ANÁLISE DO EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE PRECIPITAÇÃO NO AÇO PATINÁVEL USISAC350

José Endreo Baracho da Costa [1] (endreomec@hotmail.com), Wallyson Bezerra de Lima [2] (Wal1010@hotmail.com), Diogo Monteiro do Nascimento [1] (diogomonteiro.nascimento@gmail.com), Enéas Carlos de Oliveira Silva [1] (eneasoliveira@gmail.com), Moisés Euclides da Silva Junior [2] (juniormoises7@hotmail.com)

[1] Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Departamento de Engenharia Mecânica
[2] Centro Universitário Estácio do Recife (ESTÁCIO-PE); Departamento de Engenharia Mecânica

RESUMO: *Os aços Patináveis possuem essa nomenclatura devido a formação de um filme de óxidos finos na superfície do material, esses óxidos não permitem que o oxigênio atinja o metal base aumentando a sua resistência a corrosão em até 8x a depender da sua composição química. O aço Patinável é um aço ARBL e possui baixos teores de carbono (0,08-0,2%C), os mecanismos de endurecimento dos aços ARBL são o refino de grão, solução sólida e a precipitação. O objetivo do trabalho é avaliar a relação tempo/temperatura do tratamento térmico de precipitação analisando as imagens de MO e as medidas de microdureza Brinnel. Para realização desse trabalho utilizaram-se 9 corpos de prova de um aço USISAC 350, as amostras foram submetidas a tratamentos térmicos de solubilização seguido de precipitação, com temperaturas de 400°C, 600°C e 800°C e tempos de precipitação de 3h e 6h. Foi realizada a preparação metalográfica das amostras, elas foram analisadas por Microscopia Ótica e foi realizado o ensaio de Microdureza Brinnel. Ao avaliar as micrografias e o ensaio de dureza foi possível observar que as amostras que foram envelhecidas na temperatura de 400°C obtiveram um ganho de dureza considerável em relação a amostra como recebida, devido a formação da estrutura ferrita de Widmanstaten.*

PALAVRAS-CHAVE: *AÇO, TRATAMENTO TÉRMICO, PRECIPITAÇÃO, DUREZA.*

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE PRECIPITATION HEAT TREATMENT ON PATINABLE STEEL USISAC350

ABSTRACT: *Patinable steels have this nomenclature due to the formation of a thin oxide film on the surface of the material, these oxides do not allow oxygen to reach the base metal increasing its resistance to corrosion by up to 8x depending on its chemical composition. Patinable steel is an ARBL steel and has low carbon content (0.08-0.2% C), the hardening mechanisms of ARBL steels are grain refining, solid solution and precipitation. The objective of the work is to evaluate the time / temperature relationship of thermal precipitation treatment by analyzing MO images and Brinnel microhardness measurements. To perform this work, 9 specimens of a USISAC 350 steel were used, the samples were subjected to thermal solubilization treatments followed by precipitation, with temperatures of 400°C, 600°C and 800°C and precipitation times of 3h and 6 am. Metallographic preparation of the samples was carried out, they were analyzed by Optical Microscopy and the Brinnel Microhardness test was carried out. When evaluating the micrographs and the hardness test it was possible to observe that the samples that were aged at 400°C obtained a considerable hardness gain in relation to the sample as received, due to the formation of the Widmanstaten ferrite structure.*

KEYWORDS: *STEEL, HEAT TREATMENT, PRECIPITATION, HARDNESS.*

1. INTRODUÇÃO

É impossível pensar nas atividades diárias do homem sem a utilização de ferro e suas ligas, tanto na matéria-prima, como utilizados na construção de máquinas e equipamentos para transformar materiais.

Para Colpaert (2008), das ligas metálicas, os aços são os materiais de engenharias mais utilizados pelo fato de possuir matéria-prima abundante e barata, por ser o material que possui melhor relação custo x propriedade mecânica, por apresentar grande versatilidade e com pequenas alterações na composição química e no processamento termomecânico obtêm-se inúmeros tipos de aço para aplicações distintas e por fim, possui a capacidade de ser 100% reciclável.

