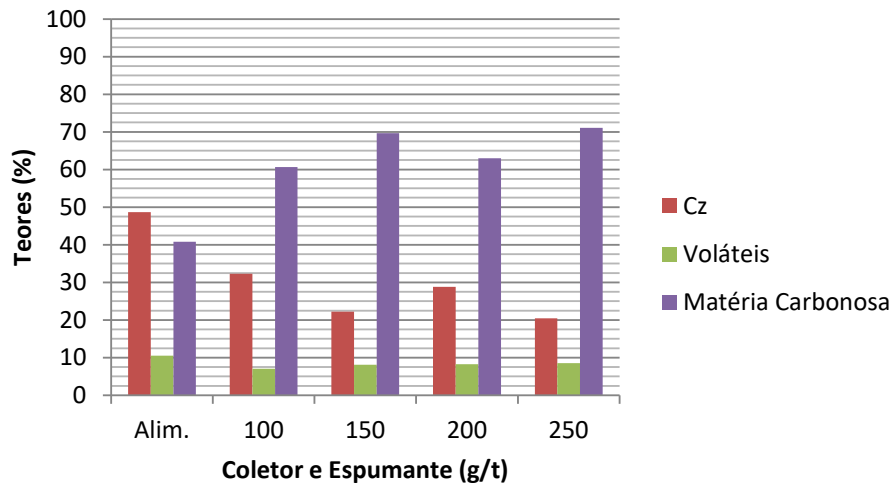
Nos experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC com 4% de Cp/p percebeu-se maior recuperação de massa, matéria carbonosa e matéria volátil 150 g/t de OD mas a menor recuperação de cinzas foi percebida com 250 g/t de OD (Figura 73). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 250 g/t de OD apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 74).

Figura 73 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

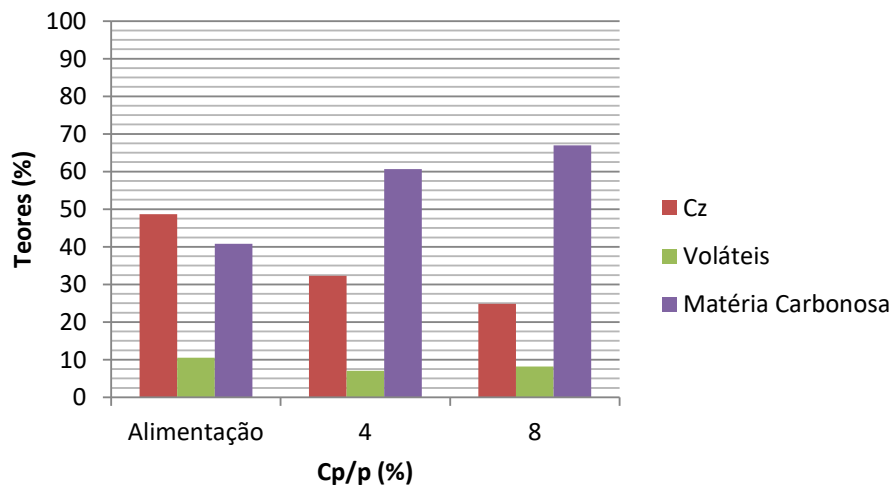
Figura 74 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando OD e MIBC



Fonte: produção própria do autor

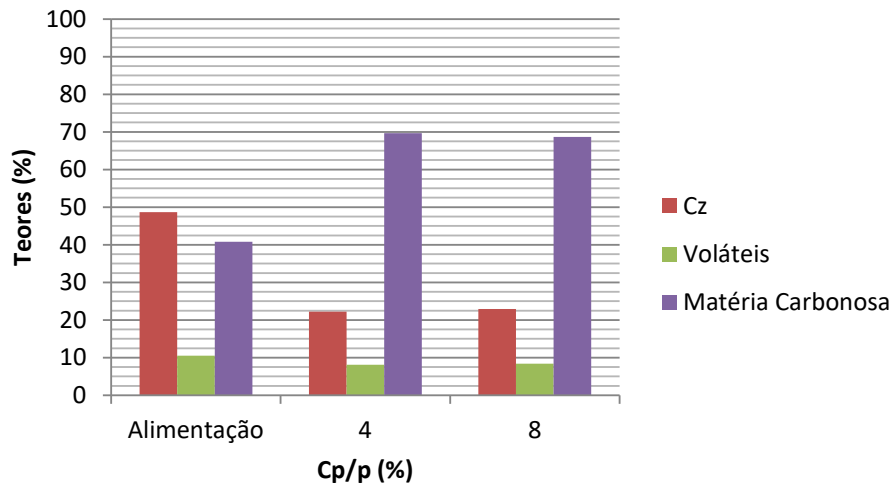
Comparando o enriquecimento dos materiais flotados utilizando 4% de Cp/p com 8% de Cp/p, percebe-se resultados diferentes dos percebidos com as amostras VL-20M e VL-10M. Nos experimentos utilizando 100 g/t de OD com 100 g/t de MIBC (Figura 75) houve maior seletividade utilizando-se 8% de Cp/p, nos experimentos utilizando 150 g/t de OD com 100 g/t de MIBC (Figura 76) houve maior seletividade utilizando-se 4% de Cp/p e nos experimentos utilizando 200 g/t e 250 g/t de OD com 100 g/t de MIBC (Figura 77 e Figura 78) não houve diferença significativa nas seletividades entre 4% e 8% de Cp/p. Também foi observada pequena diferença média nos teores de cinzas e matéria carbonosa para ambas as concentrações de polpa (Tabela 15).

Figura 75 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 100 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



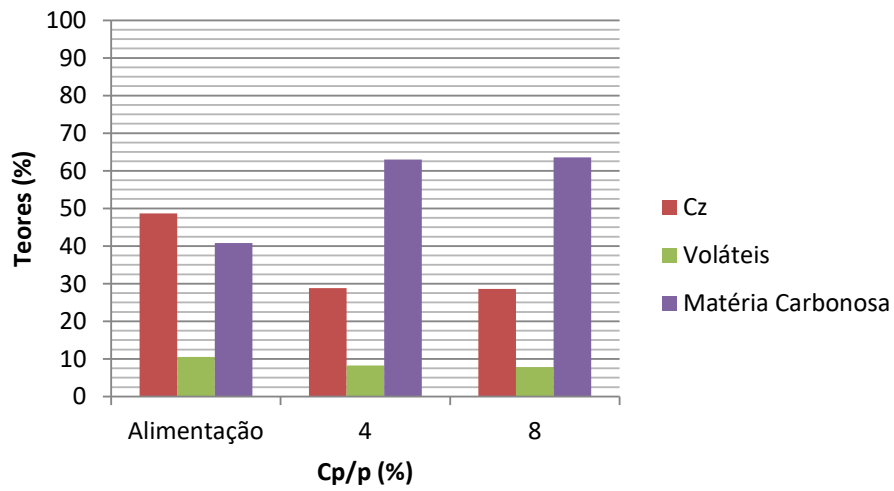
Fonte: produção própria do autor

Figura 76 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 150 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



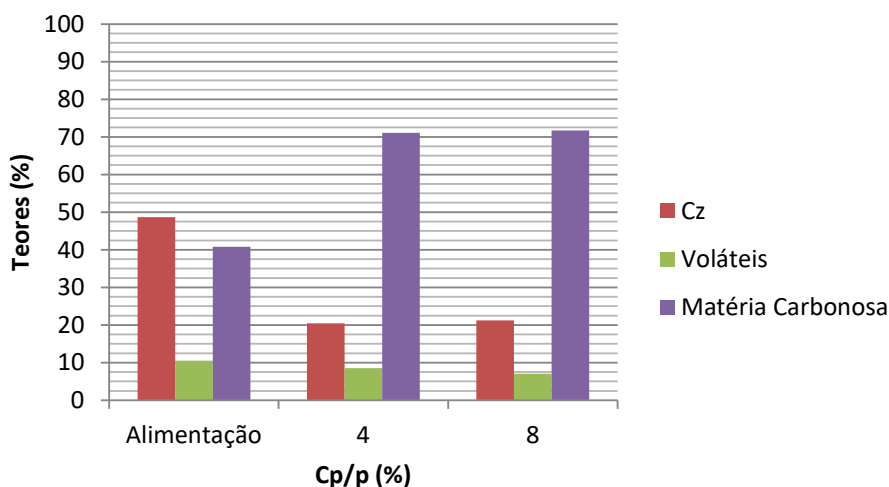
Fonte: produção própria do autor

Figura 77 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 200 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



Fonte: produção própria do autor

Figura 78 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 250 g/t de OD e 100 g/t de MIBC



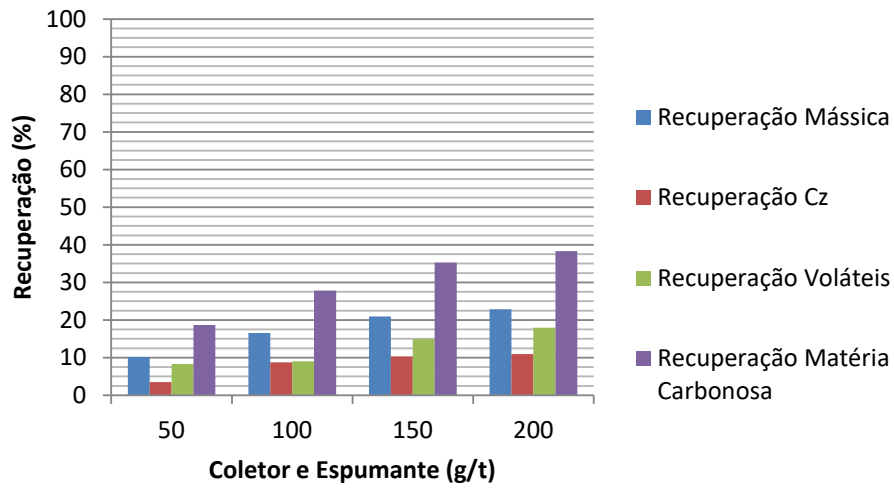
Fonte: produção própria do autor

Tabela 15 - Comparativo de resultados finais com Cp/p de 4% e 8% utilizando OD e MIBC para VL-02M

