

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

BRUNO AUGUSTO ROCHA REZENDE

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE BARRAS DE AÇO CA-50
DESTINADAS À PRODUÇÃO DE CONCRETO ARMADO EM ARACAJU**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

BRUNO AUGUSTO ROCHA REZENDE

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE BARRAS DE AÇO CA-50
DESTINADAS À PRODUÇÃO DE CONCRETO ARMADO EM ARACAJU**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe como pré-requisito
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Dr.^a Carla Cristina N. S. Pereira

ARACAJU

2017

BRUNO AUGUSTO ROCHA REZENDE

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE BARRAS DE AÇO CA-50
DESTINADAS À PRODUÇÃO DE CONCRETO ARMADO EM ARACAJU**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe como pré-requisito
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

MSc. Marcílio Fabiano Goivinho da Silva
Instituto Federal de Sergipe

MSc. Rodolfo Santos da Conceição
Instituto Federal de Sergipe

A Jesus Cristo, nosso redentor;

Aos meus queridos pais, Mário e Gilvânia;

Ao meu querido irmão, Márlon Giovany;

À minha amada noiva, Dara Melina.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por colocar pessoas iluminadas em meu caminho;

Aos meus pais por todo o esforço que despenderam ao longo de minha formação, a fim de me garantir o melhor futuro;

Agradeço à minha amada companheira, Dara Melina, que esteve comigo ao longo dessa jornada, sempre me incentivando e nunca me permitindo desanimar. Te amo.

Aos meus amigos e familiares, colegas, professores, à minha orientadora, enfim, a todos os que de alguma forma torceram por mim...

“O mal não é eterno. Foi essa a grande certeza que estimulou os corações humanos em todas as eras, e é essa certeza que ainda há de se afirmar dentro de nós.”

(Mário Ferreira dos Santos)

RESUMO

Rezende, Bruno Augusto Rocha. **Análise comparativa do desempenho de barras de aço CA-50 destinadas à produção de concreto armado em Aracaju**. 67 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

Desde o início de seus processos de fabricação, o aço tornou-se um imprescindível à humanidade. Durável, flexível, resistente e versátil, esse material alterou o curso da história e ajudou a moldar a nossa civilização. Hoje, sua vasta utilização na construção civil, especialmente na produção de edificações em concreto armado, torna seus processos de fabricação extremamente rigorosos, a fim de que se obtenha o máximo de suas propriedades. O presente trabalho é uma contribuição à indústria da construção civil sergipana, pois apresenta um estudo comparativo entre barras de aço CA-50 destinadas à produção de concreto armado, fabricadas por duas relevantes siderúrgicas, e comercializadas em Aracaju. Neste estudo foram realizados ensaios de caracterização física e de comportamento mecânico, e os dados comparativos foram apresentados em forma de gráficos. Os dados dos ensaios aqui apresentados mostram que, apesar de algumas inconformidades pontuais relacionadas às características físicas, as amostras apresentaram de modo geral um bom desempenho mecânico, atendendo aos requisitos exigidos pela NBR ISO 6892-1.

Palavras-chave: Aço. Desempenho. Construção civil. Aracaju.

ABSTRACT

Rezende, Bruno Augusto Rocha. **Comparative analysis from performance between CA-50 steel bars for the production of reinforced concrete in Aracaju**. 67 pages. Monograph (Bachelor's Degree of Civil Engineering) – Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

From the beginning of its manufacturing processes, steel has become indispensable for humanity. Durable, flexible, strong and versatile, this material has altered the course of history and helped shape our civilization. Today, widely used in civil construction, especially in the production of buildings in reinforced concrete, its manufacturing processes have become extremely rigorous, in order to obtain the maximum of its properties. The present work is a contribution to the Sergipe civil construction industry, because it presents a comparative study of steel bars CA-50, destined to the production of reinforced concrete, manufactured by two relevant steel companies, and commercialized in Aracaju. In this study, physical characterization and mechanical performance tests were performed, and comparative data were presented as graphs. The data of the tests show that, in spite of some non-conformities related to the physical characteristics, the samples presented, in general, a good mechanical performance, meeting the requirements of ISO 6892-1.

Keywords: Steel. Performance. Construction. Aracaju.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 HISTÓRICO DO AÇO	13
3.2 A FABRICAÇÃO DO AÇO	16
3.2.1 Processo de extração do minério de ferro	16
3.2.2 Processo siderúrgico	18
3.3 ESTADO DA ARTE	20
3.3.1 Classificação dos aços estruturais	20
3.3.2 Fatores que afetam as propriedades mecânicas do aço	21
3.3.3 Aços para concreto armado	22
4 METODOLOGIA	26
4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS	27
4.1.1 Verificação dos Defeitos	29
4.1.2 Densidade Linear de Massa e Diâmetro Efetivo	31
4.1.2.1 Procedimento de cálculo da densidade linear de massa (μ)	33
4.1.2.2 Procedimento de cálculo do diâmetro efetivo (ϕ)	34
4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO	34
4.2.1 Procedimento de Cálculo Ensaio de Tração	37
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	39
5.1 DEFEITOS	39
5.1.1 ArcelorMittal	39
5.1.2 Gerdau	40
5.1.3 Comparativo Entre Marcas	41
5.2 DENSIDADE LINEAR DE MASSA	43
5.2.1 ArcelorMittal	43
5.2.2 Gerdau	45
5.2.3 Comparativo Entre Marcas	47
5.3 DIÂMETRO EFETIVO DA SEÇÃO	50
5.3.1 ArcelorMittal	50
5.3.2 Gerdau	51
5.3.3 Comparativo Entre Marcas	53
5.4 ENSAIO DE TRAÇÃO	56

5.4.1 ArcelorMittal.	56
5.4.2 Gerdau.	59
5.4.3 Comparativo Entre Marcas.	62
6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.	65
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio de seus processos de fabricação, o aço tornou-se um material de extrema relevância para o mundo moderno, por conta de suas propriedades físicas e mecânicas. Da forma como se vive hoje, muito se percebe a influência do aço, podendo-se dizer, inclusive, que esse material alterou o curso da história, ajudando a moldar nossa civilização.

Durável, flexível, resistente e versátil, o aço tornou-se imprescindível à humanidade, apresentando-se em diversas formas e especificações, objetivando atender à demanda de variados setores como a indústria automobilística, construção civil, máquinas e equipamentos, eletrodomésticos, utilidades domésticas, etc. De talheres a aviões, o aço possui uma vasta aplicabilidade na produção de bens utilizados em nosso cotidiano. Tamanha versatilidade advém do desenvolvimento dos estudos envolvendo as proporções dos elementos em sua composição química e do tratamento recebido no seu processo produtivo.

Além de suas propriedades, o aço também possui como aspecto positivo o fato de ser obtido a partir do ferro, que é um dos metais mais abundantes na crosta terrestre. Por ser uma liga de ferro e baixo teor de carbono, a abundância do seu principal elemento é fator decisivo na sua larga utilização. Esse conjunto de características elevou o aço ao posto de material mais utilizado no setor industrial.

Na indústria da construção civil, especificamente, o aço é a liga mais utilizada. Destaca-se aqui, para tanto, seu uso desde a produção de minúsculos componentes para instalações elétricas, até a fabricação de elementos estruturais com grandes dimensões. Vale ressaltar, porém, que o seu uso na construção civil está relacionado principalmente às estruturas de concreto armado, onde é largamente utilizado como armadura.

A vasta e crescente utilização do aço como componente em elementos estruturais de concreto armado ao longo do século XX culminou em uma revolução arquitetônica. Aos poucos, foram desaparecendo antigas dificuldades construtivas que impunham limites ao imaginário dos projetistas, como a abertura de grandes vãos, construção de estruturas esbeltas e arranha-céus.

Em decorrência da vertiginosa ascensão na produção de edificações em concreto armado, bem como do empenho em se utilizar o máximo das propriedades de cada material tendo em vista questões econômicas, ou ainda da busca pela inovação e superação de desafios na construção, fatores relacionados à segurança e à durabilidade passaram a ser observados de maneira cada vez mais cuidadosa. Nesse sentido, a indústria do aço para construção civil vem

se aprimorando cada vez mais, a fim de produzir aços que atendam as mais variadas especificações, ainda que lhes sendo exigido o máximo de suas propriedades.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar e descrever, por meio de caracterização física e mecânica, o desempenho de barras de aço destinadas à produção de concreto armado, comercializadas no estado de Sergipe.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, cabe salientar:

- a) Analisar as características superficiais das barras;
- b) Avaliar alguns parâmetros geométricos das amostras;
- c) Comparar o desempenho mecânico entre as duas marcas ensaiadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 HISTÓRICO DO AÇO

A palavra siderurgia tem origem no latim, e seu radical *sider* significa astro ou estrela. Esse significado advém do primeiro contato em que o homem teve com o elemento ferro, onde este encontrava-se sob a forma de meteoritos. “O vestígio mais remoto deste metal é um conjunto de quatro esferas de ferro, datadas de 4000 a.C., encontradas em El-Gezivat, no Egito” (BRAGA, 1998). O uso do ferro passou a tornar-se mais viável e frequente com o desenvolvimento das primeiras técnicas de redução do minério. Evidências arqueológicas indicam que essas técnicas foram desenvolvidas acidentalmente a partir do conhecimento já existente acerca do beneficiamento do minério de cobre, cujo uso já era então bastante difundido. Acredita-se que algumas fogueiras construídas a base de pedras de minério de ferro, promoviam o contato de partículas suficientemente quentes de carbono com partículas de óxido de ferro, dando início ao processo de redução, resultando em uma massa escura, não fundida, mas em contrapartida permitindo a sua deformação plástica através de técnicas de forjamento, produzindo utensílios de diferenciadas propriedades mecânicas. O registro mais antigo de um processo de redução de minério de ferro foi encontrado na parede de uma tumba egípcia, datando de aproximadamente 1500 A.C. (WAKELIN e RICKETTS, 1999). A simplicidade do processo chama a atenção: um simples buraco no solo, contendo minério e um combustível desconhecido, onde a chama era controlada através de foles acionados com o movimento dos pés.

Muitos avanços no desenvolvimento de técnicas de beneficiamento do minério de ferro e na utilização de seus produtos ocorreram ao longo da história, mas acredita-se que a grande difusão da sua utilização ocorreu cerca de 800 anos A.C., quando no Império Hitita, região onde hoje se situa a Turquia, o ferro foi introduzido em utilizações militares em detrimento ao uso do bronze (JÚNIOR, 2002). Após localizarem um grande depósito de minério de ferro, os Hititas desenvolveram técnicas de forjamento, transformando seus armamentos e construindo um verdadeiro império mantido por várias décadas. No século VI A.C., Nabucodonosor fez construir os portões da Babilônia com pilares e vigas cobertas de cobre e reforçadas com estruturas de ferro. Por volta do século V A.C. os chineses, que já haviam inventado a roda, começaram a fabricar o ferro carburado, mais tarde chamado ferro-gusa. Em 221 A.C., o império chinês foi capaz de dominar praticamente todos os reinos circundantes, graças às suas apuradas técnicas de produção de ferro. Estas são provas irrefutáveis de como o uso do ferro tem alterado

a história ao longo dos tempos (ARAÚJO, 1997). Vários processos de obtenção do ferro foram desenvolvidos ao longo do tempo e usados longamente nas distintas regiões, como o forno de redução africano (século VI A.C.), o buraco de redução, usado em vários países do mediterrâneo, o forno de exaustão natural, desenvolvido pelos gregos, entre outros. Estes tipos de fornos foram utilizados ao longo dos séculos e na idade média até o século VIII, quando uma pequena forjaria da Catalunha criou a forja catalã, um conceito que pode ser considerado como um dos maiores avanços na tecnologia de redução de minério de ferro, tendo dominado a produção de ferro até o século XV. A primeira forja catalã tinha uma cúpula feita de pedras, de seção circular, de aproximadamente 1 metro de altura por 0,76 metros de diâmetro conhecida como cuba, com um bocal inferior conectado a um fole para o suprimento de ar aquecido. O minério era alimentado sobre uma camada de carvão, e sobre ele outra camada de carvão era alimentada, em procedimento muito semelhante ao atualmente usado. A forja catalã produzia cerca de 160 kg de ferro em cinco horas, enquanto que as técnicas anteriores produziam neste mesmo intervalo de tempo, no máximo 23 kg. A forja catalã dominou a produção de ferro até o século XV (ARAÚJO, 1997). Estes fornos foram sendo continuamente melhorados, dando origem sempre a novos processos. Os grandes avanços puderam ser sentidos nos aumentos das alturas de chaminé e colunas de carga, provavelmente como consequência de possíveis aumentos de pressão de sopro através da utilização de foles hidráulicos. Estas melhorias deram origem aos fornos *wolf oven*, *blasofen*, *stuckofen*, *blauofen* e finalmente o *flussofen*, considerado como o primeiro alto-forno, que evoluiu gradativamente para o processo que vem dominando o cenário da produção de ferro gusa nos últimos séculos, o moderno alto-forno. A partir da segunda metade do século XV, começa-se a produzir ferro pelo “refino” do ferro-gusa, e com a crescente utilização da força motriz da água, se difundiu o uso de cilindros laminadores e trefilações a fio. No início do século XVIII, o consumo de aço conhece um grande avanço, começando também os problemas ecológicos. Dentro das minas, o trabalho era feito à luz de velas e o minério de ferro era retirado em cestas puxadas por cordas. A partir de 1600, várias leis no Reino Unido foram criadas visando à preservação das florestas, obrigando a retirada de operação de vários altos-fornos. Concomitante a isto, a produção de ferro nas colônias norte americanas fora fortemente apoiada, devido a abundância de madeira e minério de ferro. Segundo Júnior (2002) o primeiro alto-forno construído em 1622 na América do Norte, em Falling Creek, Virginia, nunca chegou a entrar em operação, pois os índios nativos americanos massacraram o chefe de obras John Berkeley e todos os trabalhadores, além de destruírem todo o trabalho realizado. Somente em 1645, um novo alto forno nos Estados Unidos foi construído, e daí efetivamente operado.

A produção de ferro no Brasil teve início assim que chegaram os portugueses. Em 1554, o Padre Anchieta reportava à corte a existência de depósito de minério de ferro e prata no interior da capitania de São Vicente (atual estado de São Paulo). Em 1587, Afonso Sardinha encontrou magnetita na atual região de Sorocaba, em São Paulo, e lá deu início à industrialização de ferro no Brasil. A produção crescia até que, em 5 de janeiro de 1785, D. Maria, rainha de Portugal, proibiu o funcionamento de quaisquer fábricas com essa finalidade na colônia, devido à febre do ouro, que exigia a dedicação exclusiva de todos os recursos ao enriquecimento da Metrópole. Somente após a ascensão de D. João VI ao trono, é que as fábricas seriam novamente permitidas. Mas o grande passo foi dado por força da Carta Régia de 4 de dezembro de 1810. Por ordem de José Bonifácio de Andrada e Silva - o “Patriarca da Independência”, o geólogo e metalurgista Wilhelm von Eschwege, que havendo trabalhado sob as ordens dele na fábrica de Foz D’Alge em Portugal, de 1803 a 1807, chegou ao Brasil em 1810. Eschwege construiu perto de Congonhas do Campo, MG, na “Fábrica de Ferro” de propriedade da Sociedade Patriótica, organizada pelo Conde de Palma, então governador de Minas Gerais, um baixo forno tipo Sueco e obteve aos 17 de dezembro de 1812, a primeira corrida de ferro coado (hoje conhecido como ferro gusa) no Brasil. Em 1905, a menos de uma década do estopim da primeira grande guerra, o Brasil possuía apenas dois altos-fornos, sendo que apenas um funcionava, e produzia cerca de 2100 toneladas anuais de gusa e cerca de 100 forjas, produzindo mais 2000 toneladas de ferro em barras. A título comparativo: no fim do ano passado, a produção brasileira de aço bruto totalizou 30,7 milhões de toneladas, segundo o Instituto Aço Brasil (2016).