O aço Patinável é um ARBL e foi desenvolvido por volta de 1930, sendo utilizado para a fabricação de vagões de carga para trens, ele foi utilizado devido a sua resistência mecânica elevada e a sua resistência a corrosão superior à dos aços carbono comum. Comercialmente o aço patinável é chamado de Cor-Ten, ele pode ser utilizado em seu estado natural, sem necessitar de revestimento ou pintura pelo fato da formação de uma camada protetora que se forma na superfície do material, essa camada protetora é chamada de pátina, é formada de acordo com a passividade do material (PANONI, 2004).

O tratamento térmico é uma operação de aquecimento e resfriamento sob condições controladas de temperatura, tempo e velocidade de resfriamento a que são submetidos os materiais metálicos. Ele tema finalidade de causar uma alteração na estrutura do material causando ganho ou redução das propriedades mecânicas (CALLISTER, 2006).

O tratamento térmico de recozimento é caraterizado pelo aquecimento do material acima da zona crítica de transformação por um tempo suficiente para que ocorra a dissolução do carbono e de outros elementos de liga na matriz, seguindo de um resfriamento lento dentro do forno (CHIAVERINE, 2002).

A tempera consiste no tratamento térmico de aquecimento do aço acima da zona crítica por um tempo determinado para que haja a austenitização total do material seguido de um resfriamento brusco, isso causa uma transformação fora do equilíbrio, formando uma nova estrutura denominada martensita, dura e frágil (CHIAVERINE, 2002).

O tratamento térmico de precipitação é um tratamento obtido mediante dois tratamentos térmicos diferentes onde o primeiro chamado de *solubilização*, ele consiste na dissolução total do soluto na matriz firmando uma solução sólida monofásica, após o tempo de solubilização o material é resfriado bruscamente para que qualquer difusão que possa ocorrer seja prevenida. Para o segundo tratamento térmico, a solução supersaturada é aquecida a até temperatura intermediária para que os precipitados de segunda fase comecem a nuclear na forma de partículas finamente dispersa na matriz em um processo que também é conhecido como envelhecimento, após o tempo de envelhecimento apropriado a liga é resfriada (CALISTER, 2006).

O objetivo do trabalho é analisar o efeito do tratamento térmico de precipitação na propriedade mecânica de microdureza no aço patinável USISAC350. As amostras serão submetidas a tratamentos em temperaturas de 400°C, 600°C e 800°C, variando os tempos em que as amostras ficam no forno em 3h e 6h.

2. METODOLOGIA

Este capítulo tem o objetivo de descrever de forma clara e sucinta todos os materiais e procedimentos utilizados durante a pesquisa, o objeto de estudo desse trabalho é avaliar a evolução de dureza do aço USISAC 350. As amostras serão submetidas a tratamentos em temperaturas de 400°C, 600°C e 800°C, variando os tempos em que as amostras ficam no forno em 3h e 6h.

A Tabela 1 apresenta a composição química do material em estudo.

TABELA 1. Composição química aço SAC 350

Elemento	Composição (%)
Carbono	0,09
Manganês	1,12
Fósforo	0,34
Enxofre	0,007
Silício	1,06
Alumínio	0,35
Cobre	0,09
Vanádio	0,003
Titânio	0,002
Cromo	0,18
Níquel	0,02

Fonte: Colpaert (2008).

A Figura 1 ilustra de forma esquemática o fluxo do processo aplicado neste trabalho, apresentando de forma resumida a sequência de trabalho.

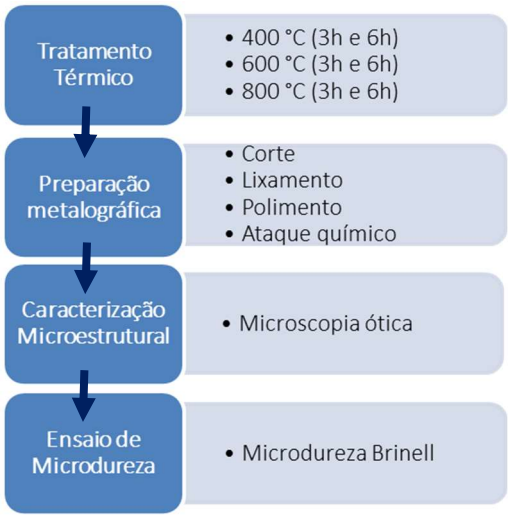

FIGURA 1. Fluxograma das atividades durante o processo experimental deste trabalho. Fonte: Autor (2019).