Concentração (g/t)			Teores (%)			
MIBC	OD	Cp/p	Cinzas	Δ 4% e 8%	Matéria Carbonosa	Δ 4% e 8%
100	100	8	24,82		66,98	
		4	32,32	7,50	60,66	6,32
	150	8	22,92		68,66	
		4	22,20	0,72	69,68	1,01
	200	8	28,62		63,53	
		4	28,78	0,16	62,97	0,56
	250	8	21,26		71,69	
		4	20,43	0,83	71,05	0,64
Média				2,30		2,13
Desvio Padrão				3,01		2,42

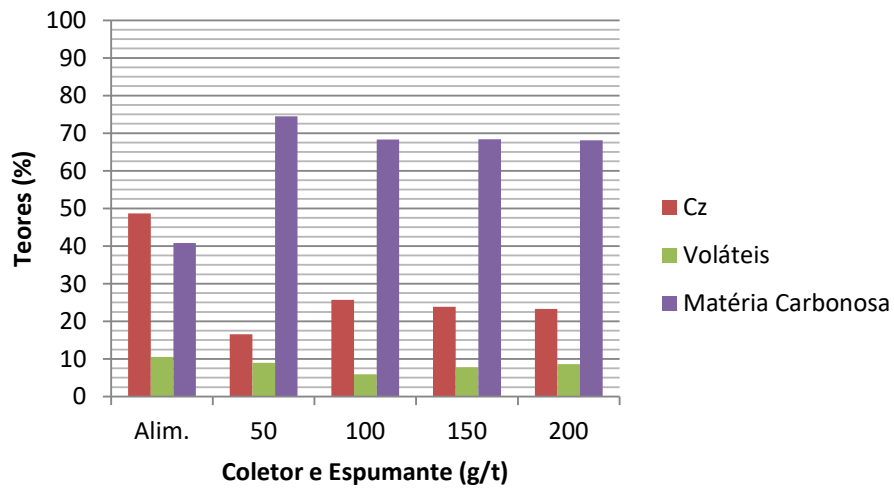
Nos experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3 com 4% de Cp/p percebeu-se maior recuperação de massa, matéria carbonosa, matéria volátil e de cinzas com 200 g/t de BC3 e a menor recuperação de cinzas foi percebida com 50 g/t de BC3 (Figura 79). Com relação aos teores do material flotado, o experimento com 50 g/t de BC3 apresentou maior concentração de matéria orgânica e menor concentração de cinzas, resultando em melhor seletividade (Figura 80), similar aos respectivos resultados utilizando VL-10M.

Figura 79 - Recuperação obtida em flotações finais em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

Figura 80 - Teores resultantes das flotações finais em VL-02M com 4% de Cp/p utilizando BC3 e BF3



Fonte: produção própria do autor

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, utilizando amostras de carvão de três distâncias diferentes de um dique na região de Moatize, permitiram avaliar o desempenho dos diferentes reagentes bem como das dosagens utilizadas quanto à recuperação mássica, recuperação da matéria carbonosa, teor de cinzas e seletividade do produto.

A partir dos ensaios de flotação, foram obtidos concentrados acumulados no quinto minuto, tempo esse que se finalizou para cada flotação em bancada e para cada combinação dos reagentes anteriormente citados neste trabalho. De acordo com o fluxograma do método de pesquisa deste trabalho foi escolhido o melhor resultado, com base nos parâmetros de recuperação mássica, recuperação da matéria carbonosa e teor de cinzas, atendendo e considerando que as dosagens de reagentes.

Nos resultados obtidos, não foi percebida vantagem significativa no uso de 8% de Cp/p frente ao uso de 4% de Cp/p. Apesar do uso de uma concentração maior de concentração de sólidos em peso ter apresentado teores maiores ou iguais aos de uma concentração menor para a amostra VL-02M (distante a 2 m do dique), considera-se sensato assumir 4% de Cp/p como uma concentração padrão de sólidos.

Os resultados mostraram que independente da distância em que o material de alimentação se encontrava do dique, é possível obter concentrados com teores de cinzas abaixo de 17% e teores de matéria carbonosa superiores a 67%. Apesar da recuperação mássica das amostras extraídas a 10 m e 20 m do dique terem superado os 50%, a recuperação mássica da amostra extraída a 2 m ficou inferior a 26%, indicando que o calor de formação do dique alterou de forma negativa a formação do carvão.

Com base nos resultados do trabalho, foi possível definir a melhor combinação de reagentes:

- Melhores combinações para amostras distantes a 20 m do Dique:
 - OD combinado com MIBC:
 - Concentrações de 200 g/t de OD e 100 g/t de MIBC;
 - Recuperação mássica de 60,27%;
 - Teor de 66,38% de matéria carbonosa;
 - Teor de 9,06% de cinzas.
 - BC3 combinado com BF3:
 - Concentrações de 200 g/t de OD e 100 g/t de MIBC;
 - Recuperação mássica de 77,36%;
 - Teor de 65,11% de matéria carbonosa;
 - Teor de 10,76% de cinzas.

- Melhores combinações para amostras distantes a 10 m do Dique:
 - OD combinado com MIBC:
 - Concentrações de 100 g/t de OD e 100 g/t de MIBC;
 - Recuperação mássica de 50,92%;
 - Teor de 64,61% de matéria carbonosa;
 - Teor de 16,45% de cinzas.
 - BC3 combinado com BF3:
 - Concentrações de 100 g/t de OD e 100 g/t de MIBC;
 - Recuperação mássica de 65,97%;
 - Teor de 63,94% de matéria carbonosa;
 - Teor de 15,54% de cinzas.
- Melhores combinações para amostras distantes a 2 m do Dique:
 - OD combinado com MIBC:
 - Concentrações de 150 g/t de OD e 100 g/t de MIBC;
 - Recuperação mássica de 25,49%;
 - Teor de 68,66% de matéria carbonosa;
 - Teor de 22,92% de cinzas.
 - BC3 combinado com BF3:
 - Concentrações de 50 g/t de OD e 100 g/t de MIBC;
 - Recuperação mássica de 10,17%;
 - Teor de 74,49% de matéria carbonosa;
 - Teor de 16,57% de cinzas.

De uma forma geral, a combinação de OD com MIBC apresentou melhores resultados em virtude de sua boa seletividade e boa recuperação de massa. Contudo, é possível concluir ser inviável o beneficiamento de carvão próximo de diques de rocha intrusiva.

REFERÊNCIAS

AFONSO, R.S., **A geologia de Moçambique:** notícia explicativa da carta geológica de Moçambique, 1:2 000 000. Impr. Nacional de Moçambique, Maputo, Moçambique 1976.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - **Carvão Mineral - Determinação do teor de cinza.** NBR 8289. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - **Carvão Mineral - Determinação de umidade.** NBR 8293. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - **Carvão Mineral - Determinação do teor de materiais voláteis.** NBR 8290. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - **Carvão Mineral - Determinação do Carbono fixo.** NBR 8299. Rio de Janeiro, 1983.

BRUM, I. A. S. **Concentração de partículas minerais grossas de fluorita em coluna de flotação,** Porto Alegre, 2004, 103p. Tese de Doutorado em Engenharia- Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS.

CELANESE CORPORATION- **The Chemistry in side innovation- Methyl Isobutyl Carbinol.** Disponível em: www.celanese.com-Acessado em 26 de Junho de 2018.

CASTRO, A. F. **Análise do sistema de reagentes na flotação de finos de carvão mineral de moazite, Moçambique,** Porto Alegre, 2016, 104p. Dissertação de Mestrado em Engenharia- Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS

CUMBULA, G. A., BusinessMapsMoz: Localização de Moçambique. 29 de outubro de 2019. Disponível em: <https://businessmapsmoz.blogspot.com/2019/10/localizacao-de-mocambique-mocambique-e.html> - Acessado em 10 de outubro de 2020.

Da LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., FRANÇA S. C. A. **Tratamento de minérios:** 5ª ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2010, 484p.

DAVILA, G. B. G. **Estudo de flotação convencional em bancada do lodo da carbonífera criciúma,** Porto Alegre, 2013, 147p. Dissertação de Mestrado em Engenharia- Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS.

PETROBRAS. **Óleo diesel.** Disponível em: www.petrobras.com.br - Acessado em 13 de Maio de 2018.

FERREIRA J. A. F. **Classificação de carvões**. IN: SEMANA DE GEOLOGIA, 6, Rio de Janeiro, CPRM, 1980. 16 p. Il.

GOMES A. J. P. **Carvão do Brasil/turfa agrícola**. Porto Alegre, EST, 2002. 164p. Il.

GROBLER, Riaan. **RE: Request for Technical Information** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <pedro.zancan@ufrgs.br> em 20 dez 2017.

JOSÉ, D. S., SAMPAIO, C, H. **Estado da Arte da Mineração em Moçambique: caso carvão de Moatize, Tete**. In: III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2011, Gramado. v. A9. P. 1-20.

JOSÉ, D. S. **Caracterização Tecnológica do Carvão de Moatize** - Porto Alegre, 2017. Tese de Doutorado em Engenharia- Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS.

MONTE, M. B. M., PERES, A. E. C. **Química de superfície na flotação**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2004, 351, 352 e 353p.

