

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista lateral dos principais componentes de uma máquina de lingotamento contínuo de aços. (Adaptado da ref. 2).....	6
Figura 2 - Formas de produtos lingotados. Medidas em mm.(Adaptado da Ref 1).....	7
Figura 3 - Diagrama esquemático do conjunto Painela, Distribuidor, Molde e Placa de Aço em Solidificação. (Adaptado das ref. 1 e 4).....	8
Figura 4 - Diagrama esquemático da planta industrial do processo de fabricação de fluxantes com partículas esféricas da empresa Carboox. Ilustração utilizada internamente na Carboox.....	12
Figura 5 - Imagem do fluxante esférico vista no Microscópio Ótico, com aumento de 5x.....	11
Figura 6 - Representação da matriz tridimensional dos vidros silicáticos.....	16
Figura 7 - Diagrama esquemático mostrando as diferentes camadas do fluxante no molde e a placa de aço em solidificação (Adaptado da ref. 15).....	19
Figura 8 - Diagrama Esquemático demonstrando a influência do isolamento do menisco no enclausuramento de bolhas (Adaptado da ref. 18).....	22
Figura 9 - Relação entre o produto $\eta.Vc$ e a variação na temperatura do molde (9A), transferência de calor (9B) e espessura do filme de fluxante (9C) (Adaptado da ref. 21).....	25
Figura 10 - Adaptação do diagrama esquemático da região entre a placa de aço em solidificação e o molde, destacando as fases sólida e líquida do fluxante (Adaptado da ref. 24).....	27
Figura 11 - Adaptação do diagrama esquemático da distribuição da temperatura e do filme de fluxante localizado na interface entre o molde, e a placa de aço em solidificação. Adaptado da ref. 24).....	28
Figura 12 - Melhor condição operacional para a melhor condição de consumo de Fluxante (Adaptado da ref. 25).....	29
Figura 13 - Influência da viscosidade do fluxante (P) no consumo específico de fluxantes (kg/t) (Adaptado da ref.26).....	30
Figura 14 - Influência da Velocidade de Lingotamento (m/min) no consumo específico de fluxantes (kg/t) para duas amplitudes (Adaptado da ref. 26).....	30
Figura 15 - Influência do ciclo de oscilação do molde no consumo específico de fluxantes para três diferentes amplitudes (Adaptado da ref. 26).....	31
Figura 16 - Transferência de calor através do filme de escória sob condição de regime estacionário. (Adaptado da ref. 30).....	33

Figura 17 - Relação entre a porcentagem de área dos poros e o fluxo de transferência de calor a velocidade de 1,2 m/min. (Adaptado da ref.31).....	36
Figura 18 - Relação entre o aumento do teor de Al_2O_3 e redução da concentração de SiO_2 em fluxantes fundidos. (Adaptado da ref. 39).....	38
Figura 19 - O efeito do índice de basicidade na taxa de absorção de Al_2O_3 pelo fluxante líquido. (Adaptado da ref. 41).....	40
Figura 20 - Variação da viscosidade do fluxante em função do teor de Al_2O_3 presente. (Adaptado da ref. 41).....	41
Figura 21 - Representação Esquemática de um viscosímetro pendular rotativo.(Adaptado da ref. 16).....	43
Figura 22 - Representação da curva típica de viscosidade de fluxantes. (Adaptado da ref.15)..	44
Figura 23 - Faixa Ótima da temperatura de solidificação (T_s) e da Viscosidade (η) para lingotamento de aços acalmados a alumínio a velocidade de lingotamento de 1,0 a 1,7 m/min. (Adaptado da ref.44)....	46
Figura 24 - Curvas de Análises Térmicas para os Fluxantes A, D, E e F.(Adaptado da ref. 44).	47
Figura 25 - Diagrama esquemático de glóbulos das matérias-primas do fluxante separados por partículas de carbono. (Adaptado da ref. 16).....	50
Figura 26 - Diagrama esquemático do equipamento utilizado.(Adaptado da ref. 46).....	51
Figura 27 - Método dos três arames utilizado para caracterizar as camadas do fluxante sobre o aço líquido. (Adaptado da ref. 50).....	52
Figura 28 - Relação entre temperatura de fusão e taxa de fusão de Fluxantes. (Adaptado da ref. 46)	52
Figura 29 - Efeito do teor de carbono (a) e do tamanho de partícula das fontes de carbono (b) na taxa de fusão de fluxantes. (Adaptado da ref. 46).....	53
Figura 30 - Efeito da densidade na taxa de fusão de fluxantes. (Adaptado da ref. 46).....	54
Figura 31 - Influência do teor de carbonato na taxa de fusão de fluxantes.(Adaptado da ref. 46).....	55
Figura 32 - Diagrama esquemático do equipamento utilizado para avaliação da velocidade de fusão de fluxantes (Adaptado da ref. 51).....	56
Figura 33 - A influência do tipo e teor de carbono na taxa de fusão de fluxantes. (Adaptado da ref. 51).....	56
Figura 34 - A influência do tipo e teor de carbono na taxa de fusão de fluxantes. (Adaptado da ref. 51).....	58