2.1 Tratamento Térmico

As amostras foram submetidas a tratamento térmico em forno mufla Inovatec IN R7 P7. Uma das amostras foi mantida como recebida sem passar por tratamento térmico para ser utilizada como referência, e as demais com seus respectivos tratamentos térmicos conforme Tabela 2.

TABELA 2. Tratamento térmico das amostras

Amostra	Tratamento	Temperatura	Tempo
1	Estado Bruto	-	-
2	Recozimento	950°C	1,5h
3	Têmpera	950°C	1s
4	Envelhecimento	400°C	3h
5	Envelhecimento	400°C	6h
6	Envelhecimento	600°C	3h
7	Envelhecimento	600°C	6h
8	Envelhecimento	800°C	3h
9	Envelhecimento	800°C	6h

Fonte: Autor (2019).

2.2 Preparação Metalográfica

As amostras foram seccionadas com a cutt off no sentido transversal e longitudinal, após cortadas as mesmas foram submetidas ao processo de embutimento a quente com baquelite. O lixamento foi executado com lixas de grana de 180, 220, 320, 400, 600, 1000. Após o lixamento realizou-se o polimento com pano metalográfico e pasta de diamante de 3µ e 1µ. O ataque químico para revelar a morfologia da microestrutura do material em análise foi realizada com Nital a 2% por imersão durante o tempo de 10s.

2.3 Miscroscopia ótica e ensaio de microdureza

As imagens foram capturadas no microscópio ZEISS Axiolab 5 nas ampliações de 50x, 100x, 200x, 500x. Para validar o estudo teórico, foi realizado ensaio de microdureza Brinnel no microdurômetro emcoTEST Durascan, conforme norma ASTM E10:2007, penetrador com esfera de carboneto de tungstênio e diâmetro de 1mm, constante de carga de 2,5 e carga nominal de 24,52N com tempo de duração entre 10 a 15 segundos, foram realizadas 10 endentações em cada amostra para obter a dureza média de cada amostra.

3. RESULTADOS

A amostra como recebida foi analisada por microscopia ótica, a imagem capturada pode ser analisada na Figura 2 onde pode-se observar uma estrutura predominantemente ferrítica (grãos

claros), nas regiões dos contornos de grão observa-se a formação perlítica (região escura). A dureza média obtida no material como recebido foi de 128 HBW. De acordo com Santos (2016) o processo de recristalização ao qual o material passou após a laminação não proporcionou uma distribuição uniforme do tamanho de grão, causando uma estrutura heterogênea.

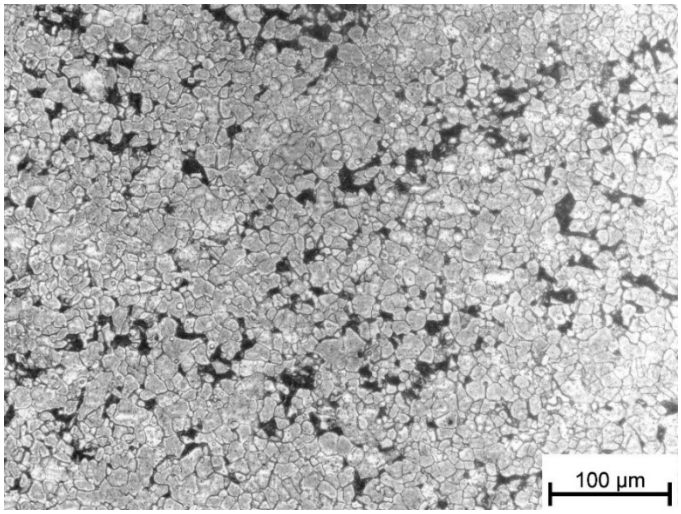

FIGURA 2. Microestruturas do aço USISAC 350 como recebido. 200X. Ataque Nital 2%. Fonte: Autor (2019).

Antes das amostras serem submetidas ao tratamento térmico de precipitação as amostras passaram por recozimento a uma temperatura de 950°C por 1,5h com a finalidade de remover tensões internas, e homogeneizar a microestrutura. A Figura 3 expõe a micrografia da amostra recozida, é possível observar o crescimento dos grãos claros (ferrita) em relação a amostra como recebida. Marques *et al*. (2019) demonstrou que o elevado tempo de recozimento ocasionou o maior tamanho de grão resultante da amostra.