RUBIO, J., CAPPONI, F., MATIOLO, E., ROSA, J. J. **Avanços na flotação de finos de minérios sulfetados de cobre e molibdênio**. In: XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Florianópolis-SC, V.2, p.69-78, 2004.

RUIZ A. S. **Flotação do carvão contido no rejeito da barragem EL CANTOR**, São Paulo, 2009, 33, 34, 35 e 49p. Dissertação de Mestrado em Engenharia- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP.

SAMPAIO, C. H., TAVARES, M. L. M **Beneficiamento Gravimétrico: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade**. 1ªed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005, 53p.

SANTOS & DUTRA. **Concentração de Partículas Mineraias Finas e Ultrafinas por Eletroflotação**. UFRJ, 2011, 21-22p, HOLOS, Ano 27, Vol5.

TESSARI R. I. **Origem e gênese dos carvões**. IN: SEMANA DE GEOLOGIA, 6, Rio de Janeiro, CPRM, 1980. 69p. Il. [Inédito] Coque. Acessado em 14.05.2019.

APENDICE A - EXPERIMENTOS PRELIMINARES

As especificações adotadas nos experimentos preliminares podem ser conferidas na Tabela 16 (VL-20M), na Tabela 17 (VL-10M) e na

Tabela 18 (VL-02M).

Tabela 16 - Especificações dos experimentos preliminares com amostra VL-20M

Experimento	Cp/p (%)	Coletor		Espumante	
		Tipo	Concentração (g/t)	Tipo	Concentração (g/t)
VL-20M-01	8	OD	240	MIBC	240
VL-20M-02	8	BC3	240	BF3	240
VL-20M-03	4	OD	240	MIBC	240
VL-20M-04	4	BC3	240	BF3	240
VL-20M-05	8	OD	300	MIBC	300
VL-20M-06	8	BC3	300	BF3	300
VL-20M-07	4	OD	300	MIBC	300
VL-20M-08	4	BC3	300	BF3	300
VL-20M-09	8	OD	150	MIBC	150
VL-20M-10	8	BC3	150	BF3	150
VL-20M-11	4	OD	150	MIBC	150
VL-20M-12	4	BC3	150	BF3	150
VL-20M-13	8	OD	75	MIBC	75
VL-20M-14	8	BC3	75	BF3	75
VL-20M-15	4	OD	75	MIBC	75
VL-20M-16	4	BC3	75	BF3	75

Tabela 17 - Especificações dos experimentos preliminares com amostra VL-10M

Experimento	Cp/p (%)	Coletor		Espumante	
		Tipo	Concentração (g/t)	Tipo	Concentração (g/t)
VL-10M-01	8	OD	120	MIBC	120
VL-10M-02	8	BC3	120	BF3	120
VL-10M-03	4	OD	120	MIBC	120
VL-10M-04	4	BC3	120	BF3	120
VL-10M-09	8	OD	150	MIBC	150
VL-10M-10	8	BC3	150	BF3	150
VL-10M-11	4	OD	150	MIBC	150
VL-10M-12	4	BC3	150	BF3	150
VL-10M-13	8	OD	75	MIBC	75
VL-10M-14	8	BC3	75	BF3	75
VL-10M-15	4	OD	75	MIBC	75
VL-10M-16	4	BC3	75	BF3	75

Tabela 18 - Especificações dos experimentos preliminares com amostra VL-02M

Experimento	Cp/p (%)	Tipo	Coletor	Espumante
			Concentração (g/t)	Concentração (g/t)
VL-02M-01	8	OD	120	MIBC 120
VL-02M-02	8	BC3	120	BF3 120
VL-02M-03	4	OD	120	MIBC 120
VL-02M-04	4	BC3	120	BF3 120
VL-02M-09	8	OD	150	MIBC 150
VL-02M-10	8	BC3	150	BF3 150
VL-02M-11	4	OD	150	MIBC 150
VL-02M-12	4	BC3	150	BF3 150
VL-02M-13	8	OD	75	MIBC 75
VL-02M-14	8	BC3	75	BF3 75
VL-02M-15	4	OD	75	MIBC 75
VL-02M-16	4	BC3	75	BF3 75

Os experimentos acima resultaram nos resultados descritos na Tabela 19 (VL-20M), na Tabela 20 (VL-10M) e na Tabela 21 (VL-02M). Diferente do realizado com as amostras VL-20M e VL-20M, optou-se por não analisar o resultado das primeiras quatro flotações usando VL-02M visto que seu objetivo consistia apenas em avaliar a quantidade de massa flotada na etapa *Rougher* para ajustar a concentração de reagentes correta para a etapa *Scavenger*.

Tabela 19 - Resultados obtidos nos experimentos preliminares com amostra VL-20M

Experimento	Massa	Recuperação (%)			Teores (%)		
		Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-20M-01	75,55	54,20	77,03	81,81	13,37	23,89	62,74
VL-20M-02	75,87	59,95	77,70	80,25	14,72	24,00	61,28
VL-20M-03	81,45	54,21	83,38	89,43	12,40	23,99	63,61
VL-20M-04	89,68	70,98	90,79	95,24	14,75	23,72	61,53
VL-20M-05	89,11	74,59	91,38	92,87	15,59	24,03	60,38
VL-20M-06	81,64	71,76	83,91	82,85	16,38	24,09	58,80
VL-20M-07	56,60	60,02	59,01	54,53	19,75	24,43	55,82
VL-20M-08	90,17	76,26	90,79	94,39	15,76	23,60	60,65
VL-20M-09	75,63	43,20	80,09	84,26	10,64	24,81	64,54
VL-20M-10	86,11	64,97	87,89	92,19	14,06	23,92	62,03
VL-20M-11	65,49	32,56	69,36	74,51	9,26	24,82	65,92
VL-20M-12	87,70	67,05	89,05	93,80	14,24	23,79	61,96
VL-20M-13	65,31	39,13	67,08	73,02	11,16	24,07	64,77
VL-20M-14	71,32	59,67	72,92	74,43	15,58	23,96	60,46
VL-20M-15	59,40	25,70	64,23	68,28	8,06	25,34	66,60
VL-20M-16	85,56	59,72	89,88	92,12	13,00	24,62	62,38

Tabela 20 - Resultados obtidos nos experimentos preliminares com amostra VL-10M

Experimento	Recuperação (%)				Teores (%)		
	Massa	Cinzas	Matéria	Matéria	Cinzas	Matéria	Matéria
			Volátil	Carbonosa		Volátil	Carbonosa
VL-10M-01	56,93	28,31	62,26	69,50	13,32	23,19	63,50
VL-10M-02	65,69	32,15	68,41	73,90	13,11	22,08	58,52
VL-10M-03	58,37	24,95	64,54	73,07	11,44	23,44	65,11
VL-10M-04	58,05	25,04	28,46	87,10	11,55	10,40	78,05
VL-10M-09	65,61	35,26	71,28	78,93	14,39	23,03	62,58
VL-10M-10	75,51	50,35	78,50	87,24	17,86	22,04	60,10
VL-10M-11	60,02	28,16	67,85	73,22	12,56	23,97	63,46
VL-10M-12	76,30	46,95	81,00	89,49	16,48	22,51	61,01
VL-10M-13	49,55	25,31	56,38	59,25	13,67	24,13	62,20
VL-10M-14B	75,47	47,78	78,00	88,69	16,95	21,92	61,13
VL-10M-15	41,93	14,64	49,68	52,82	9,35	25,12	65,53
VL-10M-16	80,41	54,16	83,42	92,69	18,04	22,00	59,96

Tabela 21 - Resultados obtidos nos experimentos preliminares com amostra VL-02M

Experimento	Recuperação (%)				Teores (%)		
	Massa	Cinzas	Matéria	Matéria	Cinzas	Matéria	Matéria
			Volátil	Carbonosa		Volátil	Carbonosa
VL-02M-01	39,04	--	--	--	--	--	--
VL-02M-02	50,40	--	--	--	--	--	--
VL-02M-03	58,37	--	--	--	--	--	--
VL-02M-04	58,05	--	--	--	--	--	--
VL-02M-09	52,48	31,98	43,12	79,37	29,67	8,66	61,67
VL-02M-10	49,92	30,35	41,05	75,57	29,60	8,67	61,73
VL-02M-11	39,36	23,22	36,67	59,32	28,72	9,82	61,45
VL-02M-12	46,38	27,43	39,62	70,75	28,79	9,01	62,20
VL-02M-13	49,55	25,31	56,38	59,25	13,67	24,13	62,20
VL-02M-14	75,18	53,87	79,51	84,39	19,19	22,42	58,39
VL-02M-15	41,93	14,64	49,68	52,82	9,35	25,12	65,53
VL-02M-16	80,41	54,16	83,42	92,69	18,04	22,00	59,96

APENDICE B - EXPERIMENTOS FINAIS

As especificações adotadas nos experimentos preliminares podem ser conferidas na Tabela 22 (VL-20M), na Tabela 23 (VL-10M) e na Tabela 24 (VL-02M).