Figura 35 - Efeito de mistura de fontes de carbono na taxa de fusão dos fluxantes. (Adaptado da ref. 51).....	58
Figura 36 - Diagrama esquemático dos testes: Cone de Seger e o Teste de botão para avaliação da taxa de fusão de fluxantes. (Adaptado da ref. 15).....	59
Figura 37 - Efeito do tipo e teor de carbono na taxa de fusão de fluxantes. (Adaptado da ref. 15).....	59
Figura 38 - Tubo de quartzo com fluxante, após aquecimento por 4h ⁽⁵⁴⁾	60
Figura 39 - Diagrama esquemático do equipamento para avaliação da combustão de fluxante sob gradiente de temperatura. (a)Tubo de quartzo com o topo aberto (b) Tudo de quartzo com o topo fechado para análise de gases. (Adaptado da ref. 54).....	61
Figura 40 - Perfil da fração de carbono, após ensaio realizado. (Adaptado da ref. 54).....	62
Figura 41 - Diagrama esquemático do equipamento para avaliação da taxa de fusão.....	65
Figura 42 - (a) Cadinho afunilado e haste, prontos para serem posicionados no forno, (b) vista (b) Vista externa do forno, (c) Vista interna do forno com os cadinhos.....	66
Figura 43 - Exemplo da tela de apresentação dos resultados.....	67
Figura 44 - (a) Vista geral do equipamento para execução do ensaio de microscopia com aquecimento,(b) Detalhe da amostra sendo colocada no forno.....	70
Figura 45 - Formatos característicos da amostra submetidos a microscopia com aquecimento: (a)Formato Inicial, (b)Temperatura de amolecimento, (c) Temperatura de meia esfera (d)Temperatura de fluidez.....	71
Figura 46 - Gráfico demonstrando os resultados obtidos com adição de carbono através do Negro de Fumo.....	75
Figura 47 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 10 (1% de Carbono fornecido pelo Negro de Fumo).....	76
Figura 48 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 2 (2% de Carbono fornecido pelo Negro de Fumo).....	77
Figura 49 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 12. (3% de Carbono fornecido pelo Negro de Fumo).....	78
Figura 50 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 4. (4% de Carbono fornecido pelo Negro de Fumo).....	78
Figura 51 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 14. (5% de Carbono fornecido pelo Negro de Fumo).....	79

Figura 52 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 6. (6% de Carbono fornecido pelo Negro de Fumo).....	79
Figura 53 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 16 (7% de Carbono fornecido pelo Negro de Fumo).....	80
Figura 54 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 8. (8% de Carbono fornecido pelo Negro de Fumo).....	80
Figura 55 - Gráfico demonstrando os resultados obtidos com adição de carbono através do Coque – Tabela 11.....	82
Figura 56 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 11 – (1% de Carbono fornecido pelo Coque).....	83
Figura 57 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 3 – (2% de Carbono fornecido pelo Coque).....	84
Figura 58 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 13. (3% de Carbono fornecido pelo Coque).....	85
Figura 59 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 5. (4% de Carbono fornecido pelo Coque).....	86
Figura 60 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 15. (5% de Carbono fornecido pelo Coque).....	86
Figura 61 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 7. (6% de Carbono fornecido pelo Coque).....	87
Figura 62 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 17 (7% de Carbono fornecido pelo Coque).....	87
Figura 63 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 9 (8% de Carbono fornecido pelo Coque).....	88
Figura 64 - Comparação da temperatura inicial das amostras contendo negro de fumo e coque.....	89
Figura 65 - Comparação da temperatura final de carbono contendo negro de fumo e coque.....	90
Figura 66 - Comparação da taxa de escoamento das amostras contendo negro de fumo e coque.....	91
Figura 67 - Avaliação da amostra de Negro de Fumo (NM1172) e Coque (NM1109) puros.....	92
Figura 68 - Gráfico demonstrando os resultados obtidos com adição de misturas de Coque (CQ) e Negro de Fumo (NF).....	94