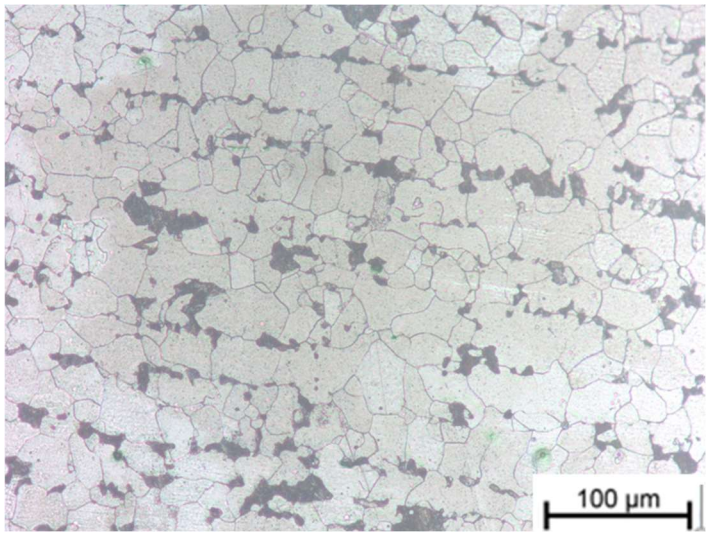

FIGURA 3. Microestruturas do aço USISAC 350 Recozido. 200X. Ataque Nital 2%. Fonte: Autor (2019).

As Figuras 4a e 4b apresentam as microestruturas das amostras que passaram por tempera e envelhecimento a temperatura de 400ºC durante 3h e 6h. A microdureza obtida nas amostras 4 e 5 foram respectivamente 193 e 174HBW. Devido ao baixo teor de carbono a estrutura obtida após o tratamento térmico de tempera e de envelhecimento não apresentou a formação martensítica, em contrapartida é possível observar nas figuras 5a e 5b o aparecimento da microestrutura ferrita de Widmastaten, de característica frágil e dureza elevada, em conformidade com o que Marques et. Al, (2019) demonstrou em sua pesquisa.

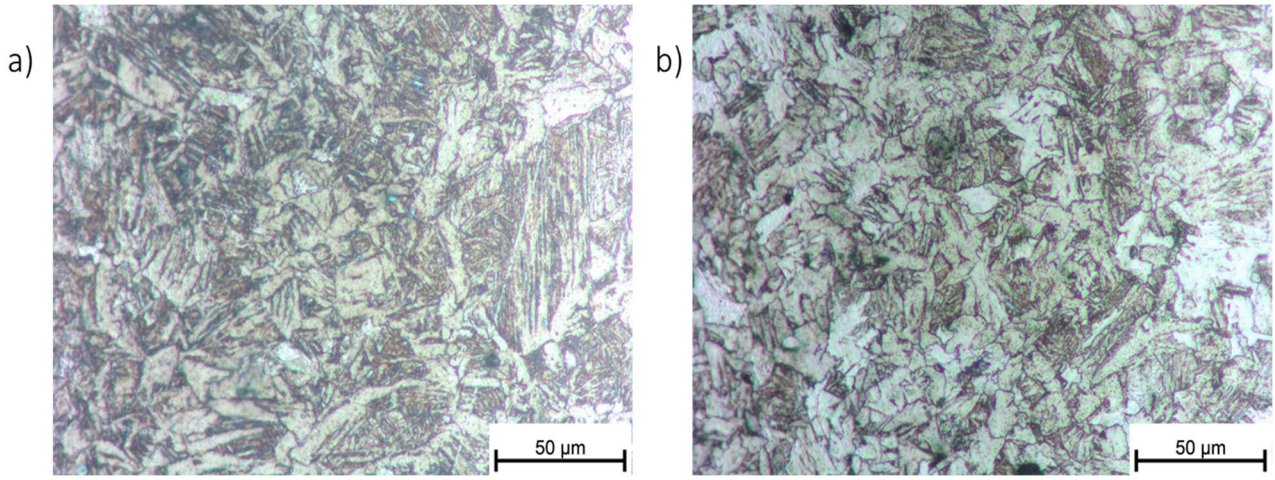

FIGURA 4. a) Microestrutura Amostra 4, b) Microestrutura Amostra 5. 500X. Ataque Nital 2%.
Fonte: Autor (2019).