Tabela 22 - Especificações dos experimentos finais com amostra VL-20M

Experimento	Cp/p	Coletor		Espumante	
		Tipo	Concentração (g/t)	Tipo	Concentração (g/t)
VL-20M-17	8	OD	100	MIBC	100
VL-20M-18	8	OD	150	MIBC	100
VL-20M-19	8	OD	200	MIBC	100
VL-20M-20	8	OD	250	MIBC	100
VL-20M-21	4	OD	100	MIBC	100
VL-20M-22	4	OD	150	MIBC	100
VL-20M-23	4	OD	200	MIBC	100
VL-20M-24B	4	OD	250	MIBC	100
VL-20M-29	4	BC3	50	BF3	100
VL-20M-30	4	BC3	100	BF3	100
VL-20M-31	4	BC3	150	BF3	100
VL-20M-32	4	BC3	200	BF3	100

Tabela 23 - Especificações dos experimentos finais com amostra VL-10M

Experimento	Cp/p	Coletor		Espumante	
		Tipo	Concentração (g/t)	Tipo	Concentração (g/t)
VL-10M-17	8	OD	100	MIBC	100
VL-10M-18	8	OD	150	MIBC	100
VL-10M-19	8	OD	200	MIBC	100
VL-10M-20	8	OD	250	MIBC	100
VL-10M-21	4	OD	100	MIBC	100
VL-10M-22	4	OD	150	MIBC	100
VL-10M-23	4	OD	200	MIBC	100
VL-10M-24	4	OD	250	MIBC	100
VL-10M-29	4	BC3	50	BF3	100
VL-10M-30	4	BC3	100	BF3	100
VL-10M-31	4	BC3	150	BF3	100
VL-10M-32	4	BC3	200	BF3	100

Tabela 24 - Especificações dos experimentos finais com amostra VL-02M

Experimento	Cp/p	Coletor		Espumante	
		Tipo	Concentração (g/t)	Tipo	Concentração (g/t)
VL-02M-17	8	OD	100	MIBC	100
VL-02M-18	8	OD	150	MIBC	100
VL-02M-19	8	OD	200	MIBC	100
VL-02M-20	8	OD	250	MIBC	100
VL-02M-21	4	OD	100	MIBC	100
VL-02M-22	4	OD	150	MIBC	100
VL-02M-23	4	OD	200	MIBC	100
VL-02M-24	4	OD	250	MIBC	100
VL-02M-29	4	BC3	50	BF3	100
VL-02M-30	4	BC3	100	BF3	100
VL-02M-31	4	BC3	150	BF3	100
VL-02M-32	4	BC3	200	BF3	100

Tabela 25 - Resultados obtidos nos experimentos finais com amostra VL-20M

Experimento	Recuperação (%)				Teores (%)		
	Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-20M-17	56,61	44,45	56,73	60,47	14,63	23,49	61,89
VL-20M-18	82,40	58,94	84,45	89,11	13,33	24,02	62,66
VL-20M-19	65,74	37,96	67,93	73,79	10,76	24,21	65,03
VL-20M-20	80,48	60,06	81,82	86,50	13,90	23,82	62,27
VL-20M-21	39,17	14,95	40,44	46,45	7,11	24,19	68,70
VL-20M-22	57,99	32,39	60,50	65,21	10,41	24,45	65,15
VL-20M-23	60,27	29,30	63,16	69,06	9,06	24,56	66,38
VL-20M-24B	64,65	34,00	69,38	76,11	9,80	25,15	68,20
VL-20M-29	35,53	23,45	38,74	38,12	12,29	25,55	62,16
VL-20M-30	66,50	47,73	70,91	70,76	13,37	24,99	61,64
VL-20M-31	84,95	64,26	88,76	90,06	14,09	24,48	61,42
VL-20M-32	77,36	44,68	79,66	86,94	10,76	24,13	65,11

Tabela 26 - Resultados obtidos nos experimentos finais com amostra VL-10M

Experimento	Recuperação (%)				Teores (%)		
	Massa	Cinzas	Matéria	Matéria	Cinzas	Matéria	Matéria
			Volátil	Carbonosa		Volátil	Carbonosa
VL-10M-17	41,76	29,55	49,19	49,34	18,95	24,98	61,46
VL-10M-18	76,58	61,15	82,76	85,81	21,38	22,92	58,29
VL-10M-19	40,39	25,19	46,01	48,44	16,70	24,15	62,38
VL-10M-20	72,75	52,36	79,62	83,66	19,27	23,21	59,82
VL-10M-21	50,92	31,28	60,02	63,25	16,45	24,99	64,61
VL-10M-22	38,29	19,20	48,59	49,48	13,43	26,91	67,23
VL-10M-23	42,54	21,54	54,25	54,86	13,56	27,04	67,08
VL-10M-24	49,45	27,18	59,93	62,56	14,72	25,70	65,82
VL-10M-29	45,44	24,75	54,36	56,83	14,59	25,37	65,07
VL-10M-30	65,97	38,28	74,89	81,09	15,54	24,07	63,94
VL-10M-31	70,84	44,65	79,67	85,93	16,88	23,85	63,10
VL-10M-32	74,85	50,92	81,98	87,93	18,22	23,22	61,11

Tabela 27 - Resultados obtidos nos experimentos finais com amostra VL-02M

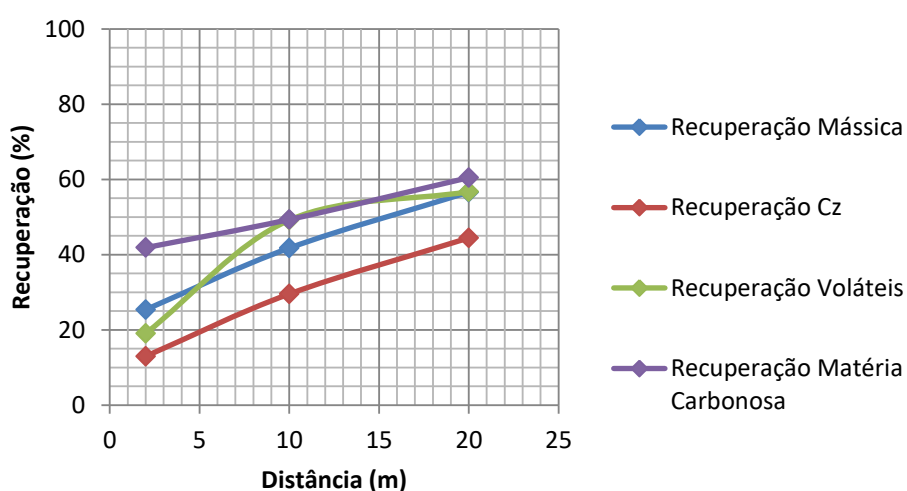
Experimento	Recuperação (%)				Teores (%)		
	Massa	Cinzas	Matéria	Matéria	Cinzas	Matéria	Matéria
			Volátil	Carbonosa		Volátil	Carbonosa
VL-02M-17	25,37	12,99	19,08	41,87	24,82	8,20	66,98
VL-02M-18	25,49	12,05	19,66	43,12	22,92	8,42	68,66
VL-02M-19	25,64	15,14	18,44	40,13	28,62	7,85	63,53
VL-02M-20	26,00	11,40	16,79	45,93	21,26	7,04	71,69
VL-02M-21	12,74	8,49	8,20	19,03	32,32	7,02	60,66
VL-02M-22	19,17	8,78	14,27	32,90	22,20	8,12	69,68
VL-02M-23	15,62	9,27	11,80	24,22	28,78	8,25	62,97
VL-02M-24	13,53	5,70	10,57	23,69	20,43	8,52	71,05
VL-02M-29	10,17	3,47	8,33	18,65	16,57	8,94	74,49
VL-02M-30	16,53	8,77	9,01	27,83	25,72	5,95	68,33
VL-02M-31	20,94	10,31	14,95	35,26	23,86	7,79	68,35
VL-02M-32	22,84	10,98	17,98	38,32	23,30	8,59	68,11

Com base nos valores obtidos, foi possível organizar os resultados conforme a posição em que as amostras foram obtidas. Os experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC e Cp/p de 8% podem ser conferidas na Tabela 28, na Tabela 29, na Tabela 30 e na Tabela 31, com os gráficos de recuperação na Figura 81, na Figura 83, na Figura 85 e na Figura 87 e os gráficos de teores na Figura 82, na Figura 84, na Figura 86 e na Figura 88.

Tabela 28 - Flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%

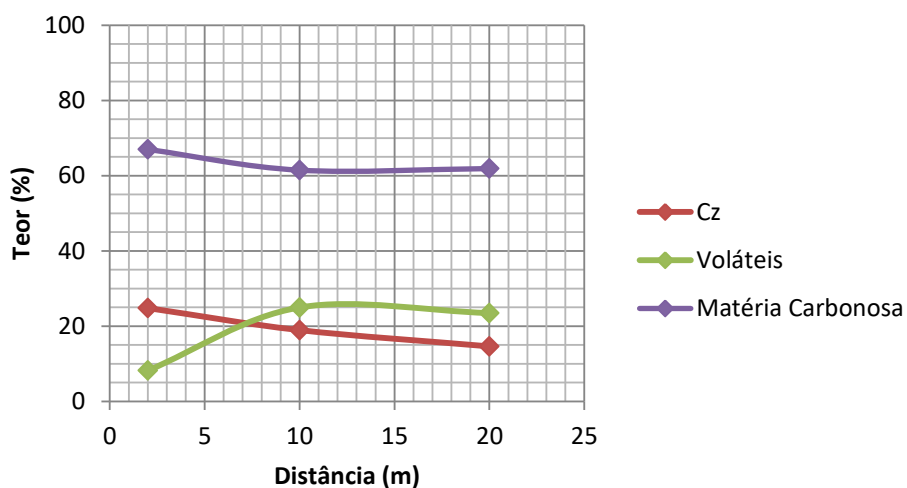
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M-17	2	25,37	12,99	19,08	41,87	24,82	8,20	66,98
VL-10M-17	10	41,76	29,55	49,19	49,34	18,95	24,98	61,46
VL-20M-17	20	56,61	44,45	56,73	60,47	14,63	23,49	61,89

Figura 81 - Recuperação das flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%