Os anos 50 e 60 foram responsáveis por um grande crescimento na produção mundial de aço. Nesse período, a procura por aço aumentava a uma taxa de aproximadamente 6% ao ano, principalmente devido ao crescimento da demanda por bens de consumo em geral, como eletrodomésticos, carros, etc. Para suprir esta demanda, a melhor opção econômica e tecnológica eram os grandes altos fornos, com capacidades de produção da ordem de 4 a 6 milhões de toneladas de ferro gusa líquido por ano, para em seguida proceder a etapa de refino do aço. Estas usinas, conhecidas como integradas, apresentam todas as etapas de produção e de beneficiamento do aço, ou seja, redução do minério, refino do aço e laminação. Ainda hoje as usinas que possuem esse esquema de produção são chamadas de integradas. O processo utilizado para o refino do aço, em 1950, era principalmente os fornos Siemens-Martin, processo desenvolvido por Karl Wilhelm Siemens em 1868. Porém, uma inovação radical aconteceu no início da década de 50, quando a siderúrgica austríaca Voest-Alpine desenvolveu os conversores a oxigênio, também conhecido como conversores LD, nome ligado à primeira

planta que operou com este tipo de equipamento em 1952, a Linz e Donavitz na Áustria. Os conversores a oxigênio, são até hoje técnica e economicamente atraentes para largas escalas de produção. A carga dos fornos LD é basicamente constituída de gusa líquido, complementado por carga sólida (10 a 30%), como sucata ou gusa sólido.

Com o aumento do *market-share* das aciarias a oxigênio, um excedente gradual de sucata foi sendo gerado, tendo em vista que os conversores a oxigênio aceitam menos carga sólida do que os antigos fornos Siemens-Martin, fazendo com que o preço da sucata tivesse quedas significativas. Esta queda de preço da sucata chegou à níveis em que, o custo de refusão se mostrava muito mais atraente do que o custo da redução de minério de ferro via alto-forno. Este fator aliado a uma maior flexibilidade de produção dos fornos elétricos, menores custos de investimento, variáveis ambientais, e mais importante, margens achatadas de lucro, fizeram surgir o conceito das miniusinas. As miniusinas são assim chamadas por não apresentarem a etapa de redução do minério de ferro, fabricando o aço a partir da rota forno elétrico-forno panela. Credita-se o desenvolvimento dos fornos elétricos a Sir Humphrey Davy no ano de 1800, mas é mais apropriado creditar-se este feito a Sir Willian Siemens, que em 1878 patenteou, construiu e operou e fornos de acordo com os princípios de arcos diretos e indiretos. Nesta época, a disponibilidade de energia elétrica era escassa, o custo elevado e a tecnologia dos eletrodos de carbono estava apenas engatinhando. Assim, fornos elétricos acabaram sendo incubados por algumas décadas até que as indústrias de energia, assim como a de eletrodos de carbono, evoluíssem o suficiente. Atualmente, a produção de aço pelas pequenas usinas continua crescendo em relação às aciarias a oxigênio, ainda que em países como o Brasil esta tendência não seja seguida.

3.2 A FABRICAÇÃO DO AÇO.

3.2.1 Processo de extração do minério de ferro.

Inicialmente os minérios de ferro podem ser obtidos na natureza sob a forma de carbonatos (siderita), óxidos (magnetita, hematita, limonita) e sulfetos (pirita) e geralmente têm a presença da sílica como principal impureza. Por meio de diversos processos industriais altamente tecnológicos, o minério é beneficiado para, posteriormente, ser vendido às indústrias siderúrgicas. É no Brasil, mais especificamente em Carajás, no estado do Pará, que está localizada a maior mina de ferro, bem como o maior complexo minerador a céu aberto do

mundo. É a mineradora Vale que controla as operações na mina, que produz anualmente 110 milhões de toneladas de minério de ferro. Para a extração do minério, desde o preparo da mina são utilizados dezenas de equipamentos. Após preparadas e garantidas as condições de extração, toneladas de solo são retiradas, onde metade é minério a ser beneficiado, o restante é material estéril. Após a retirada, os blocos de minério são submetidos à primeira etapa de beneficiamento: são transportados por meio de correias para o britador primário onde são reduzidos a partículas com menos de 20 milímetros. Após a britagem, o minério é encaminhado ao processo de peneiramento, que em Carajás conta com 17 linhas de produção, onde são separados em três tamanhos diferentes:

- a) granulado: material entre 0,6 e 5 cm de diâmetro que pode ser jogado diretamente nos altos fornos;

Figura 3.2.1 - Granulado de ferro.



Fonte: companhia siderúrgica nacional (2016)

- b) sinter-feed: Partículas mais finas que os granulados. Tem até 6,3mm de diâmetro;

Figura 3.2.2 - Sinter-feed

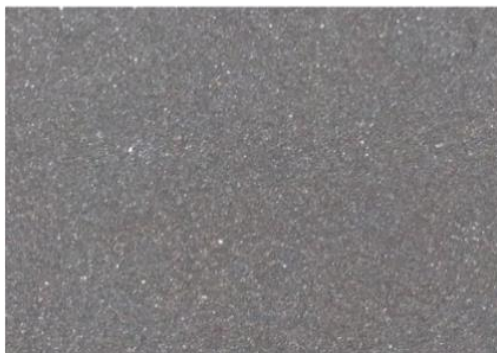


Fonte: companhia siderúrgica nacional (2016)

- c) pellet-feed: Pó de minério de ferro que passa por processo de aglomeração (ou pelletização) para ser transformado em pelotas. Pelotas são minúsculas bolas de minério de ferro usadas na fabricação do aço, mas como antes o minério precisa

passar por um alto-forno que só funciona com a circulação do ar, o material precisa ser grande o suficiente para que haja espaço entre seus pedaços. Além disso, o minério deve ter resistência para não ser esmagado e obstruir o alto-forno. Assim, a produção de pelotas é fundamental para a fabricação do aço.

Figura 3.2.3 - Pellet-feed



Fonte: companhia siderúrgica nacional (2016)

Figura 3.2.4 - Pelotas de ferro



Fonte: VALE (2017)

Depois de processado, o minério segue por correias para ser estocado. Nessa etapa termina o processo de beneficiamento do minério de ferro e o produto é transportado, geralmente no modal ferroviário, até a usina siderúrgica, onde se dará o início do processo produtivo do aço.

3.2.2 Processo siderúrgico.

O aço é uma liga ferro-carbono contendo geralmente de 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes de seu processo de fabricação (CHIAVERINI, 1996). Assim como o ferro, que pode ser encontrado em toda a crosta terrestre, o carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas. Na siderurgia, usa-se carvão mineral, e em alguns casos, o carvão vegetal.

O carvão exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1.500° Celsius) necessárias à fusão do minério. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. O processo de remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono chama-se redução e ocorre dentro de um equipamento chamado alto forno.

Antes de serem levados ao alto forno, o minério e o carvão são previamente preparados para melhoria do rendimento e economia do processo. No caso do minério, este passa pelo processo de pelotização ou pela sinterização, sendo ambos processos de aglomeração. A sinterização de finos é o processo no qual a utilização de calor permite transformar uma massa de granulometria fina em carga com padrão granulométrico mais adequado para a destinação posterior. O material sinterizado é mais poroso, o que garante melhor percolação pelos gases no alto forno, entretanto, apresenta menor resistência mecânica, por ser menos denso do que o minério compacto. A pelotização, como já dito neste trabalho, é um processo destinado ao “pellet-feed”, pois permite o aproveitamento das massas de granulometria mais fina aglutinando-lhes os grãos e moldando-lhes em forma de pequenas bolas de minério, com o propósito de facilitar a circulação de ar entre os grãos durante o processo de redução no alto-forno. Já o carvão, por sua vez, é destilado para obtenção do coque, num processo chamado coqueria, a fim de retirar impurezas indesejadas na etapa de redução, e dele se obtendo ainda subprodutos carboquímicos.

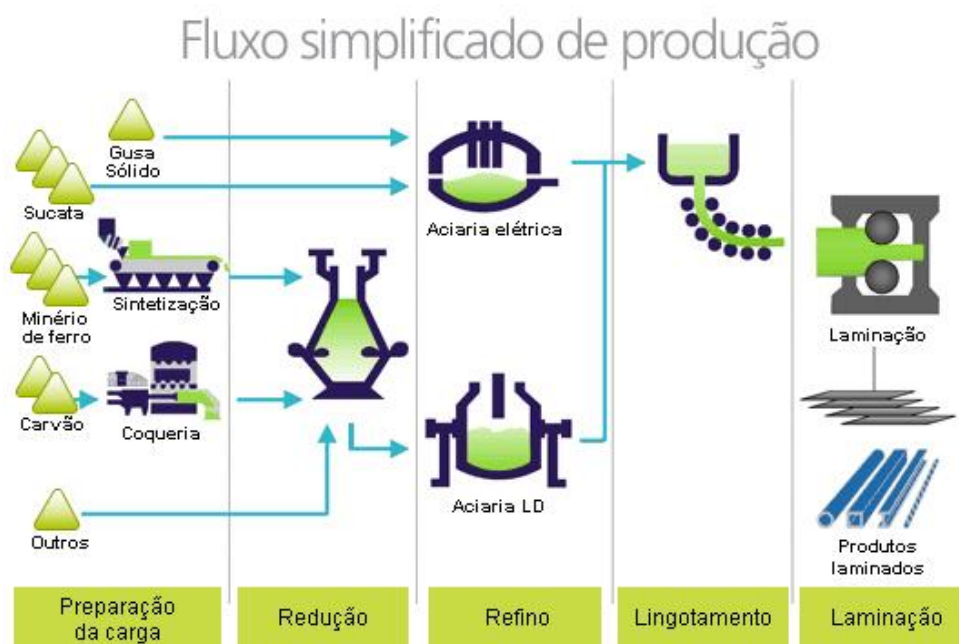
No processo de redução, o minério de ferro e o carvão são submetidos a elevadas temperaturas no alto-forno. Com esse processo o ferro ocorre a redução do óxido de ferro, que se liquefaz. Essa reação que gera dois produtos: O ferro gusa (ou ferro de primeira fusão), e a escória de alto-forno, que é o aglutinado das impurezas (calcário, sílica, etc.) provenientes da redução. A escória de alto forno possui valor comercial, visto que pode ser utilizada como adição para cimento, devido às suas propriedades pozolânicas.

A etapa seguinte do processo é o refino. O ferro gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, mediante queima de impurezas e adições. O refino do aço se faz em fornos a oxigênio ou elétricos.

Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação. O aço, em processo de solidificação, é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras etc.

Com a evolução da tecnologia, as fases de redução, refino e laminação estão sendo reduzidas no tempo, assegurando maior velocidade na produção.

Figura 3.2.5 – Fluxo simplificado de produção do aço



Fonte: Instituto Aço Brasil (2017)

3.3 ESTADO DA ARTE

3.3.1 Classificação dos aços estruturais.

Tradicionalmente, o ferro e o aço são classificados quanto ao seu teor de carbono. Existem diversas classificações quanto ao teor de carbono, cada uma com seu grau de especificidade e apresentando pequenas diferenças nos limites dos intervalos. Bauer (2009), por exemplo, divide a classificação do ferro em três tipos: aço doce, quando o material possui em sua composição menos de 0,2% de carbono; aço ao carbono, quando esse teor se situa entre 0,2 e 1,7%; e ferro fundido, quando esse teor fica entre 1,7 e 6,7%. Porém, os modelos de classificação que se restringem somente à divisão pelo teor de carbono têm se tornado obsoletos, pois não levam em consideração as possíveis adições de outros elementos de liga, visto que estes também são responsáveis, muitas vezes, pelas notórias propriedades do aço, a depender da destinação. Por esse motivo, a classificação adotada neste trabalho é a proposta por Ambrozewicz (2012), que mais se aproxima da NBR 6215 – produtos siderúrgicos. Ambrozewicz (2012) divide os aços em dois grandes grupos, que distinguem os aços carbono comuns dos aços ligados. O grupo dos aços-carbono divide-se em três subgrupos, que serão limitados e diferenciados pelo teor de carbono existente em cada um deles. Já no grupo dos aços-liga, a o critério para divisão dos

subgrupos é o teor de elementos residuais de liga existentes. Assim se dá a classificação dos aços estruturais:

- a) aço-carbono são ligas de Ferro-Carbono que contém geralmente de 0,008% até 2,11% de carbono, além de certos elementos de liga, em teores residuais máximos admissíveis, resultantes dos processos de fabricação como: níquel, cromo, alumínio, cobre, silício e manganês:
 - aços de baixo teor de carbono, abaixo de 0,3%, são aços que possuem grande ductilidade, bons para o trabalho mecânico e soldagem (construção de pontes, edifícios, navios, caldeiras e peças de grandes dimensões em geral). Estes aços são temperáveis;
 - aços de médio carbono, com teores entre 0,3 e 0,7%, são aços utilizados em engrenagens, bielas etc. São aços que, temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência;
 - aços de alto teor de carbono, com teores acima de 0,7%, são aços de elevada dureza e resistência após a têmpera e são comumente utilizados em molas, engrenagens, ferramentas, etc.
- b) aço-liga são os aços carbono que contêm outros elementos de liga, ou apresenta os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais. Podem ser classificados como:
 - aços de baixo teor de ligas, com elementos de liga abaixo de 8%;
 - aços de alto teor de ligas, contendo acima de 8% de elementos de liga.

3.3.2 Fatores que afetam as propriedades mecânicas do aço.

São inúmeros fatores que interferem nas propriedades mecânicas do aço, entre os quais pode-se destacar a geometria, o histórico termomecânico do material em conjunto com seu estado de tensões, a velocidade de deformação da estrutura, e a composição química, sendo este último principal fator na determinação das propriedades do aço.

Nos aços carbono comuns, os elementos carbono e manganês têm influência no controle da resistência, ductilidade e soldabilidade. A maior parte dos aços carbonos estruturais tem mais de 98% de Ferro, de 0,2 a 1% de Carbono e aproximadamente 1% de Manganês (em peso). O Carbono garante a dureza e a resistência, porém influencia negativamente na ductilidade e na soldabilidade. Por esse motivo, visando a obtenção do máximo em propriedades de uma liga com baixo teor de carbono, são utilizados outros elementos de liga, a fim de incrementar

algumas propriedades do aço. Assim, pequenas quantidades de outros elementos de liga são utilizadas na melhoria das propriedades do aço, obtendo o máximo em propriedades de uma liga contendo um baixo teor de Carbono (AMBROZEWICZ, 2012).

Entre os elementos de liga que utilizados na produção do aço, podemos destacar o silício, enxofre, fósforo, manganês, cromo, níquel e nitrogênio. O silício torna o aço mais macio, com grande elasticidade e quase sem perda de resistência. O nitrogênio por sua vez, aumenta a dureza do aço, em contrapartida o torna muito frágil. O enxofre e o fósforo utilizados separadamente possuem características prejudiciais ao aço, porém quando utilizados em conjunto e em proporções adequadas tornam o aço mais fácil de trabalhar, diminuindo o desgaste superficial e tornando a superfície mais polida. O manganês, segundo Ambrozewicz (2012), quando utilizado em proporção de 0,25 a 1%, aumenta a resistência aos esforços e ao desgaste e a capacidade de recozimento, em compensação não permite que o aço seja encruado a frio. O cromo, na proporção de 2 a 3%, dá grande dureza, resistência à ruptura e à oxidação. O níquel, por sua vez pode garantir propriedades inversas, a depender da proporção em que for aplicado: com menos de 7% dá grande elasticidade e resistência ao choque e à flexão, de 7 a 15% torna o aço muito quebradiço e sua aplicação nessa faixa de proporção não é recomendada, já com mais de 15% torna o aço inoxidável.

De modo geral, para que se obtenha o máximo possível de resistência mecânica, deve-se abrir mão de parte da ductilidade. Como normalmente o material já possui uma certa ductilidade acima do esperado, pode-se renunciar a tal incremento em troca do ganho de resistência. O fundamental é que a ductilidade adequada seja exibida na estrutura final, fabricada. Isto é função do material, do projeto, dos procedimentos utilizados na fabricação e das condições de serviço.