As amostras 6 e 7 ilustradas através da Figuras 5a e 5b respectivamente, foram envelhecidas a 600°C com tempos de 3h e 6h respectivamente. Para envelhecimento de 3h da amostra 6 é possível observar a nucleação da ferrita acicular na estrutura devido a tempera empregada. A dureza obtida foi de 156 HBW.

Com o tempo prolongado e à alta temperatura empregada no envelhecimento da amostra 7 é possível observar na figura 5b que não houve a formação da estrutura de ferrita acicular. Ocorreu um refino de grão na estrutura devido ao tempo prologado da amostra dentro do forno a alta temperatura ocasionando uma dureza média que foi de 144 HBW.

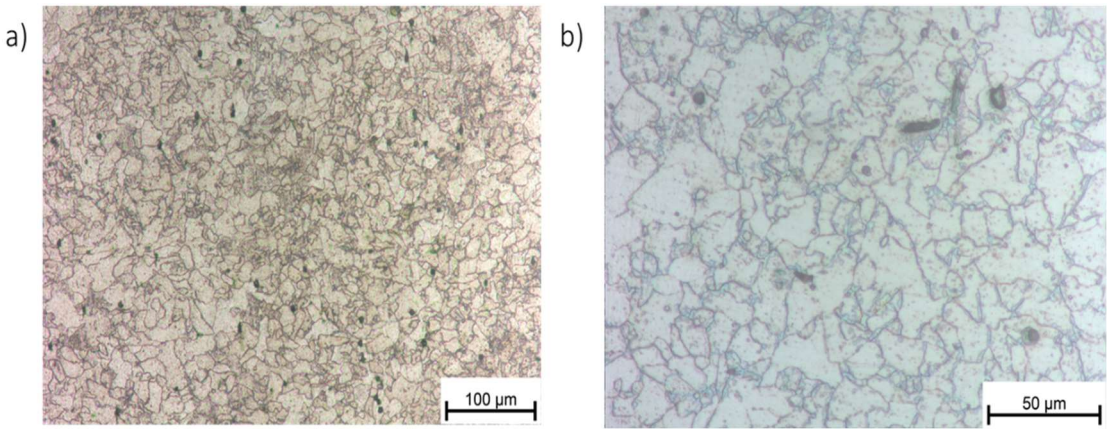

FIGURA 5. a) Microestrutura Amostra 6, b) Microestrutura Amostra 7. 500X. Ataque Nital 2%. Fonte: Autor (2019).

As amostras 8 e 9 foram envelhecidas a 800°C com tempos de 3h e 6h respectivamente. Devido à alta temperatura empregada no envelhecimento é possível observar nas figuras 6a e 6b que não houve a formação da estrutura de ferrita acicular. Ocorreu um refino de grão na estrutura devido ao tempo prologado da amostra dentro do forno a alta temperatura ocasionando uma dureza média que foi de 130 HBW para ambas as amostras.