Fonte: produção própria do autor

Figura 82 - Teores das flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%

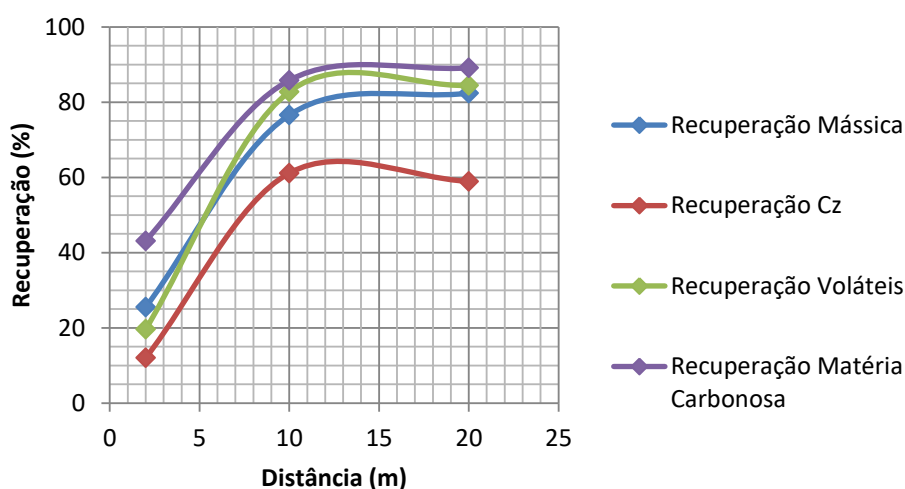


Fonte: produção própria do autor

Tabela 29 - Flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%

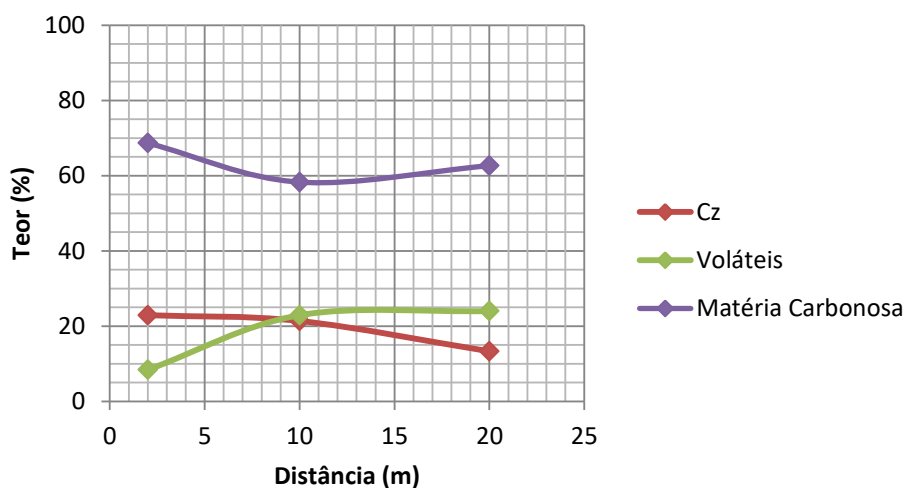
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria	Matéria	Cinzas	Matéria	Matéria
				Volátil	Carbonosa		Volátil	Carbonosa
VL-02M-18	2	25,49	12,05	19,66	43,12	22,92	8,42	68,66
VL-10M-18	10	76,58	61,15	82,76	85,81	21,38	22,92	58,29
VL-20M-18	20	82,40	58,94	84,45	89,11	13,33	24,02	62,66

Figura 83 - Recuperação das flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%



Fonte: produção própria do autor

Figura 84 - Teores das flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%

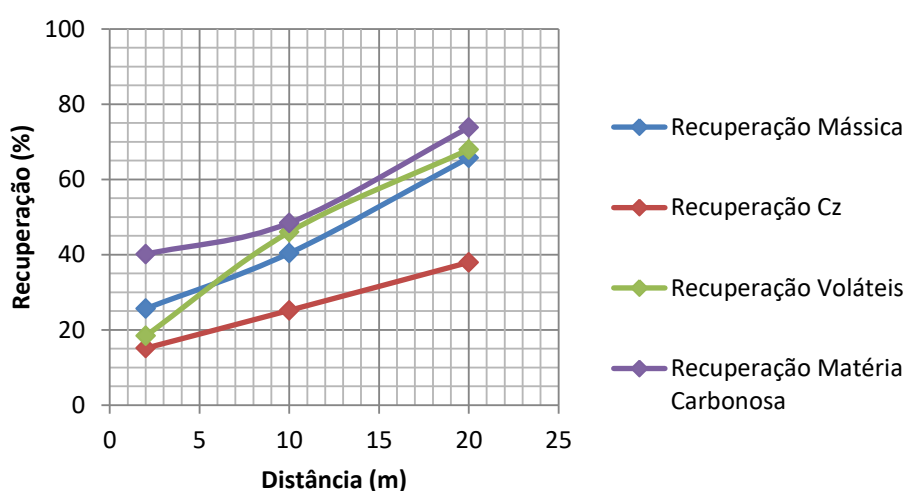


Fonte: produção própria do autor

Tabela 30 - Flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%

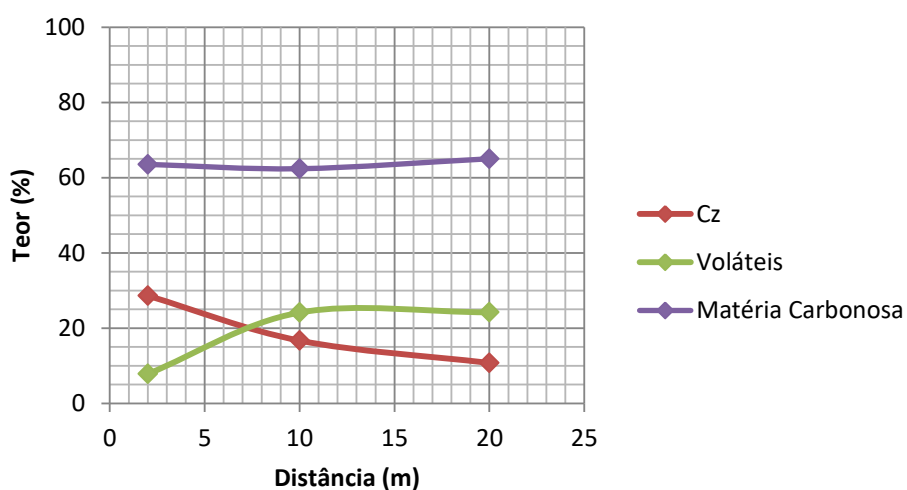
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M-19	2	25,64	15,14	18,44	40,13	28,62	7,85	63,53
VL-10M-19	10	40,39	25,19	46,01	48,44	16,70	24,15	62,38
VL-20M-19	20	65,74	37,96	67,93	73,79	10,76	24,21	65,03

Figura 85 - Recuperação das flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%



Fonte: produção própria do autor

Figura 86 - Teores das flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%

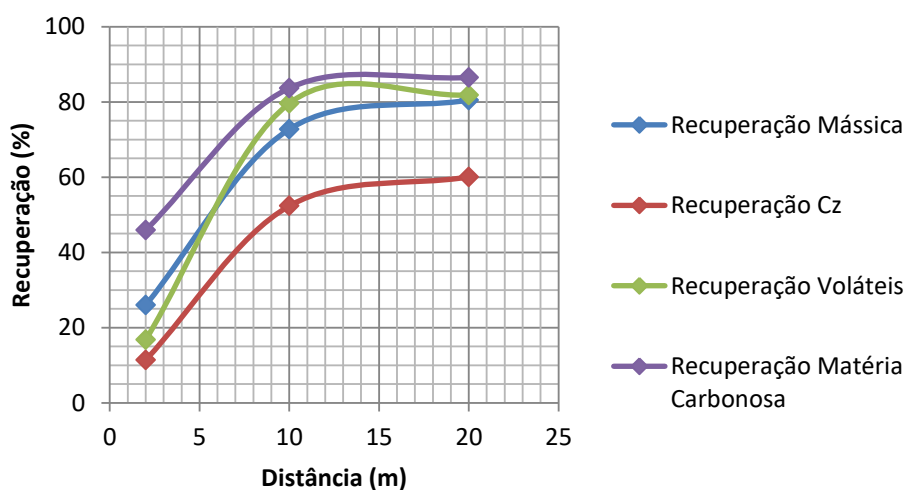


Fonte: produção própria do autor

Tabela 31 - Flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%

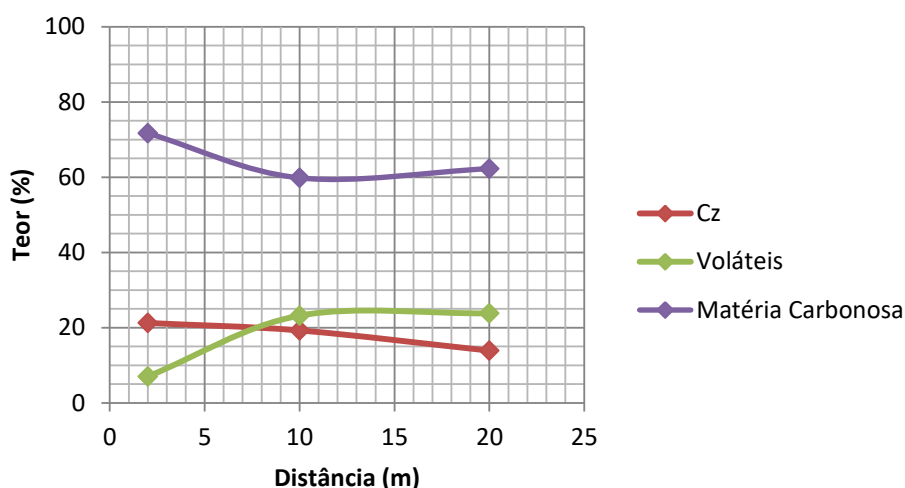
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria		Cinzas	Matéria	
				Volátil	Carbonosa		Volátil	Carbonosa
VL-02M-20	2	26,00	11,40	16,79	45,93	21,26	7,04	71,69
VL-10M-20	10	72,75	52,36	79,62	83,66	19,27	23,21	59,82
VL-20M-20	20	80,48	60,06	81,82	86,50	13,90	23,82	62,27