3.3.3 Aços para concreto armado.

Os aços estruturais para concreto armado fabricados no Brasil podem ser classificados em três grupos principais:

- a) aços de dureza natural, laminados a quente: São os denominados “comuns”, CA-25 (limite de escoamento de 25 kgf/mm²), CA-32, CA-40, CA-50 e CA-60, sendo os dois últimos quase os únicos fabricados atualmente. Os aços laminados a quente não sofrem tratamento algum após a laminação. Suas características elásticas são alcançadas unicamente pela composição química adequada com ligas de C, Mn, Si e Cr. Em geral, são caracterizados pela exigência de um patamar de escoamento do diagrama tensão-

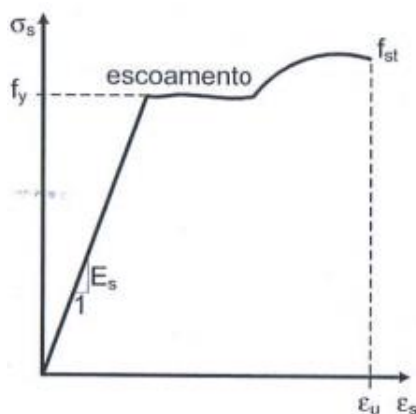
deformação e grandes deformações de ruptura, no ensaio de tração. Como são laminados a quente, não perdem suas propriedades, se aquecidos. Por isso, podem ser soldados e não sofrem demasiadamente com a exposição a chamas moderadas em casos de incêndio.

- b) aços encruados a frio – Encruamento é o tratamento a frio em que o metal é submetido a esforços que tendem a deformá-lo, rompendo-se o filme intercrystalino e os grãos tendem a se orientar no sentido da deformação. A resistência à tração e a dureza aumentam mas diminuem a flexibilidade, a resistência à corrosão e o alongamento. Se o metal for aquecido, cerca de 40% da temperatura de fusão, o encruamento tende a desaparecer e os cristais vão se reagrupar (AMBROZEWICZ, 2012). Geralmente os aços encruados a frio tratam-se originalmente de aços de dureza natural, mas que vieram a passar por algum processo para se conseguir ganho de resistência. Os processos mais utilizados são os de tração e de torção. Os aços encruados por tração são os aços trefilados. No processo de trefilação, há uma compressão diametral do fio durante sua passagem pela fieira a uma tração elevada, ambas respondendo pela mudança da textura do aço e pelo aumento de sua resistência. Esse aumento é conseguido à custa de grande perda de tenacidade. O alongamento de ruptura diminui de 20 para 6 a 8%. Já para os aços encruados por torção é importante que se garanta um valor mínimo de alongamento de ruptura.
- c) aços “patenting”, que são tipos especiais de aço cuja utilização é voltada principalmente para concretos protendidos.

Uma barra metálica submetida a um esforço crescente de tração sofre uma deformação progressiva de extensão. A relação entre a tensão aplicada e a deformação linear específica de alguns aços estruturais pode ser vista nos diagramas tensão-deformação.

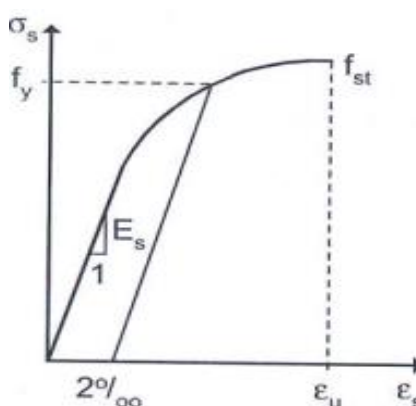
Araújo (2010) afirma que a forma do diagrama tensão-deformação dos aços, obtido em ensaio de tração simples, é influenciada pelo processo de fabricação. Ele afirma ainda que as barras obtidas exclusivamente por laminação a quente, apresentam uma curva tensão-deformação com patamar de escoamento bem definido, conforme a figura 3.1. Enquanto que os fios encruados, obtidos por trefilação, apresentam uma curva na forma da figura 3.2, ou seja, sem apresentar um patamar de escoamento bem definido.

Figura 3.1 – Diagrama tensão-deformação dos aços com patamar de escoamento



Fonte: Araújo (2010)

Figura 3.2 – Diagrama tensão-deformação dos aços sem patamar de escoamento



Fonte: Araújo (2010)

Até certo nível de tensão aplicada, o aço trabalha no regime elástico-linear, ou seja, segue a lei de Hooke e a deformação linear específica é proporcional ao esforço aplicado. A proporcionalidade pode ser observada no trecho retilíneo do diagrama tensão-deformação e a constante de proporcionalidade é denominada módulo de deformação longitudinal ou módulo de elasticidade. Ultrapassado o limite de proporcionalidade, tem lugar a fase plástica, na qual ocorrem deformações crescentes sem variação de tensão (patamar de escoamento). O valor constante dessa tensão é a mais importante característica dos aços estruturais e é denominada resistência ao escoamento.

Após o escoamento, a estrutura interna do aço se rearranja e o material passa pelo encruamento, em que se verifica novamente a variação de tensão com a deformação específica, porém, de forma não linear.

O valor máximo da tensão antes da ruptura é denominado resistência à ruptura do material. A resistência à ruptura do material é calculada dividindo-se o valor da carga máxima que ele suporta, antes da ruptura, pela área da seção transversal inicial do corpo de prova.

Observa-se que a resistência à ruptura é calculada em relação à área inicial, apesar de o material sofrer uma redução de área quando solicitado à tração. Embora a tensão verdadeira deva ser calculada considerando-se a área real, a tensão tal como foi definida anteriormente é mais importante para o engenheiro, pois os projetos são feitos com base nas dimensões iniciais.

Uma peça de aço, sob efeito de tensões de tração ou de compressão, sofre deformações, que podem ser elásticas ou plásticas. Tal comportamento deve-se à natureza cristalina dos metais, pela presença de planos de escorregamento ou de menor resistência mecânica no interior do reticulado.

Elasticidade de um material é a sua capacidade de voltar à forma original em ciclo de carregamento e descarregamento. A deformação elástica é reversível, ou seja, desaparece quando a tensão é removida. A deformação elástica é consequência da movimentação dos átomos constituintes da rede cristalina do material, desde que a posição relativa desses átomos seja mantida. A relação entre os valores da tensão e da deformação linear específica, na fase elástica, é o módulo de elasticidade, cujo valor é proporcional às forças de atração entre os átomos. Nos aços, o módulo de elasticidade vale aproximadamente 20.500 kN/cm^2 (AMBROZEWICZ, 2012).

Deformação plástica é a deformação permanente provocada por tensão igual ou superior à resistência associada ao limite de proporcionalidade. É resultado de um deslocamento permanente dos átomos que constituem o material, diferindo, portanto, da deformação elástica, em que os átomos mantêm as suas posições relativas. A deformação plástica altera a estrutura interna do metal, tornando mais difícil o escorregamento ulterior e aumentando a dureza do metal. Esse aumento na dureza por deformação plástica, quando a deformação supera a deformação sofrida durante o escoamento, é denominado endurecimento por deformação a frio ou encruamento e é acompanhado de elevação do valor da resistência e redução da ductilidade do metal.

Ductilidade é a capacidade dos materiais de se deformar sem se romper. Pode ser medida por meio do alongamento ou da estricção, ou seja, a redução na área da seção transversal do corpo de prova. Quanto mais dúctil o aço, maior será a redução de área ou o alongamento antes da ruptura. A ductilidade tem grande importância, pois permite a redistribuição de tensões locais elevadas. As barras de aço sofrem grandes deformações antes de se romper, o que na prática constitui um aviso da presença de tensões elevadas.

4 METODOLOGIA

Para cumprimento do objetivo deste trabalho, foram realizados ensaios de caracterização física, cujos procedimentos baseiam-se na NBR 7480 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado, e de caracterização mecânica, cujo procedimento baseia-se na NBR ISO 6892-1 – Método de ensaio de tração de materiais metálicos à temperatura ambiente.

As amostras utilizadas neste trabalho são barras de aço (vergalhões) CA-50 destinados à produção de concreto armado, fabricadas pelas siderúrgicas ArcelorMittal e Gerdau, e adquiridas diretamente nas respectivas distribuidoras. Todas as amostras ensaiadas são especificadas pelos fabricantes como soldáveis e suas referências são ArcelorMittal 50S e GG 50 (Gerdau) gravadas em alto-relevo na superfície das barras, conforme figuras 4.1 e 4.2, foram utilizadas neste trabalho doze amostras de 10, 12 e 16mm de diâmetro nominal de cada marca, totalizando 72 corpos-de-prova.

Figura 4.1 – Amostras de aço CA-50 da marca ArcelorMittal



Fonte: O autor (2017)

Figura 4.2 – Amostras de aço CA-50 da marca Gerdau



Fonte: O autor (2017)

A fim de facilitar e organizar os procedimentos de ensaio, as amostras utilizadas neste trabalho foram agrupadas de acordo com sua marca e diâmetro nominal, totalizando 6 grupos de amostras.

Os ensaios citados neste trabalho foram realizados no laboratório de materiais de construção do Instituto Federal de Sergipe, sob a supervisão da Dr^a. Carla Cristina Nascimento Santos Pereira e de pelo menos um laboratorista, e seguiram as normas de utilização do laboratório bem como as normas de segurança pertinentes à atividade.

4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS.

Estes ensaios baseiam-se na NBR 7480 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado, que elenca em seu item 4.3 os defeitos dos quais as amostras devem estar isentas, que orienta no item 4.4 o procedimento de cálculo para obtenção da densidade linear de massa, e que na tabela anexa B.1 fornece dados de referência de características das barras de aço. A partir desses itens, foi possível relacionar as inconformidades visuais presentes nas amostras, além de calcular a densidade linear de massa, a área específica e o diâmetro efetivo das amostras.

Para a realização dos ensaios de caracterização das propriedades físicas, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- a) 72 amostras de vergalhões de aço CA-50 das marcas ArcelorMittal e Gerdau, de diâmetro 10, 12 e 16mm;
- b) etiquetas adesivas de papel;
- c) luvas grossas de tecido;
- d) lupa de mão da marca Magnifier e modelo 13100;
- e) escova com cerdas de aço;
- f) trena metálica da marca Profield, de 10 metros;
- g) balança digital Kern, modelo DE60K1D, com precisão de 0,5g.

Figura 4.3 – Luvas de tecido grosso



Fonte: O autor (2017)

Figura 4.4 – Escova com cerdas de aço, lupa de mão e trena metálica



Fonte: O autor (2017)

Figura 4.5 - Balança digital Kern modelo DE60K1D com precisão de 0,5g



Fonte: O autor (2017)

4.1.1 Verificação dos Defeitos

Inicialmente, foi selecionado um grupo contendo 12 amostras de uma mesma marca, de mesmo diâmetro nominal e com 90cm de comprimento nominal. As amostras foram devidamente identificadas com etiquetas de papel enumeradas de 1 a 12. Posteriormente foi realizada a limpeza das barras com luva de tecido grosseiro. A partir de então, procedeu-se com a inspeção visual das amostras a olho nu, a fim de verificar a ocorrência de esfoliação (escamas), manchas de óleo (Figura 4.6), redução de seção, fissuras transversais e corrosão (em acordo com o que exige o item 4.3 da NBR 7480).

Figura 4.6 – Exemplo de manchas de óleo em barra de aço



Fonte: O autor (2017)

A saber, foi considerado como esfoliação (escamas) o defeito superficial com aspecto de lascas finas de metal (de forma e dimensões variadas) presas à barra ou ausentes na sua conformação superficial (Figura 4.7).

Figura 4.7 – Exemplo formação de escama em barra de aço



Fonte: O autor (2017)

Em sendo verificados quaisquer dos defeitos, foi realizada nova verificação com o auxílio de lupa de mão visando comprovar a inconformidade. Nos casos em que foi constatada oxidação superficial (Figura 4.8), procedeu-se à sua remoção com auxílio de uma luva de tecido grosseiro e uma escova com cerdas de aço. Após a escarificação e limpeza da barra, nova inspeção fora realizada, desta vez utilizando a lupa de mão (Figura 4.9), a fim de verificar evidências de pites de corrosão ou comprometimento da seção geométrica.

Figura 4.8 – Exemplo de amostras de vergalhões oxidados superficialmente



Fonte: O autor (2017)

Figura 4.9 – Verificação da presença de pites de corrosão por meio de lupa de mão



Fonte: O autor (2017)

Em uma tabela qualitativa, foram relacionados os defeitos citados pelo item 4.3 da norma, além do item “oxidação superficial” acrescentado pelo autor. Esse procedimento foi repetido com todos os grupos de amostras. Os dados coletados a partir desta verificação foram organizados em planilhas, a partir das quais posteriormente foram gerados gráficos de barras, a fim de facilitar a visualização e a comparação dos resultados.

4.1.2 Densidade Linear de Massa e Diâmetro Efetivo

A densidade linear de massa (μ), expressa em kg/m, é o valor que representa a massa por unidade de comprimento do fio ou da barra de diâmetro nominal específico, expresso em quilogramas por metro. A NBR 7480 traz em seu anexo B.1 (Figura 4.10) uma tabela onde podem ser encontrados os valores de referência de densidade linear de massa para vergalhões de diversos diâmetros, bem como a máxima variação percentual tolerável para valores díspares. Ou seja, existe uma previsão normativa que recepciona valores diferentes da densidade linear de massa nominal, desde que estejam entre os limites de tolerância.

Figura 4.10- Tabela B.1 da NBR 7480

Tabela B.1 — Características das barras

Diâmetro nominal ^a mm	Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais	
Barras	Massa nominal ^b kg/m	Máxima variação permitida para massa nominal	Área da seção mm ²	Perímetro mm
6,3	0,245	± 7%	31,2	19,8
8,0	0,395	± 7%	50,3	25,1
10,0	0,617	± 6%	78,5	31,4
12,5	0,963	± 6%	122,7	39,3
16,0	1,578	± 5%	201,1	50,3
20,0	2,466	± 5%	314,2	62,8
22,0	2,984	± 4%	380,1	69,1
25,0	3,853	± 4%	490,9	78,5
32,0	6,313	± 4%	804,2	100,5
40,0	9,865	± 4%	1256,6	125,7

^a Outros diâmetros nominais podem ser fornecidos a pedido do comprador, mantendo-se as faixas de tolerância do diâmetro mais próximo.

^b A densidade linear de massa (em quilogramas por metro) é obtida pelo produto da área da seção nominal em metros quadrados por 7 850 kg/m³.

Fonte: NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado, 2007).

Nota: Na imagem acima foram realizadas marcações de três categorias, referentes aos diâmetros das amostras analisadas neste trabalho. Essa marcação não faz parte do documento original.

Inicialmente, foi selecionado um grupo de amostras já devidamente limpas e identificadas e procedeu-se à medição do comprimento dos corpos-de-prova com trena metálica (Figura 4.11). Em seguida foi realizada a pesagem dos corpos-de-prova por meio da balança digital (figura 4.12) e a digitalização dos dados obtidos. Posteriormente foram realizados os cálculos pertinentes e obtidos os resultados do grupo. O procedimento foi repetido com todos os grupos de amostras.

Figura 4.11 – Medição do comprimento do corpo de prova



Fonte: O autor (2017)

Figura 4.12 – Pesagem do corpo de prova



Fonte: O autor (2017)

4.1.2.1 Procedimento de cálculo da densidade linear de massa (μ)

A densidade linear de massa (aqui expressa pela letra grega “ μ ”), segundo a NBR 7480, é o valor que representa a massa por unidade de comprimento do fio ou da barra de diâmetro nominal específico, expresso em quilogramas por metro. Ou seja, essa relação será obtida a partir da divisão da massa (m) em quilogramas pelo comprimento inicial da amostra (l_0) em metros. De forma que:

$$\mu = \frac{m}{l_0} \quad (\text{Equação 4.1})$$

4.1.2.2 Procedimento de cálculo do diâmetro efetivo (φ)

Segundo o item 4.4 da NBR 7480, para efeito de cálculo, a massa linear nominal (μ_n) da barra ou fio é obtida pelo produto da área da seção nominal (a_n) em metros quadrados por 7850 kg/m^3 , valor que corresponde à densidade do aço. Sendo assim, matematicamente, pode-se inferir que a área efetiva da seção (a_{ef}), expressa em milímetros quadrados, pode ser calculada a partir da divisão entre a densidade linear de massa (μ) e a densidade do aço (ρ), multiplicada por 10^6 (fator de conversão). Desta forma, pôde-se obter a equação da área efetiva da seção:

$$a = \frac{\mu}{\rho} 10^6 \quad (\text{Equação 4.2})$$

Segundo a NBR 7480, o diâmetro nominal (φ_n) é o valor que representa o diâmetro da seção transversal típica do fio ou da barra e expresso em milímetros, ou seja, é o diâmetro comercial informado pelo fabricante. Porém, a partir da área efetiva (a_{ef}) expressa em milímetros quadrados, foi possível obter o valor do diâmetro efetivo (φ), ou seja, o diâmetro equivalente expresso em milímetros, que pode ou não ser igual ao diâmetro informado pelo fabricante. Nesse caso, por se tratarem de barras com seção transversal circular, pôde-se obter o diâmetro efetivo (φ) a partir da fórmula:

$$\varphi = \sqrt{\frac{4a}{\pi}} \quad (\text{Equação 4.3})$$

4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

Este ensaio baseou-se na NBR ISO 6892-1, que define métodos de ensaio de tração de materiais metálicos à temperatura ambiente. Na realização deste ensaio, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

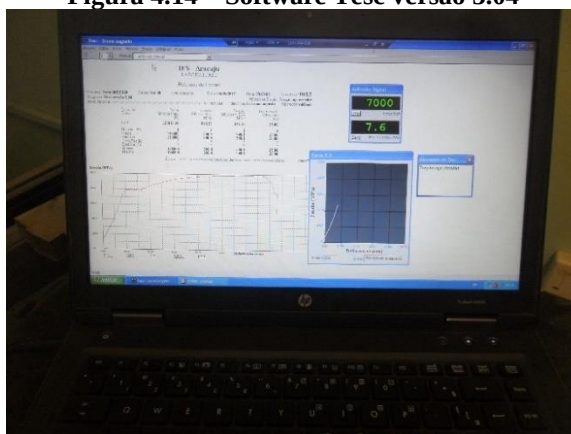
- a) 6 amostras de cada grupo, devidamente identificadas;
- b) marcador à base de álcool;
- c) trena metálica Profiield 10 metros;
- d) escalímetro;
- e) trena metálica Profiield 10 metros;
- f) máquina universal para ensaios mecânicos de tração, compressão, flexão, etc; modelo Emic MUE 100;
- g) software Tesc versão 3.04.