Figura 69 - Detalhes das curvas das amostras contendo 6% de carbono proveniente do Negro de Fumo (A), 6% de carbono proveniente do Coque (B). Na Figura A, o detalhe da inflexão da curva na temperatura de 1100°C.....	95
Figura 70 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 18 (CQ: 5,8% / NF: 0,2%).....	95
Figura 71 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 19 (CQ: 5,6% / NF: 0,4%).....	96
Figura 72 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 20 (CQ: 5,4% / NF: 0,6%).....	97
Figura 73 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 21 (CQ: 5,2% / NF: 0,8%).....	97
Figura 74 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 22 (CQ: 5,0% / NF: 1,0%).....	98
Figura 75 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 23 (CQ: 4,8% / NF: 1,2%).....	98
Figura 76 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 24 (CQ: 4,2% / NF: 1,8%).....	99
Figura 77 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 25 (CQ: 4,4% / NF: 1,6%).....	99
Figura 78 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 26 (CQ: 4,4% / NF: 1,6%).....	100
Figura 79 - Ensaio para avaliação da velocidade de fusão da Amostra 1 comparada com a Amostra 27 (CQ: 4,8% / NF: 2,0%).....	100
Figura 80 - Microscopia com Aquecimento da Amostra 1 (Amostra isenta de carbono).....	101
Figura 81 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com NF=1,0%.....	102
Figura 82 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com NF=2,0%.....	102
Figura 83 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com NF=3,0%.....	102
Figura 84 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com NF=4,0%.....	103
Figura 85 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com NF=5,0%.....	103
Figura 86 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com NF=6,0%.....	103
Figura 87 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com NF=7,0%.....	103
Figura 88 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com NF=8,0%.....	104

Figura 89 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=1,0%.....	104
Figura 90 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=2,0%.....	104
Figura 91 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=3,0%.....	104
Figura 92 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=4,0%.....	105
Figura 93 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=5,0%.....	105
Figura 94 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=6,0%.....	105
Figura 95 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com Q=7,0%.....	105
Figura 96 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com Q=8,0%.....	106
Figura 97 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=5,8% e F=0,2%.....	106
Figura 98 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=5,6% e F=0,4%.....	106
Figura 99 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=5,4% e NF=0,6%.....	107
Figura 100 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=5,2% e NF=0,8%.....	107
Figura 101 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=5,0% e NF=1,0%.....	107
Figura 102 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=4,8% e NF=1,2%.....	107
Figura 103 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=4,6% e NF=1,4%.....	108
Figura 104 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=4,4% e NF=1,6%.....	108
Figura 105 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=4,2% e NF=1,8%.....	108
Figura 106 - Microscopia com Aquecimento da Amostra com CQ=4,0% e NF=1,0%.....	108
Figura 107 - Gráfico dos resultados de temperatura de amolecimento, meia esfera e fluidez das amostras contendo Negro de Fumo	110
Figura 108 - Gráfico dos resultados de temperatura de amolecimento, meia esfera e fluidez das amostras contendo Coque	111
Figura 109 - Gráfico dos resultados de temperatura de amolecimento, meia esfera e fluidez das amostras contendo mistura de coque (CQ) e negro de fumo (NF).....	111
Figura 110 - Imagens da geração de bolhas, circuladas em vermelho, observadas na amostra com adição de 3% de coque no ensaio de microscopia com aquecimento.....	112
Figura 111 - Resultado da análise térmica diferencial da Amostra isenta de carbono.....	115

Figura 112 - Resultado da análise termo gravimétrica da isenta de carbono.....	115
Figura 113 - Resultado da análise térmica diferencial da amostra com NF=2,0%.....	116
Figura 114 - Resultado da análise termo gravimétrica da amostra com NF=2,0%.....	117
Figura 115 - Resultado da análise térmica diferencial da amostra com NF=4,0%.....	118
Figura 116 - Resultado da análise termo gravimétrica da amostra com NF=4,0%.....	118
Figura 117 - Resultado da análise térmica diferencial da amostra com NF=6,0%.....	119
Figura 118 - Resultado da análise termo gravimétrica da amostra com NF=6,0%.....	119
Figura 119 - Resultado da análise térmica diferencial da amostra com NF=8,0%.....	120
Figura 120 - Resultado da análise termo gravimétrica da amostra com NF=8,0%.....	120
Figura 121 - Resultado da análise térmica diferencial da amostra com CQ=2,0%.....	122
Figura 122 - Resultado da análise termo gravimétrica da amostra com CQ=2,0%.....	122
Figura 123 - Resultado da análise térmica diferencial da amostra com CQ=4,0%.....	123
Figura 124 - Resultado da análise termo gravimétrica da amostra com CQ=4,0%.....	123
Figura 125 - Resultado da análise térmica diferencial da amostra com CQ=6,0%.....	124
Figura 126 - Resultado da análise termo gravimétrica da amostra com CQ=6,0%.....	124
Figura 127 - Resultado da análise térmica diferencial da amostra com CQ=8,0%.....	125
Figura 128 - Resultado da análise termo gravimétrica da amostra com CQ=8,0%.....	125