Figura 87 - Recuperação das flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%



Fonte: produção própria do autor

Figura 88 - Teores das flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 8%



Fonte: produção própria do autor

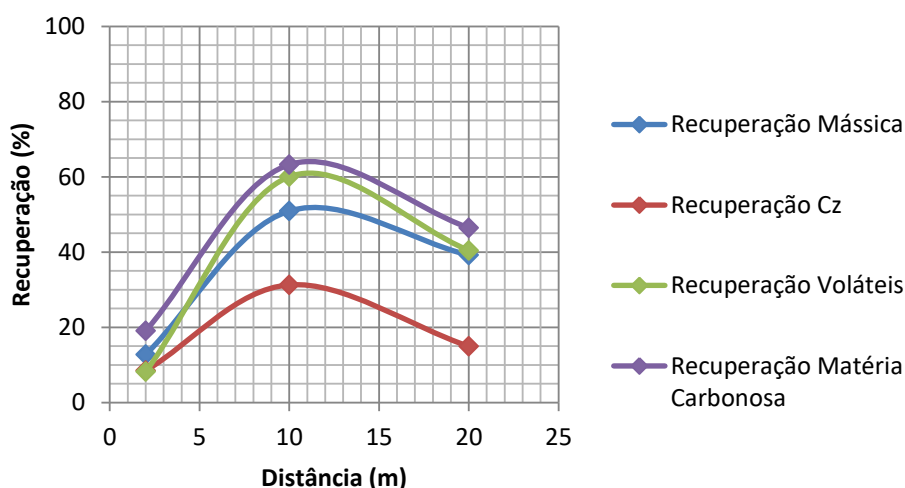
Com base nos valores obtidos, foi possível organizar os resultados conforme a posição em que as amostras foram obtidas. Os experimentos realizados com a combinação de OD e MIBC

e Cp/p de 4% podem ser conferidas na Tabela 32, na Tabela 33, na Tabela 34 e na Tabela 35, com os gráficos de recuperação na Figura 89, na Figura 91, na Figura 93 e na Figura 95 e os gráficos de teores na Figura 90, na Figura 92, na Figura 94 e na Figura 96.

Tabela 32 - Flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%

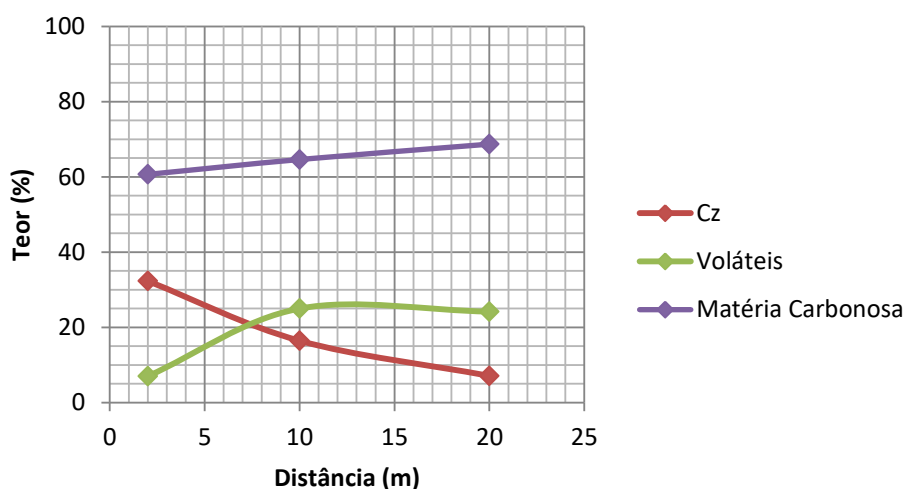
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M-21	2	12,74	8,49	8,20	19,03	32,32	7,02	60,66
VL-10M-21	10	50,92	31,28	60,02	63,25	16,45	24,99	64,61
VL-20M-21	20	39,17	14,95	40,44	46,45	7,11	24,19	68,70

Figura 89 - Recuperação das flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

Figura 90 - Teores das flotações realizadas com 100 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%

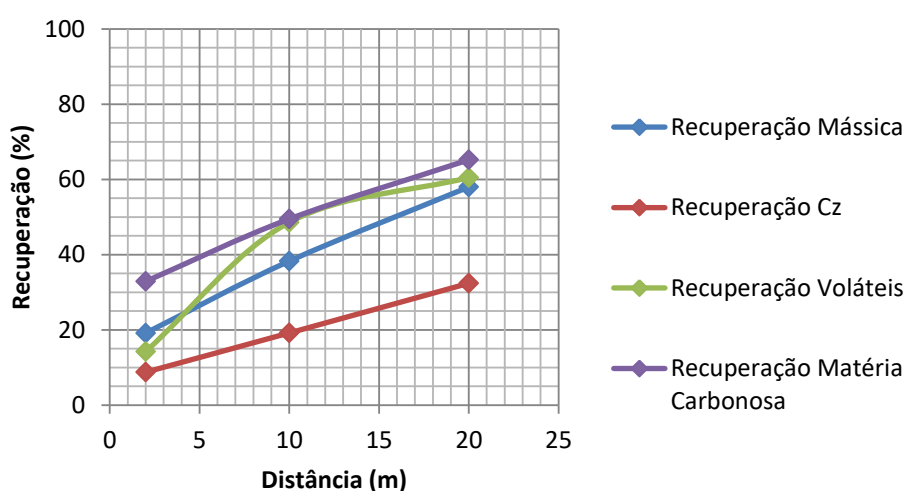


Fonte: produção própria do autor

Tabela 33 - Flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%

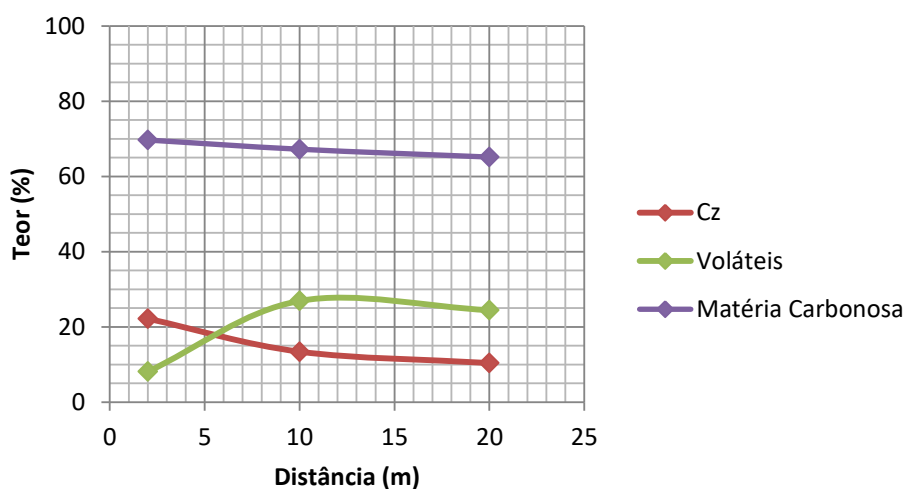
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M-22	2	19,17	8,78	14,27	32,90	22,20	8,12	69,68
VL-10M-22	10	38,29	19,20	48,59	49,48	13,43	26,91	67,23
VL-20M-22	20	57,99	32,39	60,50	65,21	10,41	24,45	65,15

Figura 91 - Recuperação das flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

Figura 92 - Teores das flotações realizadas com 150 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%

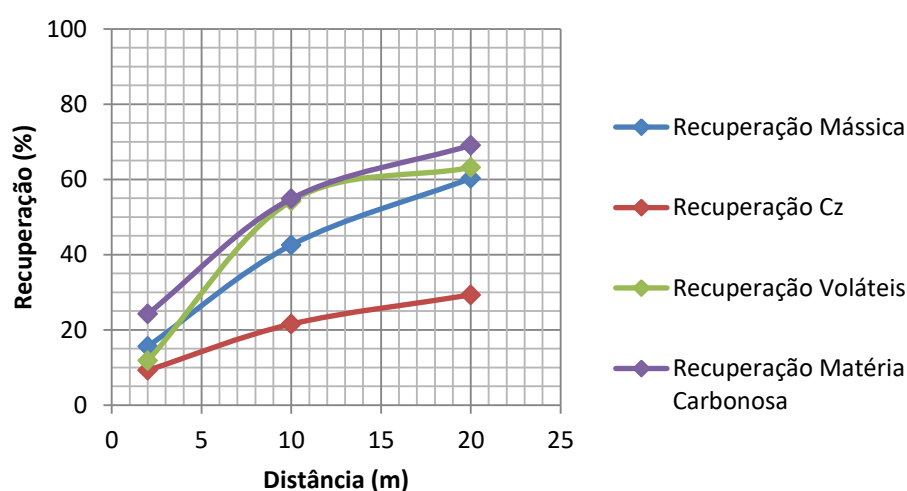


Fonte: produção própria do autor

Tabela 34 - Flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%

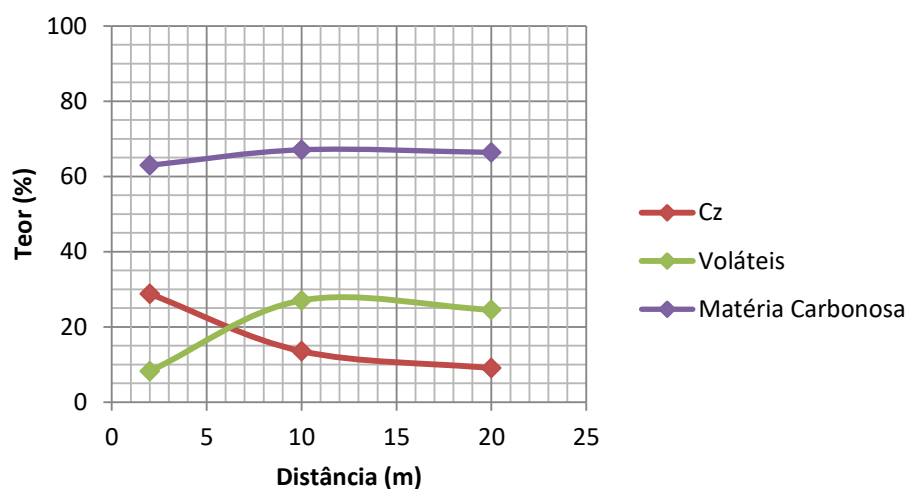
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M-23	2	15,62	9,27	11,80	24,22	28,78	8,25	62,97
VL-10M-23	10	42,54	21,54	54,25	54,86	13,56	27,04	67,08
VL-20M-23	20	60,27	29,30	63,16	69,06	9,06	24,56	66,38