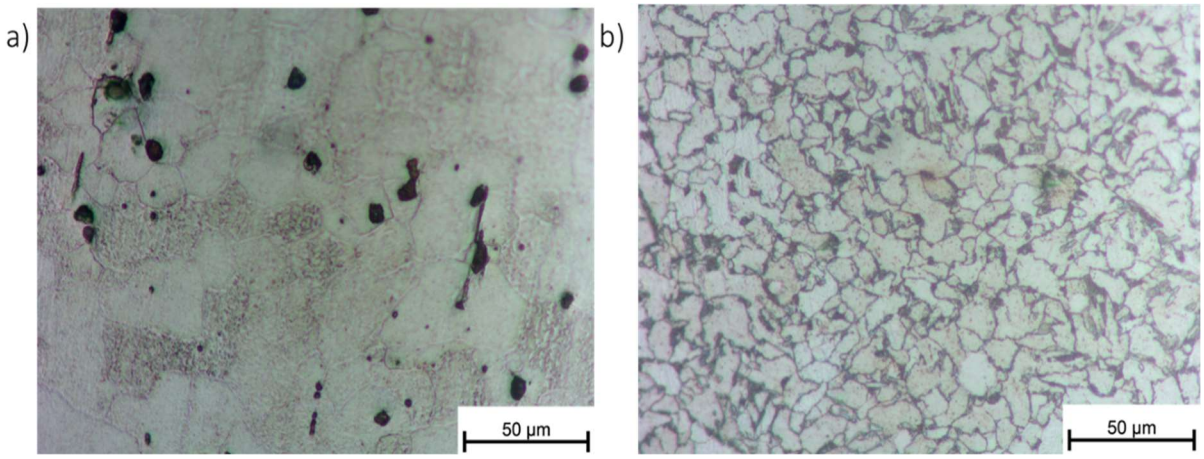

FIGURA 6. a) Microestrutura Amostra 8, b) Microestrutura Amostra 9. 500X. Ataque Nital 2%. Fonte: Autor (2019).

Na tabela 3 estão os valores de dureza média e com seus respectivos desvios do perfil de dureza medido das amostras.

TABELA 3. Valores de microdureza Brinell

Amostra	Dureza média	Desvio padrão
1	128 HBW	1,64
2	111 HBW	2,17
3	160 HBW	3,16
4	193 HBW	2,97
5	174 HBW	4,27
6	156 HBW	3,7
7	144 HBW	2,88
8	130 HBW	1,82
9	130 HBW	3,63

Fonte: Autor (2019).

Segundo Oliveira (2014), existe um tempo e temperatura limite para ganho de dureza, onde mostra que aços ARBL ao ultrapassar a temperatura de 500°C causam perda de coerência nos precipitados de cobre. Assim comparando com Santos (2016), após um tratamento de recozimento e têmpera, para obter um aumento na dureza do material não se deve estender seu tempo ao forno nem aumentar a temperatura de modo a aproximar da zona crítica. Baixas temperaturas em tempos reduzidos são mais úteis para a configuração do aço patinável.

4. CONCLUSÕES

Após o tratamento térmico de recozimento a 950°C por 1,5h, observou-se um decréscimo da dureza do material analisado, e isso é justificado devido ao aumento do tamanho médio dos grãos que resultam em uma menor área de contornos de grãos e facilitam a movimentação das discordâncias.

As amostras 8 e 9 formaram estruturas similares devido à alta temperatura empregada e ao tempo prolongado de envelhecimento, elas apresentaram estrutura equiaxial composta de ferrita e perlita nos contornos de grãos.

Baseado no que foi exposto conclui-se que para um ganho de dureza efetivo do aço USISAC 350, é recomendável o envelhecimento a uma temperatura de 400°C durante 3 horas, devido a formação da estrutura ferrítica Widmanstaten, que possui uma dureza mais elevada em relação a estrutura ferrita e perlita dos aços de baio teor de carbono.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, W. D. J. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada. Rio de janeiro: LTC, 2006.

CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. 7. ed. São Paulo: ABM, 2002.

COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos cumuns. 4ª. ed. São Paulo - SP: Blucher, v. Único, 2008.

MARQUES, L.; LIMA, H.; SOUZA, P. P.; LIMA, E. Influência de diferentes tratamentos térmicos na microestrutura e microdureza do aço naval a 131 grau A, 2019.

OLIVEIRA, Bárbara Ferreira de - EFEITO DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS SOBRE A MICROESTRUTURA E AS PROPRIEDADES DE UM AÇO ARBL MICROLIGADO COM ESTRUTURA BRUTA DE SOLIDIFICAÇÃO – Rio de Janeiro, 2014

PANONI, F. D. História, Comportamento e Usos dos Aços Patináveis na Industria. 59º Congresso Anual da ABM. Rio de Janeiro: ABM. 24 outubro 2004. p. 678 - 689.

SANTOS, D. A.; RIBEIRO, M. R.; QUEIROZ, R. R. U.; FARIA, G. L; 22° CBCIMAT influência da temperatura de trabalho na microestrutura e no comportamento mecânico do aço patinável usisac 350 – Natal, 2016

USIMINAS (Brasil) (org.). CHAPAS GROSSAS. 2015. Disponível em: https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2019/11/CHAPASGROSSAS-PORT.pdf. Acesso em: 15 out. 2020.