Figura 4.13 – Máquina Universal Emic MUE 100



Fonte: O autor (2017)

Figura 4.14 – Software Tesc versão 3.04



Fonte: O autor (2017)

Inicialmente foram escolhidas 6 amostras de cada grupo, dando preferência àquelas cujo número de identificação é par. Então procedeu-se à marcação das amostras com caneta à base de álcool, onde cada amostra teve sua superfície levemente pintada a cada intervalo de 10 centímetros (comprimento de medida inicial “ l_0 ”) de seu comprimento, medidos desde uma de suas extremidades com auxílio de uma trena metálica, conforme item 3.1.1 da norma.

Posteriormente foi estabelecido o ponto de força zero do equipamento de tração EMIC, garantindo que o peso do sistema de fixação fosse compensado na medição da força e que

qualquer força resultante da operação de fixação não afetasse a medição. Em seguida, procedeu-se à montagem do corpo de prova na máquina de ensaio, a qual possui garras de fixação que garantem o alinhamento da barra e o não surgimento de forças que atrapalhem a medição (Figura 4.15). Após a montagem do corpo de prova, a máquina foi ligada, dando início ao processo de tração bem como ao de geração de dados e da curva tensão-deformação pelo software TESC. Tão logo ocorreu a ruptura do corpo de prova, o equipamento foi desligado imediatamente e a geração da curva foi automaticamente finalizada.

Figura 4.15 – Corpo de prova devidamente fixado



Fonte: O autor (2017)

Após a estabilização da temperatura do corpo de prova (a tração e ruptura causam ligeiro aumento da temperatura nas barras de aço), as partes rompidas foram levadas à bancada e cuidadosamente ajustadas pelo ponto de ruptura e com eixos alinhados. Em seguida, com o auxílio de um escalímetro, foi realizada a medição do comprimento entre a marcação imediatamente anterior ao ponto de ruptura até a marcação imediatamente posterior, a fim de se obter o comprimento de medida final (l_u). O procedimento foi repetido com as amostras selecionadas dos demais grupos.

Figura 4.16 – Barra de 10mm rompida



Fonte: O autor (2017)

Figura 4.17 – Corpo de prova com os eixos alinhados para medição



Fonte: O autor (2017)

4.2.1 Procedimento de Cálculo Ensaio de Tração.

Após o ensaio de tração simples, o software Tesc fornece os seguintes dados:

- a) a força máxima ($F_{\max}$) suportada pelo corpo durante o ensaio após o início do encruamento;
- b) a tensão máxima nominal ($\sigma_{\max,n}$), valor obtido pela divisão da força máxima ($F_{\max}$) pela área nominal da seção (a_n);
- c) tensão nominal de escoamento ($\sigma_{e,n}$), cujo valor também é calculado com base no diâmetro nominal da amostra;

A partir da força máxima foi possível calcular a tensão máxima efetiva ($\sigma_{\max,ef}$) suportada pela amostra. Considerando que:

$$\sigma_{\max,n} = \frac{F_{\max}}{a_n}, \quad (\text{Equação 4.4})$$

Ao substituir o valor de “ a_n ” pela área efetiva da seção da amostra (a_{ef}), obtida em ensaio de caracterização física, obteve-se o valor da tensão máxima efetiva ($\sigma_{\max,ef}$), na forma:

$$\sigma_{\max,ef} = \frac{F_{\max}}{a_{ef}}. \quad (\text{Equação 4.5})$$

A partir do valor de $\sigma_{e,n}$, foi possível calcular a tensão de escoamento efetiva ($\sigma_{e,ef}$), pois considerando que o valor da tensão nominal de escoamento de cada amostra fornecida pelo software foi obtido tomando como base o valor de uma força (F_e), este pode ser obtido isolando-se o valor dessa força de escoamento na equação:

$$F_e = \sigma_{e,n} \times a_n \quad (\text{Equação 4.6})$$

A partir do valor da força de escoamento, que não havia sido fornecido pelo software, foi calculada a tensão de escoamento efetiva ($\sigma_{e,ef}$), na forma:

$$\sigma_{e,ef} = \frac{F_e}{a_n} \quad (\text{Equação 4.7})$$

O alongamento percentual após a ruptura (ε) foi calculado pela equação:

$$\varepsilon = \frac{l_u - l_0}{l_0} \times 100 \quad (\text{Equação 4.8})$$

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da exposição em tabelas e da geração de gráficos dos dados obtidos nos ensaios, foram realizadas as análises dos resultados deste trabalho. A fim de facilitar a identificação dos corpos de prova utilizados em cada ensaio, foram utilizadas nos gráficos referências com símbolos, as quais contêm a identificação da marca do vergalhão utilizado o diâmetro comercial da amostra e a identificação do número da amostra. A letra inicial maiúscula identifica a marca da amostra, onde a letra “B” representa a marca ArcelorMittal (linha Belgo) e a letra “G” representa a marca Gerdau. Os numerais entre a letra inicial e o traço identificam o diâmetro comercial da seção da amostra, sendo “10”, “12.5”, e “16” símbolos que representam os diâmetros comerciais de “10.0 mm”, “12.5 mm”, e “16.0 mm”, respectivamente. Por fim, os numerais escritos à direita do traço identificam a amostra no grupo, a fim de verificar a diferença de desempenho entre as amostras de um mesmo grupo. Por exemplo, a referência “B12.5-10” identifica a amostra nº 10 do grupo de amostras da marca ArcelorMittal (linha Belgo) e 12.5 mm de diâmetro comercial.

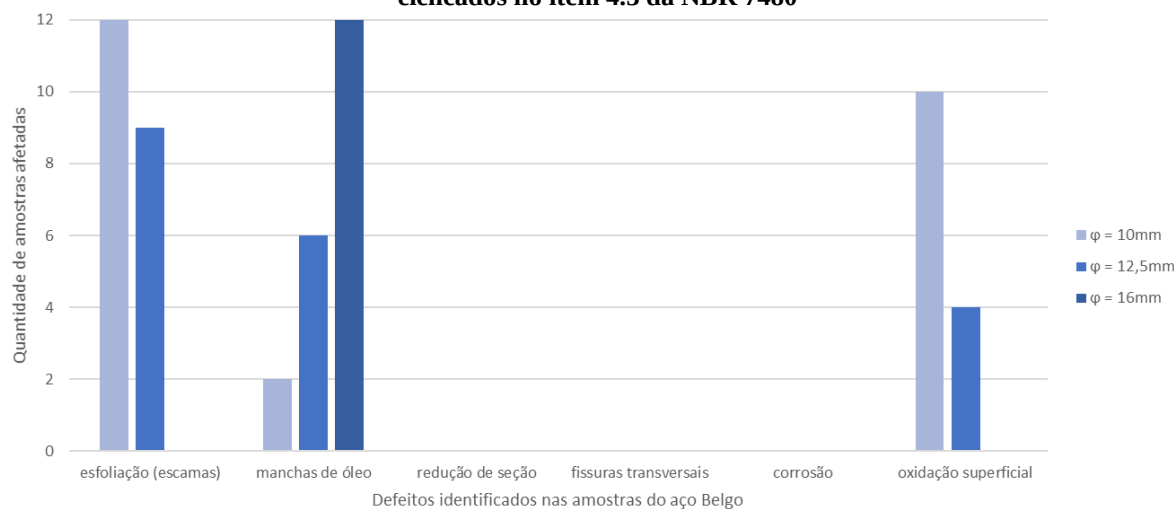
As análises dos resultados apresentadas a seguir estão classificadas por ensaio, e apresentadas de acordo com a ordem de execução dos mesmos. A disposição das análises em cada tópico obedece a ordem alfabética dos nomes das marcas, e cada tópico é finalizado com a análise comparativa das marcas.

5.1 DEFEITOS.

5.1.1 ArcelorMittal

O gráfico 5.1 apresenta a quantidade de amostras por grupo da marca ArcelorMittal afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480.

Gráfico 5.1 – Quantidade de amostras por grupo da marca ArcelorMittal afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480



Fonte: O autor (2017)

Nota-se que foram constatadas a formação de escamas, a presença de manchas de óleo, e a ocorrência de oxidação superficial. Em todas as amostras do grupo de 10.0 mm de diâmetro foram constatadas a ocorrência de esfoliação. Manchas de óleo foram notadas em todos os grupos da marca ArcelorMittal, sendo que no grupo de 16mm de diâmetro todas as amostras estavam manchadas.

5.1.2 Gerdau.

O gráfico 5.2 apresenta a quantidade de amostras por grupo da marca Gerdau afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480.

Gráfico 5.2 – Quantidade de amostras por grupo da marca Gerdau afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480

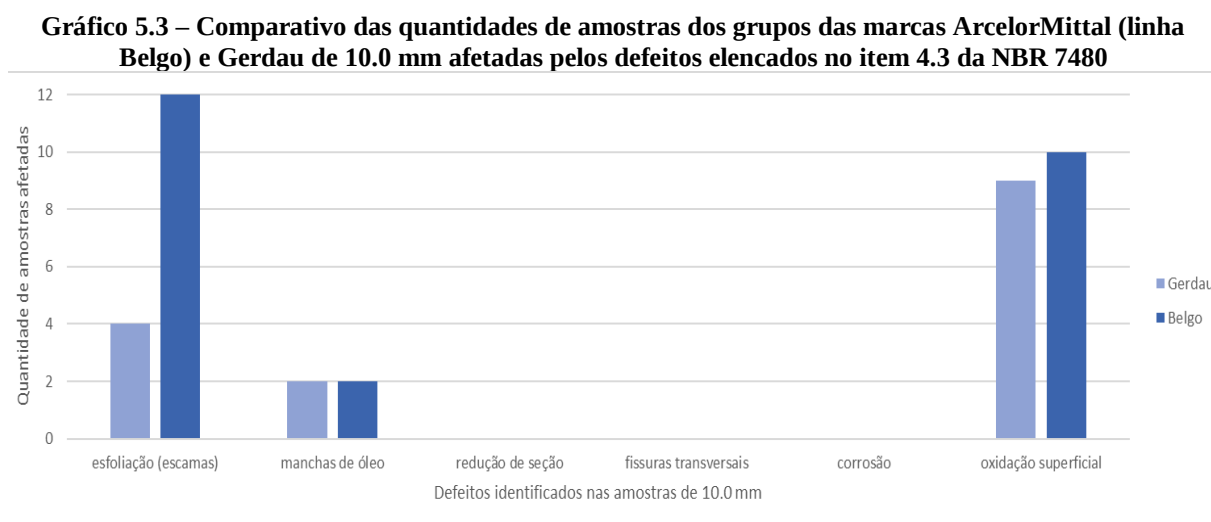


Fonte: O autor (2017)

Nota-se que foram constatadas a formação de escamas, a presença de manchas de óleo, bem como a ocorrência de oxidação superficial. Manchas de óleo foram notadas em todos os grupos da marca, sendo que no grupo de 16.0 mm de diâmetro todas as amostras estavam manchadas. Os grupos de 10 e 12.5 mm tiveram uma grande quantidade de barras afetadas por oxidação superficial.

5.1.3 Comparativo Entre Marcas.

O gráfico 5.3 apresenta um comparativo das quantidades de amostras dos grupos de amostras com diâmetro nominal igual 10.0 mm das marcas ArcelorMittal (linha Belgo) e Gerdau afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480.

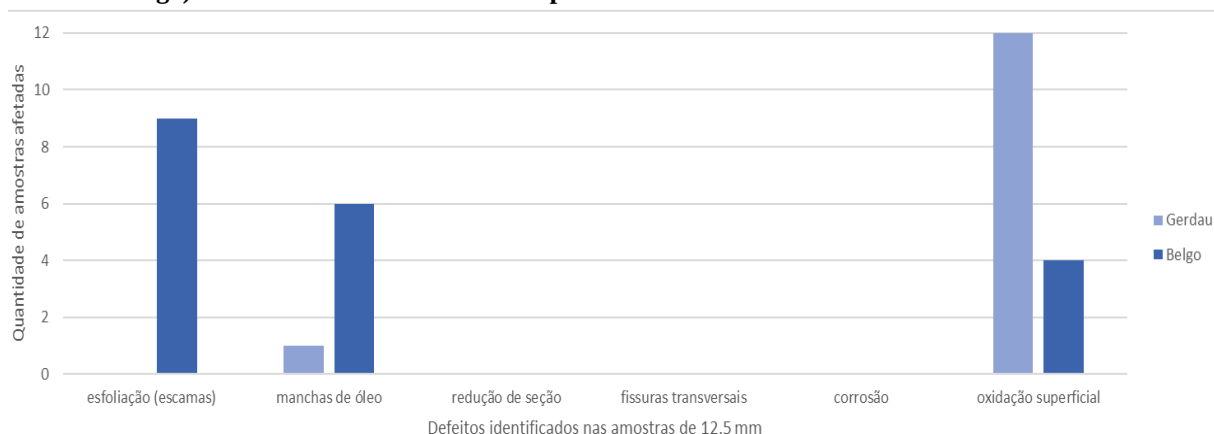


Fonte: O autor (2017)

Nos grupos de amostras de 10.0 mm de diâmetro das marcas avaliadas, foram constatadas a formação de escamas, a presença de manchas de óleo e a ocorrência de oxidação superficial. Apenas duas amostras de cada grupo estavam manchadas. Houve disparidade na quantidade de barras afetadas pela formação de escamas, pois todas as amostras da marca ArcelorMittal (linha Belgo) apresentaram o defeito, três vezes mais amostras que o grupo concorrente. Quanto à oxidação superficial, uma grande quantidade de amostras de ambas as marcas foi afetada.

O gráfico 5.4 apresenta um comparativo das quantidades de amostras dos grupos de amostras com 12.5 mm das marcas ArcelorMittal (linha Belgo) e Gerdau afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480.

Gráfico 5.4 – Comparativo das quantidades de amostras dos grupos das marcas ArcelorMittal (linha Belgo) e Gerdau de 12.5 mm afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480



Fonte: O autor (2017)

Nos grupos de amostras 12.5 mm de diâmetro também foram constatadas manchas de óleo e oxidação superficial, porém apenas no grupo da marca ArcelorMittal foi constatada a formação de escamas. O grupo da marca ArcelorMittal também apresentou mais amostras manchadas de óleo, 6 ao todo, enquanto no grupo concorrente apenas uma amostra estava manchada. Todas as amostras da marca Gerdau apresentaram oxidação superficial, três vezes mais amostras que o grupo da marca ArcelorMittal.

O gráfico 5.5 apresenta um comparativo das quantidades de amostras dos grupos de amostras com 16.0 mm das marcas ArcelorMittal (linha Belgo) e Gerdau afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480.