Figura 93 - Recuperação das flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

Figura 94 - Teores das flotações realizadas com 200 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%

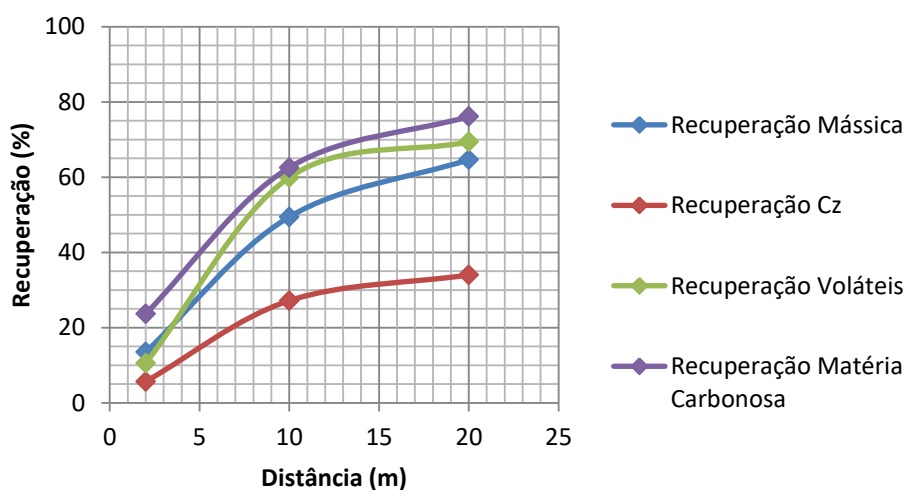


Fonte: produção própria do autor

Tabela 35 - Flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%

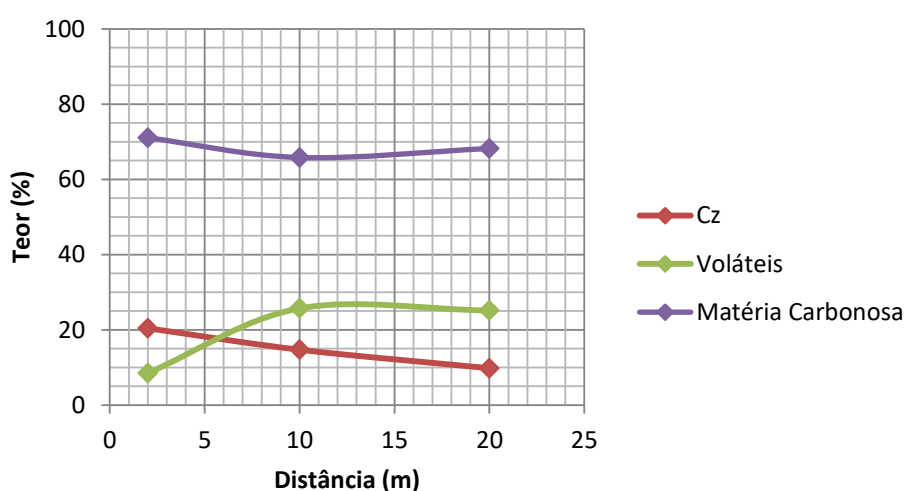
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M-24	2	13,53	5,70	10,57	23,69	20,43	8,52	71,05
VL-10M-24	10	49,45	27,18	59,93	62,56	14,72	25,70	65,82
VL-20M-24	20	64,65	34,00	69,38	76,11	9,80	25,15	68,20

Figura 95 - Recuperação das flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

Figura 96 - Teores das flotações realizadas com 250 g/t de OD, 100 g/t de MIBC e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

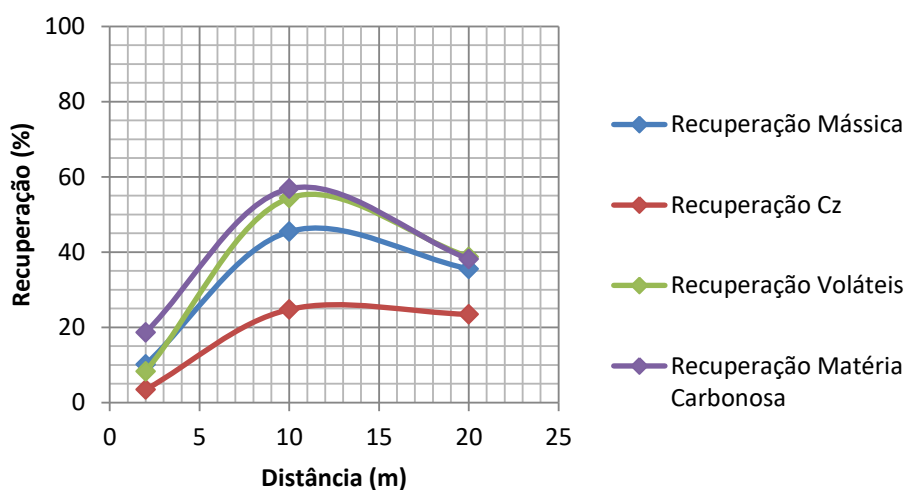
Com base nos valores obtidos, foi possível organizar os resultados conforme a posição em que as amostras foram obtidas. Os experimentos realizados com a combinação de BC3 e BF3

e Cp/p de 4% podem ser conferidas na Tabela 36, na Tabela 37, na Tabela 38 e na Tabela 39, com os gráficos de recuperação na Figura 97, na Figura 99, na Figura 101 e na Figura 103 e os gráficos de teores na Figura 98, na Figura 100, na Figura 102 e na Figura 104.

Tabela 36 - Flotações realizadas com 50 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%

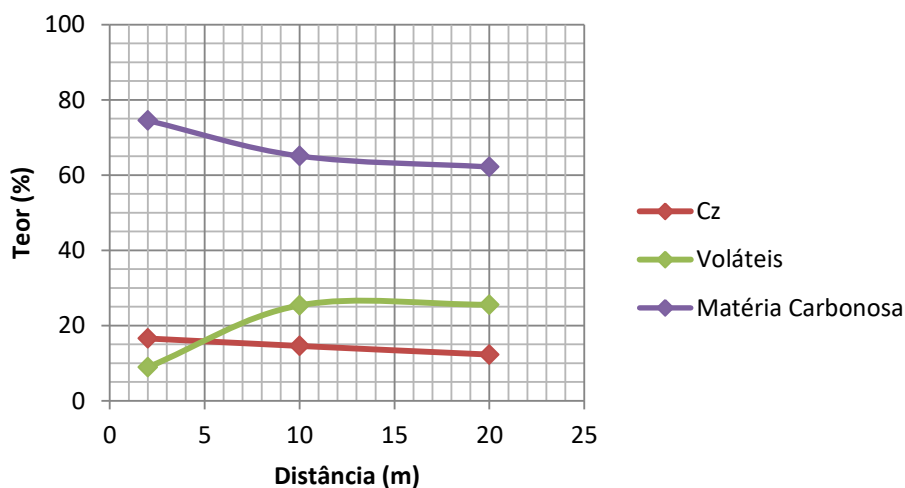
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M-29	2	10,17	3,47	8,33	18,65	16,57	8,94	74,49
VL-10M-29	10	45,44	24,75	54,36	56,83	14,59	25,37	65,07
VL-20M-29	20	35,53	23,45	38,74	38,12	12,29	25,55	62,16

Figura 97 - Recuperação das flotações realizadas com 50 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

Figura 98 - Teores das flotações realizadas com 50 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%

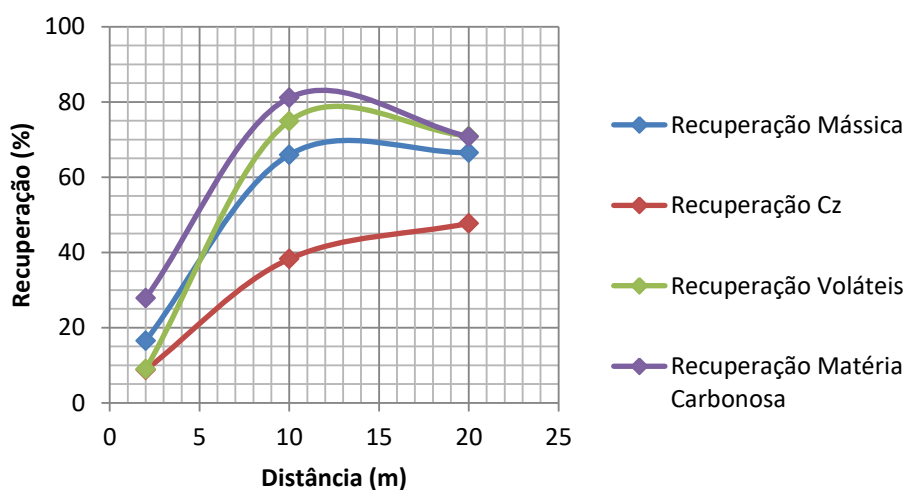


Fonte: produção própria do autor

Tabela 37 - Flotações realizadas com 100 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%

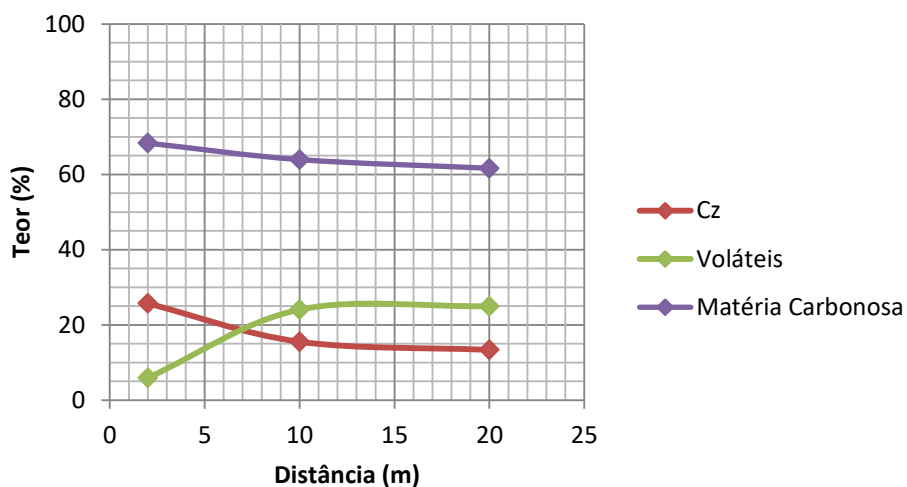
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria	Matéria	Cinzas	Matéria	Matéria
				Volátil	Carbonosa		Volátil	Carbonosa
VL-02M-30	2	16,53	8,77	9,01	27,83	25,72	5,95	68,33
VL-10M-30	10	65,97	38,28	74,89	81,09	15,54	24,07	63,94
VL-20M-30	20	66,50	47,73	70,91	70,76	13,37	24,99	61,64

Figura 99 - Recuperação das flotações realizadas com 100 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

Figura 100 - Teores das flotações realizadas com 100 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%

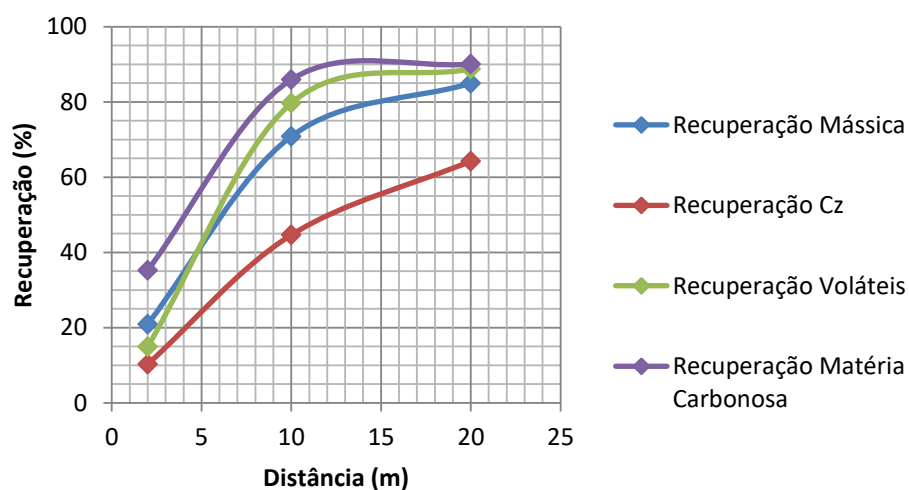


Fonte: produção própria do autor

Tabela 38 - Flotações realizadas com 150 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%

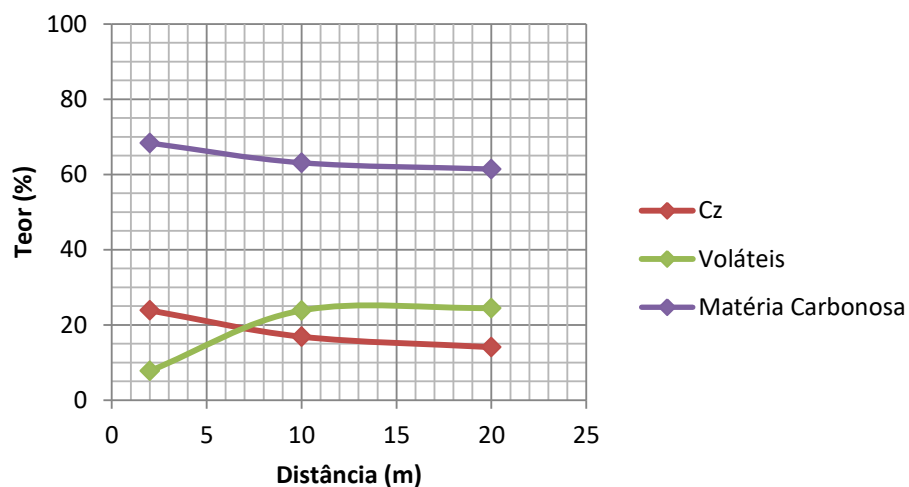
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa	Cinzas	Matéria Volátil	Matéria Carbonosa
VL-02M-31	2	20,94	10,31	14,95	35,26	23,86	7,79	68,35
VL-10M-31	10	70,84	44,65	79,67	85,93	16,88	23,85	63,10
VL-20M-31	20	84,95	64,26	88,76	90,06	14,09	24,48	61,42

Figura 101 - Recuperação das flotações realizadas com 150 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

Figura 102 - Teores das flotações realizadas com 150 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%

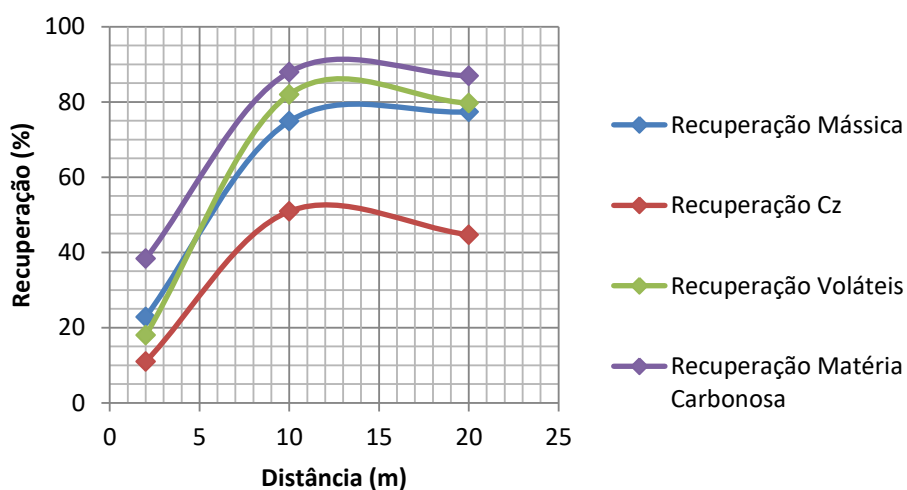


Fonte: produção própria do autor

Tabela 39 - Flotações realizadas com 200 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%

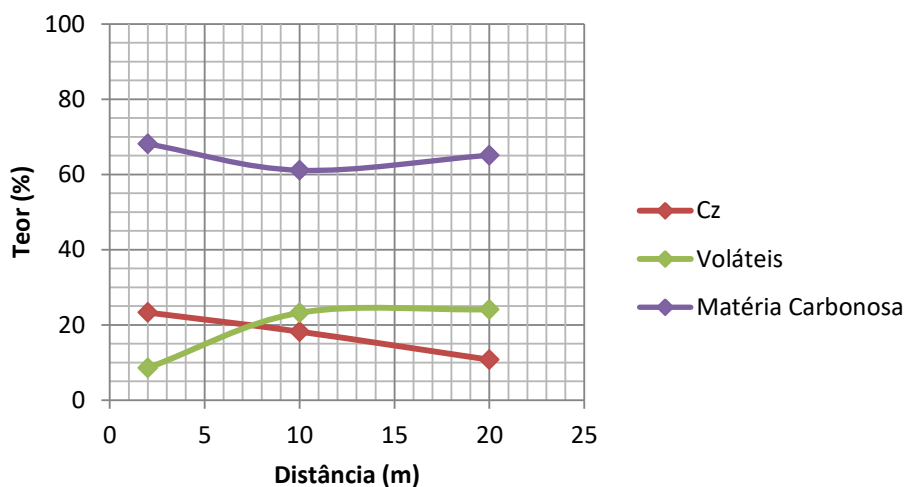
Experimento	Distância do Dique (m)	Recuperação (%)				Teores (%)		
		Massa	Cinzas	Matéria	Matéria	Cinzas	Matéria	Matéria
				Volátil	Carbonosa		Volátil	Carbonosa
VL-02M-32	2	22,84	10,98	17,98	38,32	23,30	8,59	68,11
VL-10M-32	10	74,85	50,92	81,98	87,93	18,22	23,22	61,11
VL-20M-32	20	77,36	44,68	79,66	86,94	10,76	24,13	65,11

Figura 103 - Recuperação das flotações realizadas com 200 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor

Figura 104 - Teores das flotações realizadas com 200 g/t de BC3, 100 g/t de BF3 e Cp/p de 4%



Fonte: produção própria do autor