Gráfico 5.5 – Comparativo das quantidades de amostras dos grupos das marcas ArcelorMittal (linha Belgo) e Gerdau de 16.0 mm afetadas pelos defeitos elencados no item 4.3 da NBR 7480



Fonte: O autor (2017)

Nos grupos de amostras com 16.0 mm de diâmetro, ambas as marcas apresentaram um bom aspecto, apresentando apenas um dos seis defeitos elencados neste trabalho. Porém, todas as amostras de 16.0 mm apresentaram manchas de óleo em sua superfície. Vale ressaltar que as

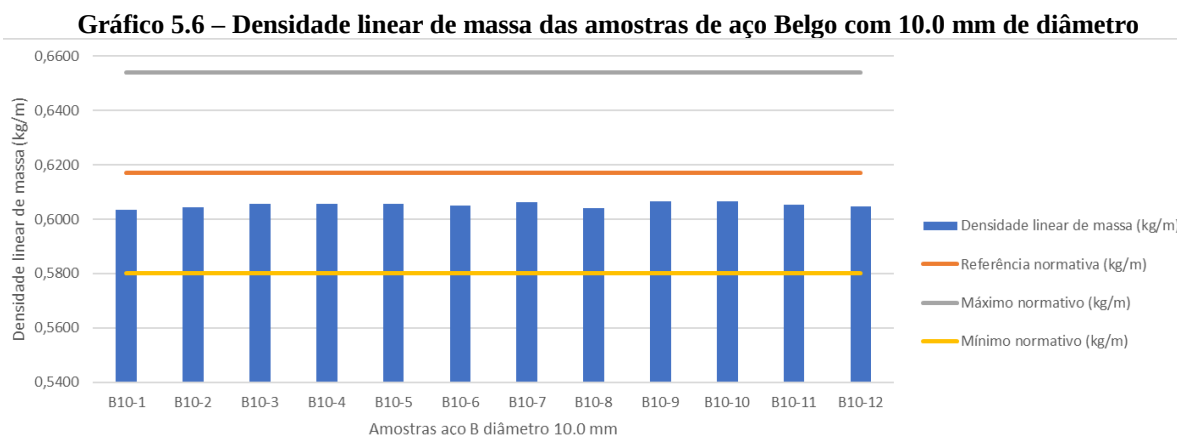
manchas de óleo às quais se refere a norma são decorrentes do processo produtivo do aço e não podem ser removidas sem que haja um profundo desgaste de sua superfície. Diferem, por exemplo, de manchas de óleo resultantes de armazenamento inadequado após o recebimento do material, que podem ser facilmente removidas.

5.2 DENSIDADE LINEAR DE MASSA.

Os gráficos relacionados a esse ensaio apresentam retas dos valores de referência da densidade linear de massa nominal, bem como dos limites mínimos e máximos toleráveis para cada diâmetro nominal, conforme a tabela B.1 da NBR 7480.

5.2.1 ArcelorMittal.

O Gráfico 5.6 apresenta a densidade linear de massa das amostras de aço Belgo com 10.0 mm de diâmetro.

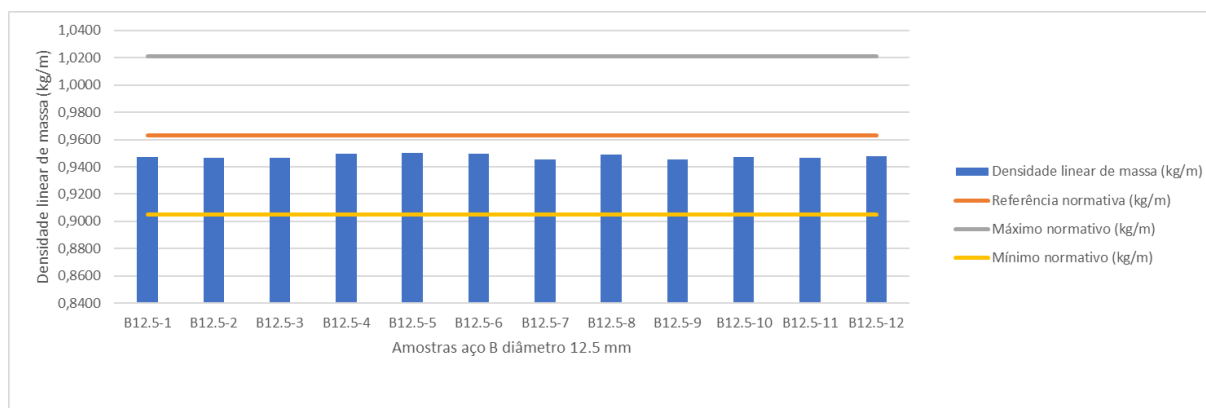


Fonte: O autor (2017)

Todo o grupo de amostras de diâmetro igual a 10.0 mm da marca ArcelorMittal (linha Belgo) apresentou densidade linear de massa abaixo do referencial normativo (μ_n), que é 0,617 kg/m. Entretanto, todas as amostras do grupo se enquadram no intervalo tolerado pela norma, que, para aços com esse diâmetro nominal, vai de 0,580 kg/m até 0,654 kg/m. As amostras B10-9 e B10-10 foram as que mais se aproximaram de alcançar o valor normativo, com $\mu = 0,607$ kg/m, o que representa uma variação negativa de 1,69 % em relação à μ_n . O grupo apresentou uma variação percentual média negativa de 1,9 em relação ao valor nominal.

O Gráfico 5.7 apresenta a densidade linear de massa das amostras de aço Belgo com 12.5 mm de diâmetro.

Gráfico 5.7 – Densidade linear de massa das amostras de aço Belgo com 12.5 mm de diâmetro

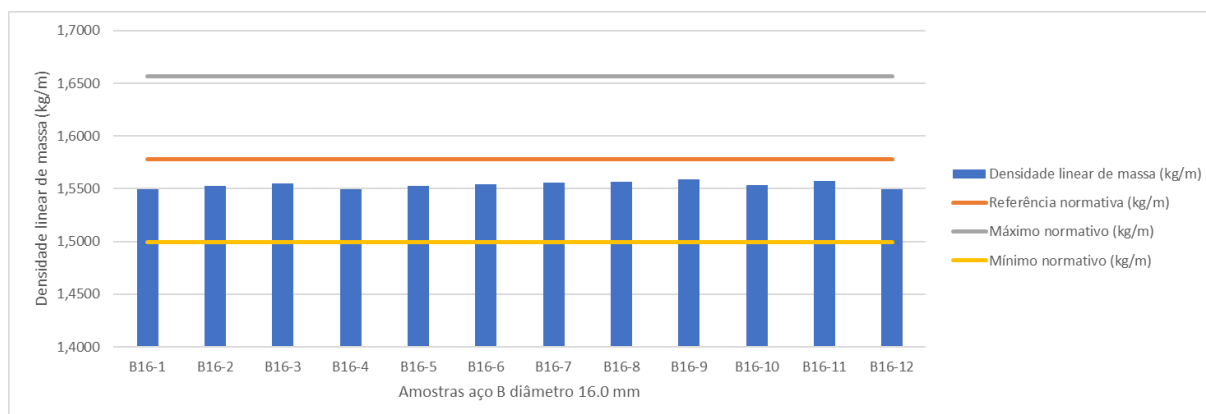


Fonte: O autor (2017)

O grupo de amostras de diâmetro igual a 12.5 mm da marca ArcelorMittal (linha Belgo) apresentou densidade linear de massa abaixo do referencial normativo (μ_n), que é 0,963 kg/m. Porém, todas as amostras do grupo estão no intervalo admitido pela norma, que, para aços com esse diâmetro nominal, vai de 0,905 kg/m até 1.021 kg/m. A amostra B12.5-5 foi a que mais se aproximou de alcançar o valor normativo, com $\mu = 0.9504$ kg/m, o que representa uma variação negativa de 1,31 % em relação a μ_n . O grupo apresentou uma variação percentual média negativa de 1,61 em relação ao valor nominal.

O Gráfico 5.8 apresenta a densidade linear de massa das amostras de aço Belgo com 16.0 mm de diâmetro:

Gráfico 5.8 – Densidade linear de massa das amostras de aço Belgo com 16.0 mm de diâmetro



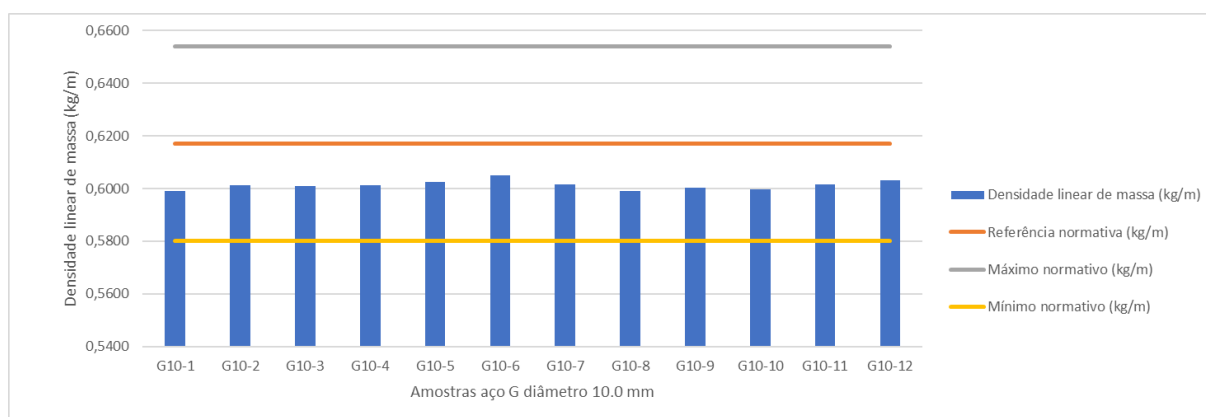
Fonte: O autor (2017)

O grupo de amostras de diâmetro igual a 16.0 mm da marca ArcelorMittal (linha Belgo) apresentou densidade linear de massa abaixo do referencial normativo (μ_n), que é 1,578 kg/m. Porém, todas as amostras do grupo estão no intervalo admitido pela norma, que, para aços com esse diâmetro nominal, vai de 1,499 kg/m até 1,657 kg/m. A amostra B16-9 foi a que mais se aproximou de alcançar o valor normativo, com $\mu = 1,5591$ kg/m, o que representa uma variação negativa de 1,2 % em relação a μ_n . O grupo apresentou uma variação percentual média negativa de 1,53 em relação ao valor nominal.

5.2.2 Gerdau.

O gráfico 5.9 apresenta a densidade linear de massa das amostras de aço Gerdau de 10.0 mm de diâmetro.

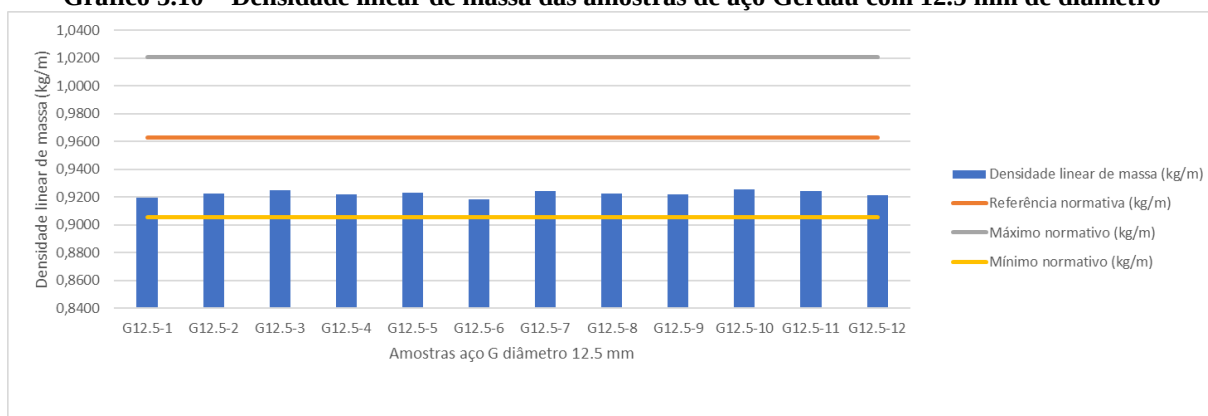
Gráfico 5.9 – Densidade linear de massa das amostras de aço Gerdau de 10.0 mm de diâmetro



Fonte: O autor (2017)

Todo o grupo de amostras de diâmetro igual a 10.0 mm da marca Gerdau apresentou densidade linear de massa abaixo do referencial normativo (μ_n), que é 0,617 kg/m. Porém, todas as amostras do grupo estão no intervalo admitido pela norma, que, para aços com esse diâmetro nominal, vai de 0,580 kg/m até 0,654 kg/m. A amostra G10-6 foi a que mais se aproximou do valor normativo, com $\mu = 0,6051$ kg/m, o que representa uma variação negativa de 1,69 % em relação a μ_n . As amostras do grupo apresentaram uma variação percentual média negativa de 1,94 em relação ao valor nominal.

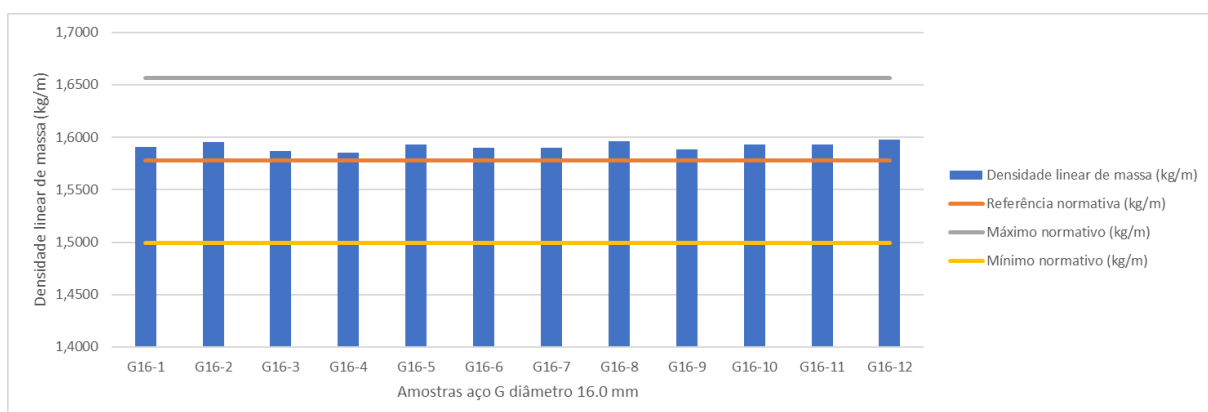
O Gráfico 5.10 apresenta a densidade linear de massa das amostras de aço Gerdau com 12.5 mm de diâmetro.

Gráfico 5.10 – Densidade linear de massa das amostras de aço Gerdau com 12.5 mm de diâmetro

Fonte: O autor (2017)

O grupo de amostras de diâmetro igual a 12.5 mm da marca Gerdau apresentou densidade linear de massa abaixo do referencial normativo (μ_n), que é 0,963 kg/m. Porém, todas as amostras do grupo estão no intervalo admitido pela norma, que, para aços com esse diâmetro nominal, vai de 0,905 kg/m até 1.021 kg/m. A amostra G12.5-10 foi a que mais se aproximou de alcançar o valor normativo, com $\mu = 0.925$ kg/m, o que representa uma variação negativa de 3,92 % em relação a μ_n . O grupo apresentou uma variação percentual média negativa de 4,20 em relação ao valor nominal.

O Gráfico 5.11 apresenta a densidade linear de massa das amostras de aço Gerdau com 16.0 mm de diâmetro.

Gráfico 5.11 – Densidade linear de massa das amostras de aço Gerdau com 16.0 mm de diâmetro

Fonte: O autor (2017)

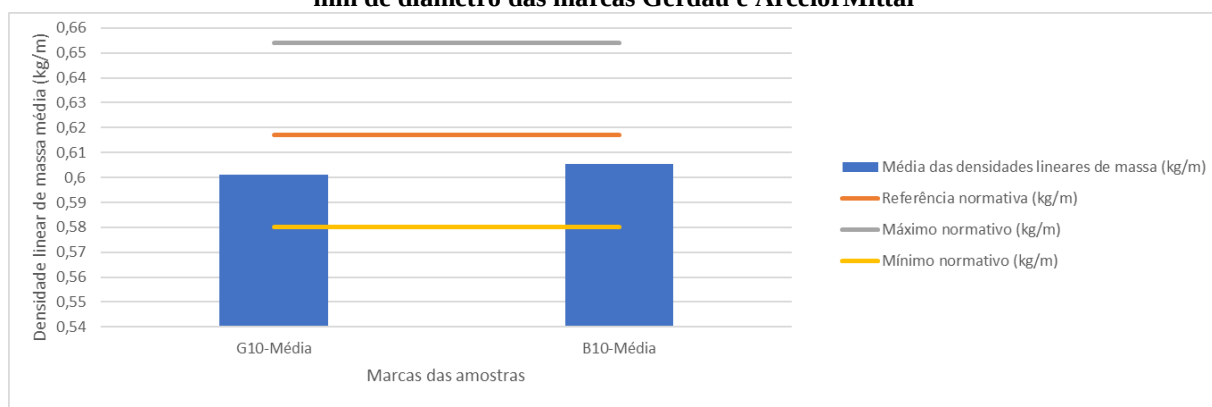
O grupo de amostras de diâmetro igual a 16.0 mm da marca Gerdau apresentou densidade linear de massa acima do referencial normativo (μ_n), que é 1,578 kg/m. Apesar disso, todas as amostras do grupo estão no intervalo admitido pela norma, que, para aços com esse diâmetro nominal, limita-se por 1,499 kg/m e 1,657 kg/m. A amostra G16-4 foi a que mais se aproximou de alcançar o valor normativo, com $\mu = 1,585$ kg/m, o que representa uma variação

de 0,47 % em relação a μ_n . O grupo apresentou uma variação percentual média de 0,86 em relação ao valor nominal.

5.2.3 Comparativo Entre Marcas

O Gráfico 5.12 apresenta o comparativo entre o valor médio das densidades lineares de massa das amostras com 10.0 mm de diâmetro das marcas Gerdau e ArcelorMittal (Belgo).

Gráfico 5.12 – Comparativo entre o valor médio das densidades lineares de massa das amostras com 10.0 mm de diâmetro das marcas Gerdau e ArcelorMittal

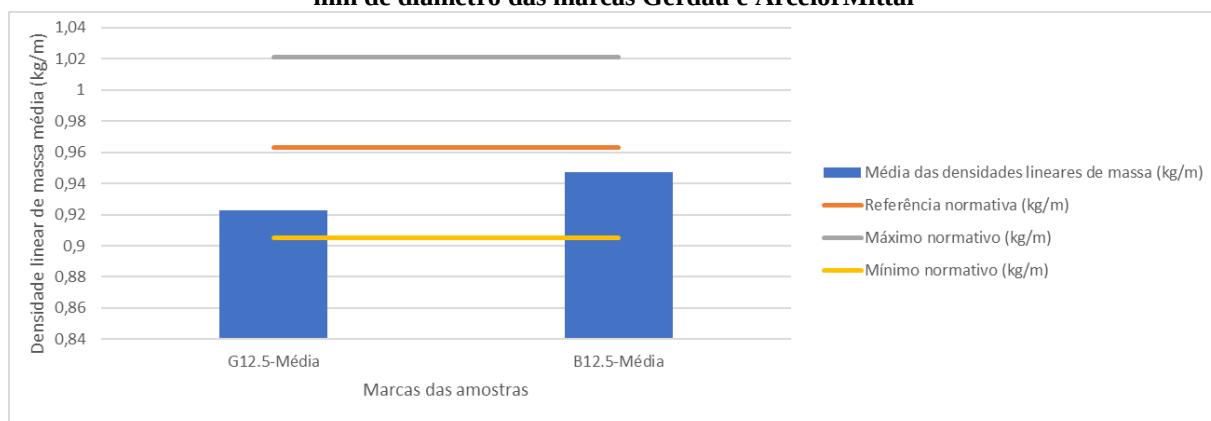


Fonte: O autor (2017)

Em ambas as marcas se verificou que os valores médios das densidades lineares de massa de amostras com 10.0 mm de diâmetro encontravam-se abaixo do valor referencial normativo, apesar de estarem em conformidade com a norma, que estabelece um intervalo de tolerância para o valor de μ entre 0,580 kg/m e 0,654 kg/m. A marca ArcelorMittal obteve melhores resultados que a marca Gerdau, devido à menor variação média dos valores de densidade linear em comparação ao valor de referência. Enquanto as amostras da marca ArcelorMittal obtiveram uma média de variação de 1,9%, as amostras Gerdau variam em média 2,55%. Ou seja, na comparação entre os grupos de amostras de 10.0 mm de diâmetro, o grupo da marca ArcelorMittal apresentou valor médio de densidades lineares de massa de amostras mais próximo do valor de referência.

O Gráfico 5.13 apresenta o comparativo entre o valor médio das densidades lineares de massa das amostras com 12.5 mm de diâmetro das marcas Gerdau e ArcelorMittal (Belgo):

Gráfico 5.13 – Comparativo entre o valor médio das densidades lineares de massa das amostras com 12.5 mm de diâmetro das marcas Gerdau e ArcelorMittal

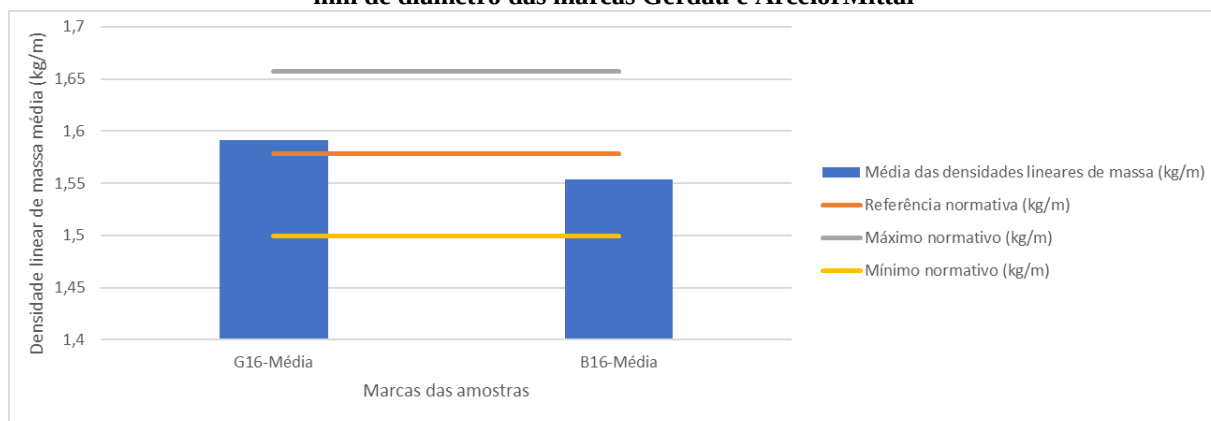


Fonte: O autor (2017)

Nas duas marcas comparadas verificou-se mais uma vez que os valores médios das densidades lineares de massa de amostras com 12.5 mm de diâmetro encontram-se abaixo do valor referencial normativo. Ainda assim, todas as amostras dos grupos estão em conformidade com a norma, pois esta estabelece um intervalo de tolerância para o valor de μ entre 0,905 kg/m e 1,021 kg/m, para barras de aço com diâmetro nominal igual a 12.5 mm. A marca ArcelorMittal obteve melhores resultados que a marca Gerdau devido à menor variação média dos valores de densidade linear em comparação ao valor de referência. Enquanto as amostras da marca ArcelorMittal obtiveram uma média de variação de 1,61%, as amostras Gerdau apresentaram uma variação média muito alta, de 4,2%. Ou seja, na comparação entre os grupos de amostras de 12.5 mm de diâmetro, o grupo da marca ArcelorMittal apresentou valor médio de densidades lineares de massa de amostras muito mais próximo do valor de referência.

O gráfico 5.14 apresenta o comparativo entre o valor médio das densidades lineares de massa das amostras com 16.0 mm de diâmetro das marcas Gerdau e ArcelorMittal (Belgo).

Gráfico 5.14 – Comparativo entre o valor médio das densidades lineares de massa das amostras com 16.0 mm de diâmetro das marcas Gerdau e ArcelorMittal



Fonte: O autor (2017)

Nos grupos de amostras com 16.0 mm, o valor médio das densidades lineares de massa das amostras da marca Gerdau não só foi maior que o do grupo concorrente, como também apresentou uma variação positiva em relação ao referencial normativo, que para amostras de 16.0 mm é de 1,578 kg/m. Vale ressaltar que a NBR 7480 não faz distinção entre valores acima do referencial normativo e valores abaixo do referencial, mas define um intervalo de tolerância superior igual ao intervalo de tolerância inferior, para todos os diâmetros. Isso implica que a norma leva em consideração somente o módulo da variação, independentemente o seu sinal. Ou seja, o fato de algumas amostras obterem valor médio superior ao referencial normativo, não necessariamente significa que seu desempenho sobressai em relação às outras amostras. As amostras desse grupo da marca Gerdau apresentaram um valor médio de densidade linear de massa das amostras variando apenas 0,86%, enquanto as amostras da marca ArcelorMittal apresentaram uma variação de 1,53% em relação ao referencial normativo. De fato, entre todos os grupos, o grupo de amostras Gerdau de 16.0 mm foi o que apresentou valor de densidade linear mais próximo do referencial normativo.

Nos comparativos entre as marcas, a ArcelorMittal apresentou valores médios de densidade linear mais próximos do referencial normativo nos grupos de amostras de 10.0 e 12.5 mm, enquanto a Gerdau superou a concorrente no grupo de 16.0 mm. O grupo de amostras com 12.5 mm da Gerdau foi o que mais destoou do valor normativo de densidade linear, mas ainda assim permaneceu dentro do limite de tolerância. Foi também da Gerdau o único grupo (o de 16.0 mm) que obteve valor médio de densidade linear acima do referencial.

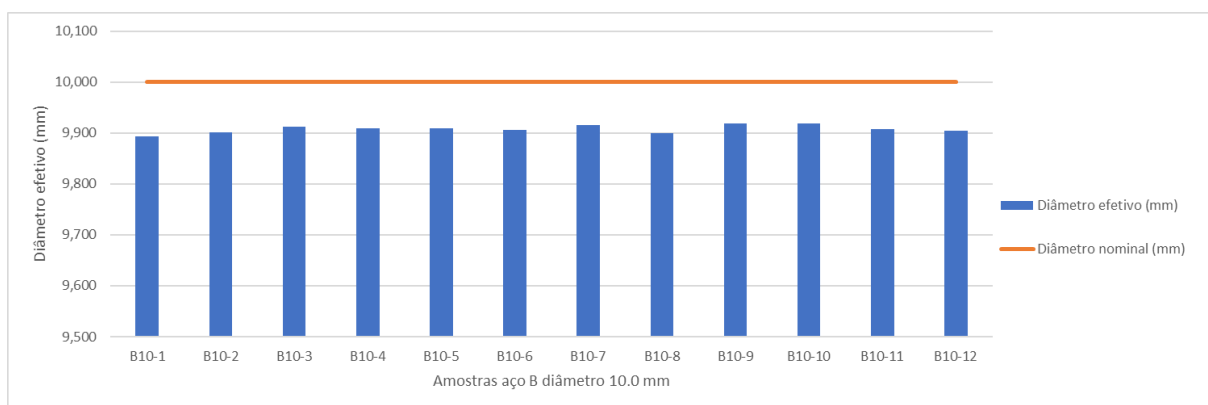
É interessante observar que a densidade linear de massa implica, logicamente, de maneira direta no peso do material. Dessa forma, um grupo contendo 12 barras Gerdau com bitola de 16 mm e 12 metros de comprimento, por exemplo, será mais “pesado” que um grupo contendo 12 barras Belgo com bitola de 16 mm e 12 metros de comprimento. A partir desse raciocínio, pode-se concluir que a densidade linear de massa pode interferir em todas as atividades em que a quantidade de aço seja medida em toneladas, desde em um simples transporte de carga de vergalhões, até na produção anual brasileira de aço para construção civil. Porém, o valor da densidade linear de massa das amostras é também extremamente importante na determinação de seus diâmetros efetivos. Afinal, é a partir desse dado que poder-se-á calcular a área efetiva da seção, conforme a justificativa de cálculo feita anteriormente.

5.3 DIÂMETRO EFETIVO DA SEÇÃO

5.3.1 ArcelorMittal.

O gráfico 5.15 apresenta o diâmetro efetivo das amostras de aço da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 10.0 mm.

Gráfico 5.15 – Diâmetro efetivo das amostras de aço da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 10.0 mm

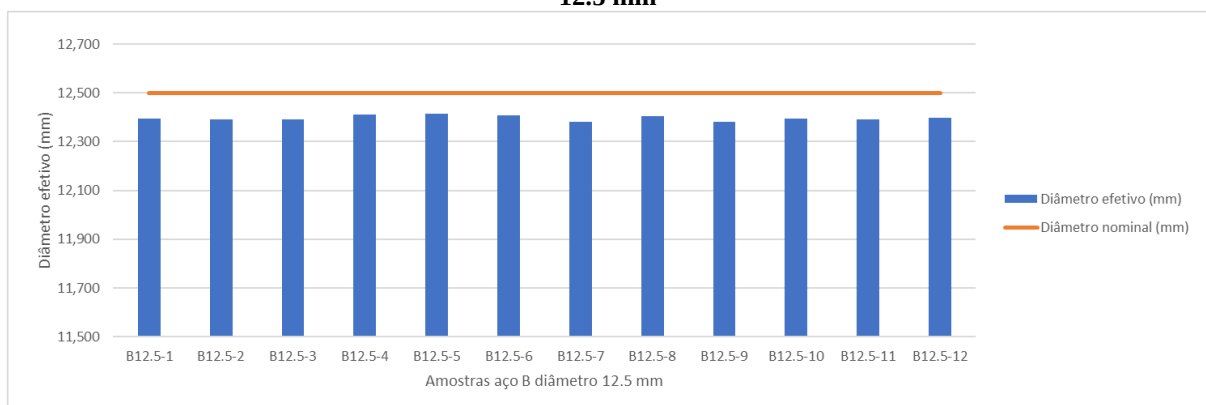


Fonte: O autor (2017)

Nenhuma das amostras do grupo da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 10.0 mm obteve um diâmetro efetivo satisfatório, ou seja, não atingiram o valor do diâmetro nominal. O menor e o maior valores de diâmetro efetivo encontrados entre as amostras foram, respectivamente, 9.894 mm e 9.919 mm.

O gráfico 5.16 apresenta diâmetro efetivo das amostras de aço da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 12.5 mm.

Gráfico 5.16 – Diâmetro efetivo das amostras de aço da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 12.5 mm

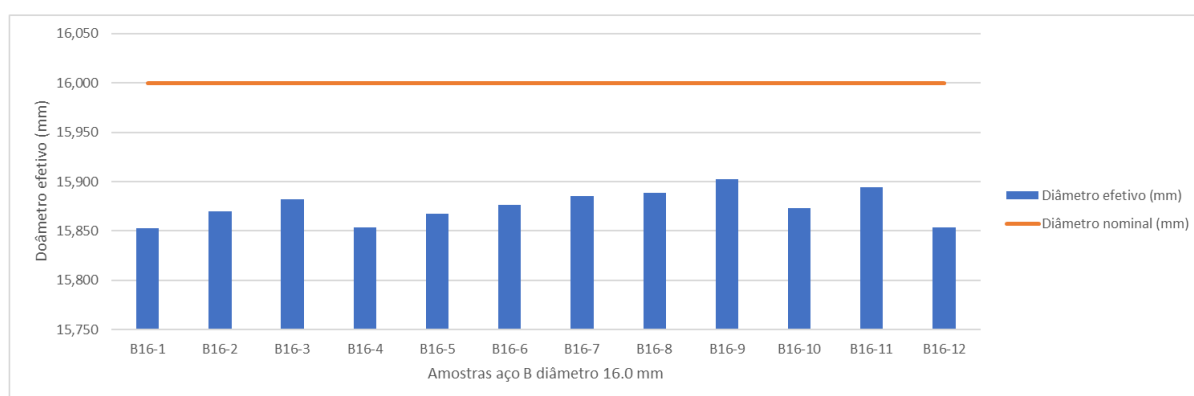


Fonte: O autor (2017)

Nenhuma das amostras do grupo da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 12.5 mm obteve um diâmetro efetivo satisfatório, ou seja, não atingiram o valor de referência do diâmetro nominal. O menor e o maior valores de diâmetro efetivo encontrados entre as amostras foram, respectivamente, 12.382 mm e 12.416 mm.

O gráfico 5.17 apresenta o diâmetro efetivo das amostras de aço da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 16.0 mm.

Gráfico 5.17 – Diâmetro efetivo das amostras de aço da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 16.0 mm



Fonte: O autor (2017)

Todas as amostras do grupo da marca ArcelorMittal com diâmetro nominal de 16.0 mm também obtiveram valor de diâmetro efetivo aquém do referencial normativo. O menor e o maior valores de diâmetro efetivo encontrados entre as amostras foram, respectivamente, 15.853 mm e 15.902 mm.

5.3.2 Gerdau

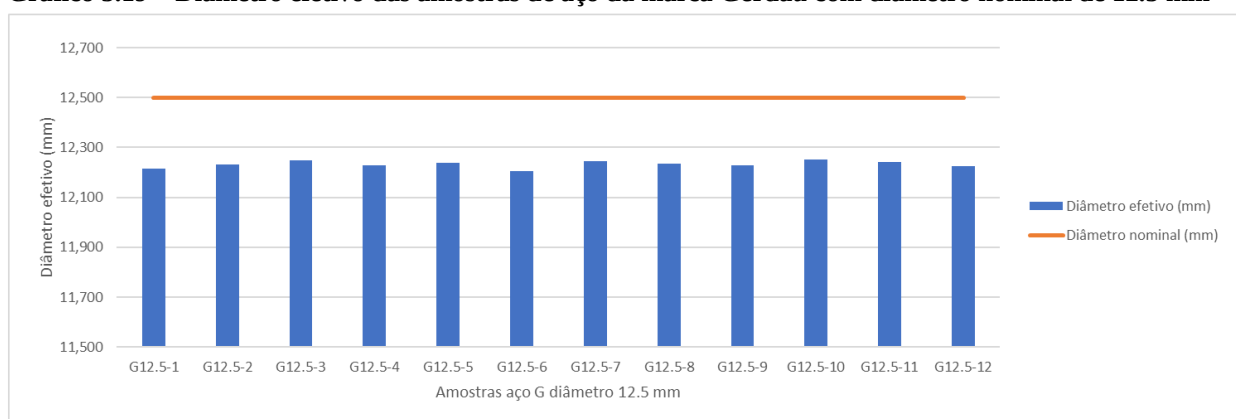
O gráfico 5.18 apresenta o diâmetro efetivo das amostras de aço da marca Gerdau com diâmetro nominal de 10.0 mm.

Gráfico 5.18 – Diâmetro efetivo das amostras de aço da marca Gerdau com diâmetro nominal de 10.0 mm

Fonte: O autor (2017)

Nenhuma das amostras do grupo da marca Gerdau com diâmetro nominal de 10.0 mm obteve um diâmetro efetivo satisfatório, ou seja, não atingiram o valor de referência do diâmetro nominal. O menor e o maior valores de diâmetro efetivo encontrados entre as amostras foram, respectivamente, 9.856 mm e 9.906 mm.

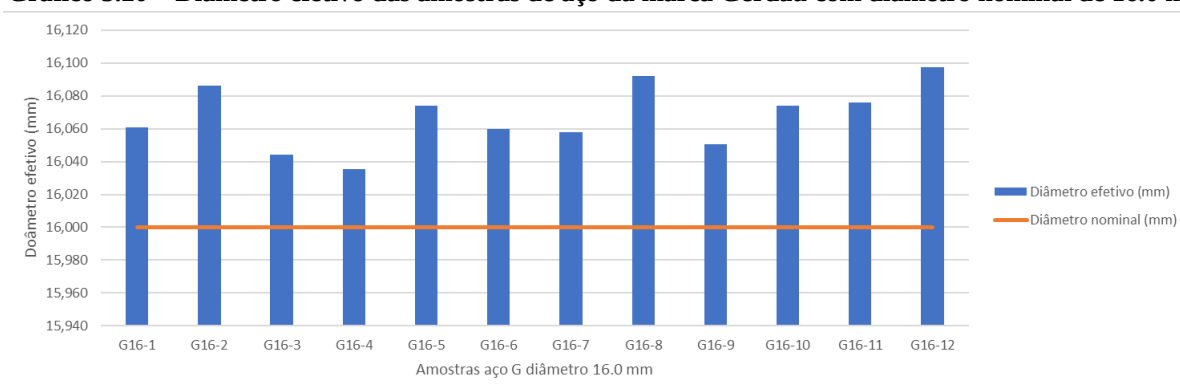
O gráfico 5.19 apresenta o diâmetro efetivo das amostras de aço da marca Gerdau com diâmetro nominal de 12.5 mm.

Gráfico 5.19 – Diâmetro efetivo das amostras de aço da marca Gerdau com diâmetro nominal de 12.5 mm

Fonte: O autor (2017)

O grupo da marca Gerdau com diâmetro nominal de 12.5 mm também não contém amostras com diâmetro efetivo satisfatório, ou seja, todas ficaram aquém do valor do diâmetro comercial. O menor e o maior valores de diâmetro efetivo encontrados entre as amostras foram, respectivamente, 12.206 mm e 12.251 mm.

O gráfico 5.20 apresenta o Diâmetro efetivo das amostras de aço da marca Gerdau com diâmetro nominal de 16.0 mm.

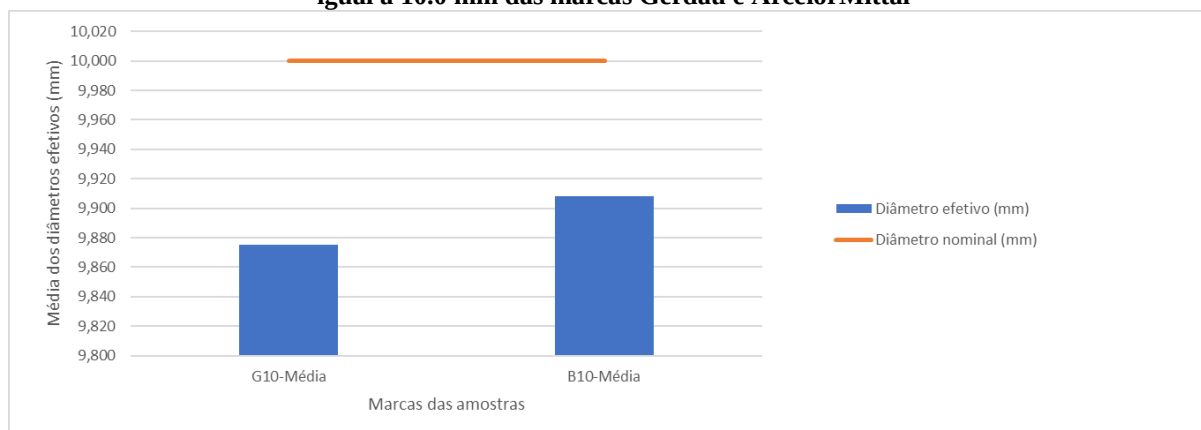
Gráfico 5.20 – Diâmetro efetivo das amostras de aço da marca Gerdau com diâmetro nominal de 16.0 mm

Fonte: O autor (2017)

Somente o grupo de amostras da marca Gerdau de diâmetro nominal igual a 16.0 mm alcançou um valor de diâmetro efetivo superior ao referencial normativo. Vale salientar que esse grupo também foi o único a ultrapassar o referencial normativo com seu valor médio de densidade linear de massa. Isso comprova a relação direta entre as duas grandezas, visto que o valor do diâmetro efetivo de uma amostra tende a aumentar conforme aumenta seu valor da densidade linear de massa. O menor e o maior valores de diâmetro efetivo encontrados entre as amostras foram, respectivamente, 16.035 mm e 16.097 mm.

5.3.3 Comparativo Entre Marcas.

O gráfico 5.21 apresenta o comparativo entre as médias dos diâmetros efetivos das amostras de diâmetro nominal igual a 10.0 mm das marcas Gerdau e ArcelorMittal.

Gráfico 5.21 – Comparativo entre as médias dos diâmetros efetivos das amostras de diâmetro nominal igual a 10.0 mm das marcas Gerdau e ArcelorMittal

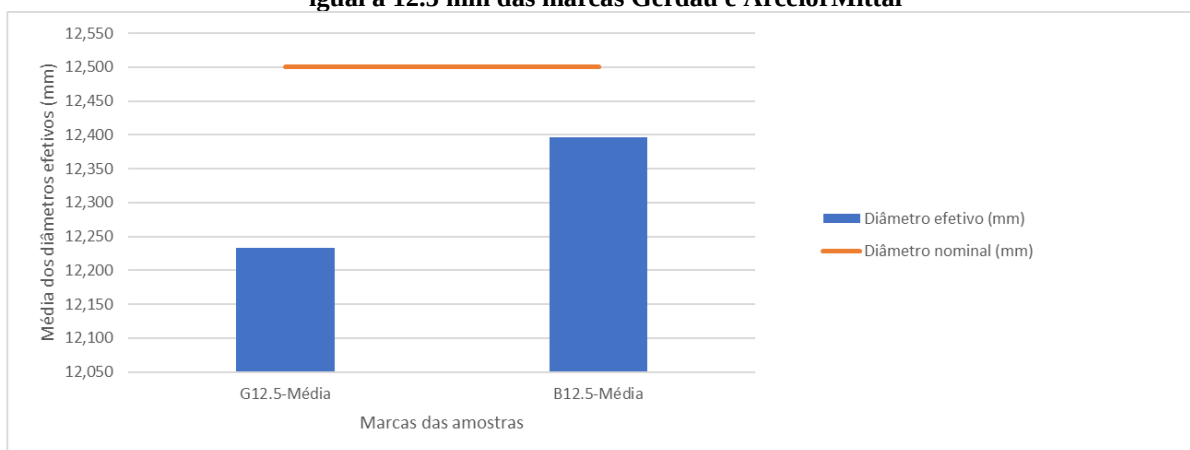
Fonte: O autor (2017)

Assim como no comparativo entre os valores médios de densidade linear de massa das amostras nos grupos com diâmetro nominal igual a 10.0 mm, no comparativo entre as médias

dos diâmetros efetivos a marca ArcelorMittal obteve resultados mais próximos ao valor de referência. Os diâmetros efetivos médios das amostras das marcas ArcelorMittal e Gerdau são, respectivamente, 9.908 mm e 9.875 mm.

O gráfico 5.22 apresenta o comparativo entre as médias dos diâmetros efetivos das amostras de diâmetro nominal igual a 12.5 mm das marcas Gerdau e ArcelorMittal:

Gráfico 5.22 – Comparativo entre as médias dos diâmetros efetivos das amostras de diâmetro nominal igual a 12.5 mm das marcas Gerdau e ArcelorMittal

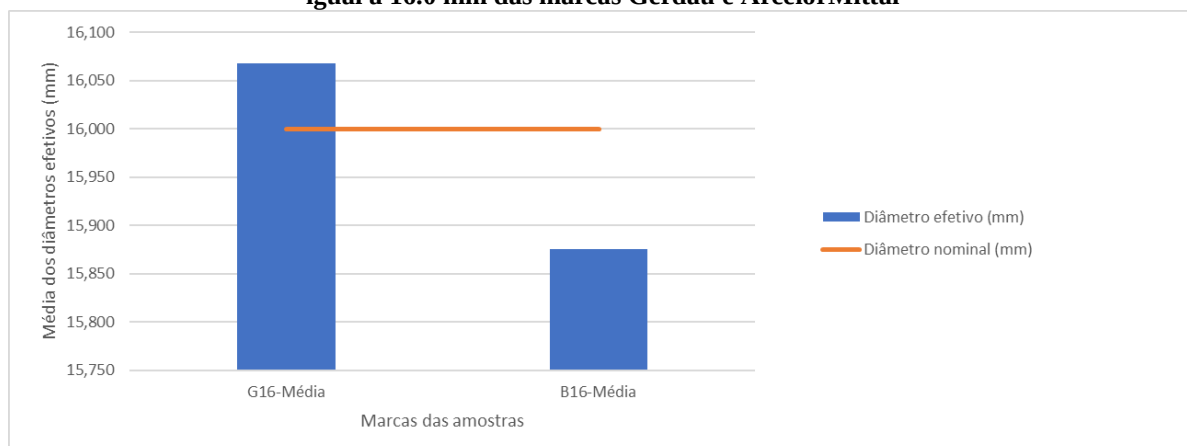


Fonte: O autor (2017)

Também como no comparativo entre os valores médios de densidade linear de massa das amostras nos grupos com diâmetro nominal igual a 12.5 mm, no comparativo entre as médias dos diâmetros efetivos a marca ArcelorMittal obteve resultados mais próximos ao valor de referências. Os diâmetros efetivos médios das amostras das marcas ArcelorMittal e Gerdau são, respectivamente, 12.397 mm e 12.233 mm.

O gráfico 5.23 apresenta o comparativo entre as médias dos diâmetros efetivos das amostras de diâmetro nominal igual a 16.0 mm das marcas Gerdau e ArcelorMittal.

Gráfico 5.23 – Comparativo entre as médias dos diâmetros efetivos das amostras de diâmetro nominal igual a 16.0 mm das marcas Gerdau e ArcelorMittal



Fonte: O autor (2017)

Também no comparativo entre os valores médios dos diâmetros efetivos dos grupos com diâmetro nominal de 16.0 mm, seguiu-se a lógica das comparações anteriores. O grupo da Gerdau, que apresentou melhores resultados de densidade linear de massa, também apresentou diâmetros efetivos mais próximos do diâmetro comercial, superando-o, inclusive.

Como já era esperado, em todas as amostras que apresentaram valor de densidade linear de massa abaixo do valor de referência foram constatados diâmetros efetivos com valores abaixo do diâmetro nominal. Afinal, existe relação diretamente proporcional entre a densidade linear de massa e a área efetiva da seção, que por sua vez, guarda relação direta com o diâmetro efetivo da seção. Esse é o provável motivo por que a tabela B.1 da NBR 7480 não especifica limites de tolerância para o diâmetro efetivo, já que está subentendida sua relação com a densidade linear de massa.

O fato de uma amostra não apresentar diâmetro efetivo satisfatório pode ser encarado por dois vieses. O primeiro é que pode ser causada a impressão de que a barra com tal configuração de seção não irá obter um bom desempenho quando solicitada mecanicamente. A consequência lógica desse raciocínio é a de que uma barra com diâmetro efetivo maior do que o nominal poderá apresentar um melhor desempenho quando solicitada mecanicamente. Essa forma de observar pode ser considerada incipiente, visto que ainda não se conhece a caracterização do desempenho mecânico. O segundo viés é que em sendo constatado que o diâmetro efetivo das barras difere do seu diâmetro nominal, o dimensionamento de elementos estruturais em concreto armado pode estar comprometido, já que a configuração geométrica das barras na seção pode alterar a posição da linha neutra, e consequentemente o estágio de deformação e os domínios de dimensionamento.

Em todo caso nota-se, quanto aos ensaios de densidade linear de massa e diâmetro efetivo:

- a) que a marca Gerdau priorizou a manutenção dos valores da linha de vergalhões “GG 50” de 16.0 mm acima do referencial normativo em detrimento aos grupos de diâmetros nominais iguais a 10.0 mm e 12.5 mm;
- b) e que a marca ArcelorMittal priorizou a manutenção dos valores de densidade linear da linha de vergalhões Belgo de 10, 12.5 e 16 mm em posição intermediária entre o limite mínimo e o valor de referência normativos. Com isso, nenhum de seus grupos alcançou o diâmetro nominal.

5.4 ENSAIO DE TRAÇÃO

5.4.1 ArcelorMittal.

A tabela 1 apresenta os dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras da marca ArcelorMittal com 10.0 mm de diâmetro.

Tabela 1 – Dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 10.0 mm da marca ArcelorMittal

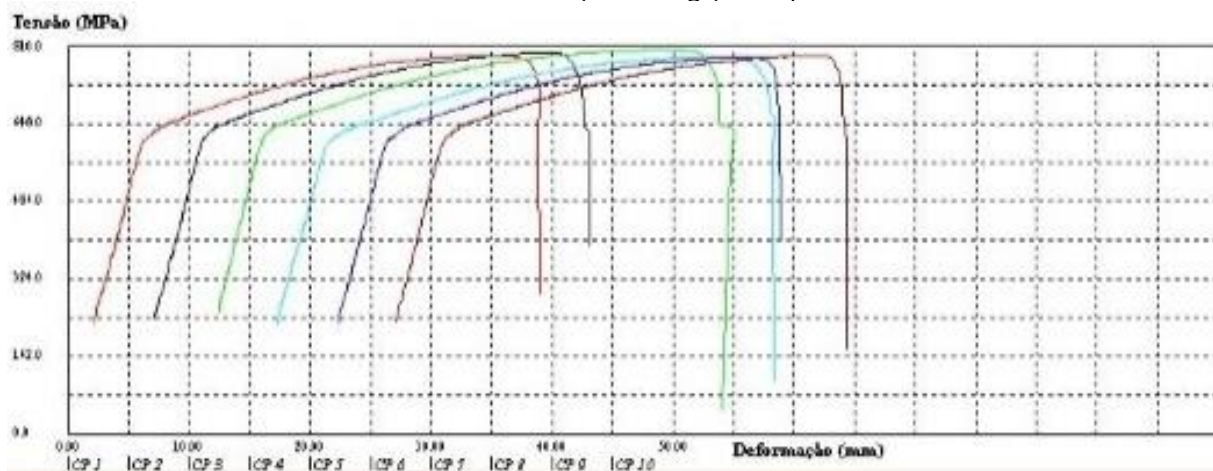
Φ_n (mm)	Corpo de prova	Ref.	F _{max} (N)	$\sigma_{\max,n}$ (MPa)	$\sigma_{\max,ef}$ (MPa)	$\sigma_{e,n}$ (MPa)	$\sigma_{e,ef}$ (MPa)	L ₀ (mm)	L _u (mm)	ϵ (%)
10.0	CP1	B10-6	62249,25	792,58	807,65	623,20	635,05	100	114	14
	CP2	B10-4	62744,48	798,89	813,50	631,94	643,50	100	115	15
	CP3	B10-2	63190,17	804,56	820,73	633,29	646,01	100	114	14
	CP4	B10-12	61952,12	788,80	804,10	619,83	631,86	100	116	16
	CP5	B10-8	61902,60	788,17	804,34	620,75	633,48	100	113	13
	CP6	B10-10	62249,25	792,58	805,58	625,62	635,88	100	112	12

Número de CPs	6	6	6	6	6	6
Média	62381,31	794,26	809,32	625,77	638,15	14
Mediana	62249,25	792,58	806,61	624,41	635,88	14
Mínimo	61902,60	788,17	804,10	619,83	631,86	12
Máximo	63190,17	804,56	820,73	633,29	646,01	16

Fonte: O autor (2017)

A figura 5.1 apresenta o gráfico de tensão-deformação obtido a partir do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço com $\phi_n = 10.0$ mm da marca ArcelorMittal (linha Belgo).

Figura 5.1 – Curvas tensão x deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca ArcelorMittal (linha Belgo) com $\phi_n = 10.0$ mm



Fonte: O autor (2017)

As curvas tensão-deformação das amostras de aço da marca ArcelorMittal com $\phi_n = 10.0$ mm não apresentaram patamar de escoamento bem definido, permitindo notar uma entrada diferenciada no estágio de endurecimento (etapa da fase plástica). Diagramas com essa forma são característicos de fios obtidos por trefilação, ou seja, encruados a frio (com a principal

diferença na zona de deformação, que é menor para aços encruados, ou seja, estes possuem ruptura normalmente frágil). Porém, o que possivelmente justifica de maneira satisfatória a ausência de um patamar de escoamento bem definido no diagrama de uma amostra de aço laminado CA-50 é um teor de carbono mais alto, acima de 0,3%. Vale ressaltar que para determinar o limite de escoamento quando o material ensaiado não apresenta um patamar de escoamento nítido, adota-se um deslocamento da origem no eixo da deformação de 0,2% a 0,5% de deformação e a construção de uma reta paralela à região elástica do gráfico tensão-deformação. O próprio software Tesc utilizado na máquina do Laboratório de Materiais do IFS realiza essa determinação.

Vale ressaltar que para determinar o limite de escoamento quando o material ensaiado não apresenta um patamar de escoamento nítido, adota-se um deslocamento da origem no eixo da deformação de 0,002 ou 0,2% de deformação e a construção de uma reta paralela à região elástica do gráfico tensão-deformação. Porém a obtenção deste dado neste trabalho tornou-se tecnicamente inviável, e por este motivo, para fins comparativos, foram utilizados os próprios dados fornecidos pelo software Tesc.

A tabela 2 apresenta os dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 12.5 mm da marca ArcelorMittal.

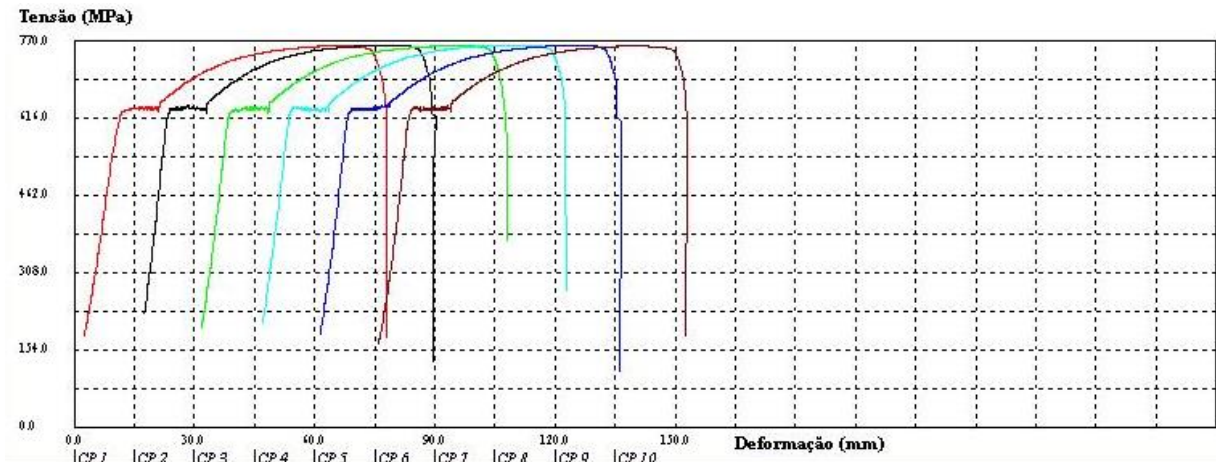
Tabela 2 – Dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 12.5mm da marca ArcelorMittal

Φ_n (mm)	Corpo de prova	Ref.	F _{max} (N)	$\sigma_{max,n}$ (MPa)	$\sigma_{max,ef}$ (MPa)	$\sigma_{e,n}$ (MPa)	$\sigma_{e,ef}$ (MPa)	L ₀ (mm)	L _u (mm)	ϵ (%)
12.5	CP1	B12.5-8	93349,12	760,68	772,45	610,18	619,62	100	122	22
	CP2	B12.5-4	93448,16	761,48	772,61	629,10	638,30	100	121	21
	CP3	B12.5-10	93398,64	761,08	774,14	626,90	637,66	100	121	21
	CP4	B12.5-6	93596,73	762,69	773,98	632,01	641,36	100	121	21
	CP5	B12.5-12	93448,16	761,48	774,09	628,11	638,51	100	120	20
	CP6	B12.5-2	93299,60	760,27	773,56	631,30	642,33	100	118	18
Número de CPs			6	6	6	6	6	6		
Média			93423,40	761,28	773,47	626,27	639,63	20,5		
Mediana			93423,40	761,28	773,77	628,61	638,51	21		
Mínimo			93299,60	760,27	772,45	610,18	637,66	18		
Máximo			93596,73	762,69	774,14	632,01	642,33	22		

Fonte: O autor (2017)

A figura 5.2 apresenta as curvas tensão-deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca ArcelorMittal (linha Belgo) com $\phi_n = 12.5$ mm.

Figura 5.2 – Curvas tensão x deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca ArcelorMittal (linha Belgo) com $\phi_n = 12.5$ mm



Fonte: O autor (2017)

A tabela 3 apresenta os dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 16.0 mm da marca ArcelorMittal.

Tabela 3 – Dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 16.0 mm da marca ArcelorMittal

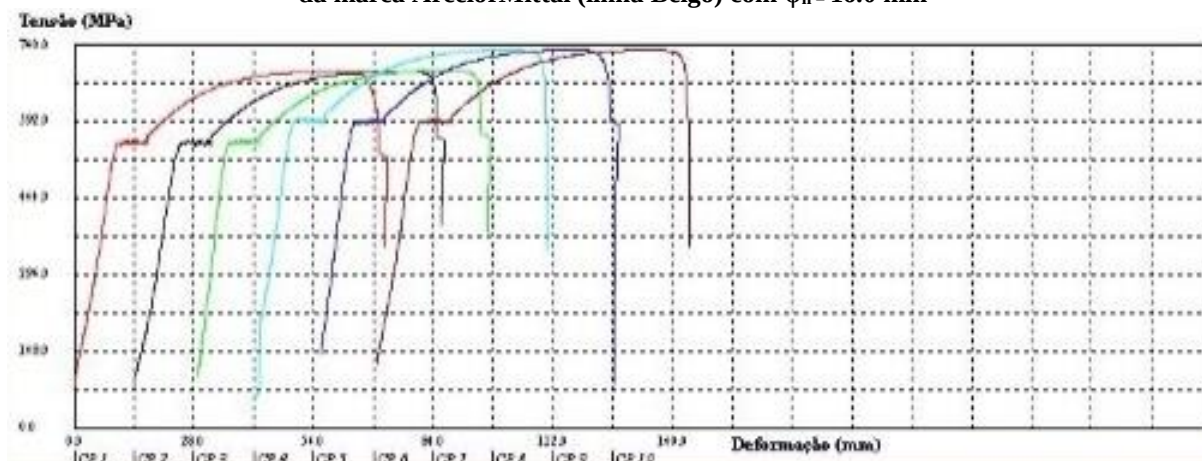
Φ_n (mm)	Corpo de prova	Ref.	Fmax (N)	$\sigma_{\max.n}$ (MPa)	$\sigma_{\max.ef}$ (MPa)	$\sigma_{e.n}$ (MPa)	$\sigma_{e.ef}$ (MPa)	L0 (mm)	Lu (mm)	ϵ (%)
16.0	CP1	B16-12	138810,39	690,39	703,21	546,13	556,27	100	125	25
	CP2	B16-6	138760,86	690,14	700,91	538,29	546,69	100	121	21
	CP3	B16-10	139157,05	692,11	703,19	541,21	549,87	100	122	22
	CP4	B16-2	147031,05	731,27	743,34	305,98	311,03	100	124	24
	CP5	B16-8	147080,58	731,52	741,82	575,22	583,32	100	122	22
	CP6	B16-4	147031,05	731,27	744,80	579,26	589,98	100	120	20
Número de CPs			6	6	6	6	6	6		
Média			142978,50	711,12	722,88	514,35	516,18	22,3		
Mediana			143094,05	711,69	722,51	543,67	549,87	22		
Mínimo			138760,86	690,14	700,91	305,98	311,03	20		
Máximo			147080,58	731,52	744,80	579,26	589,98	25		

Fonte: O autor (2017)

Nota: A amostra B16-2 apresentou valor de tensões de escoamento discrepantes em relação aos demais valores. Não fosse por essa amostra, o valor médio da tensão de escoamento efetiva das amostras teria sido 565,23 MPa.

A figura 5.3 apresenta as curvas tensão-deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca ArcelorMittal (linha Belgo) com $\phi_n = 16.0$ mm.

Figura 5.3 – Curvas tensão x deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca ArcelorMittal (linha Belgo) com $\phi_n = 16.0$ mm



Fonte: O autor (2017)

Com exceção das amostras com 10.0 mm de diâmetro nominal, as amostras da marca ArcelorMittal (linha Belgo) apresentaram curvas tensão-deformação com a forma convencional para aços CA-50 laminados, com todas as regiões do gráfico bem definidas, incluindo o trecho do patamar de escoamento.

5.4.2 Gerdau.

A tabela 4 apresenta os dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 10.0 mm da marca Gerdau.

Tabela 4 – Dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 10.0 mm da marca Gerdau

Φ_n (mm)	Corpo de prova	Ref.	Fmax (N)	$\sigma_{\max.n}$ (MPa)	$\sigma_{\max.ef}$ (MPa)	$\sigma_{e.n}$ (MPa)	$\sigma_{e.ef}$ (MPa)	L0 (mm)	Lu (mm)	ϵ (%)
10.0	CP1	G10-8	61902,60	788,17	811,08	415,04	427,11	100	120	20
	CP2	G10-4	59178,89	753,49	772,56	0,00	0,00	100	118	18
	CP3	G10-2	61506,42	783,12	803,24	677,19	694,58	100	121	21
	CP4	G10-10	61605,47	784,39	806,60	674,61	693,71	100	120	20
	CP5	G10-6	62694,95	798,26	813,40	690,39	703,49	100	115	15
	CP6	G10-12	62100,69	790,69	808,35	679,09	694,26	100	121	21
	CP7	G10-11	62150,21	791,32	811,05	680,35	697,32	100	120	20

Número de CPs
Média
Mediana
Mínimo
Máximo

7	7	7	6	6
61591,32	784,21	803,75	636,11	651,74
61902,60	788,17	808,35	678,14	694,42
59178,89	753,49	772,56	415,04	427,11
62694,95	798,26	813,40	690,39	703,49

7
19,28571429
20
15
21

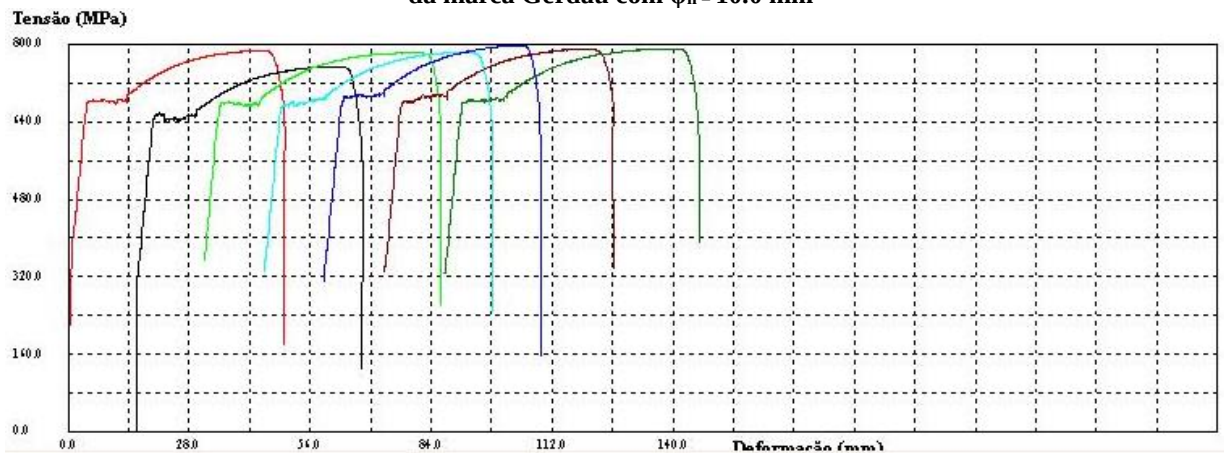
Fonte: O autor (2017)

Nota₁: O software Tesc apresentou um erro na exibição dos dados de $\sigma_{e.n}$ e $\sigma_{e.ef}$ da amostra G10-4. Por esse motivo, esses valores da amostra G10-4 foram desconsiderados dos cálculos das médias das tensões de escoamento nominal e efetiva, e outra amostra foi escolhida para ser ensaiada.

Nota₂: A amostra G10-8 apresentou valores discrepantes de tensões de escoamento nominal e efetiva. Caso também não tivesse sido considerado, o valor da tensão de escoamento efetiva seria de 696,67 MPa.

A figura 5.4 apresenta as curvas tensão-deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca Gerdau com $\phi_n = 10.0$ mm.

Figura 5.4 – Curvas tensão x deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca Gerdau com $\phi_n = 10.0$ mm



Fonte: O autor (2017)

A tabela 5 apresenta os dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 12.5 mm da marca Gerdau.

Tabela 5 – Dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 12.5 mm da marca Gerdau

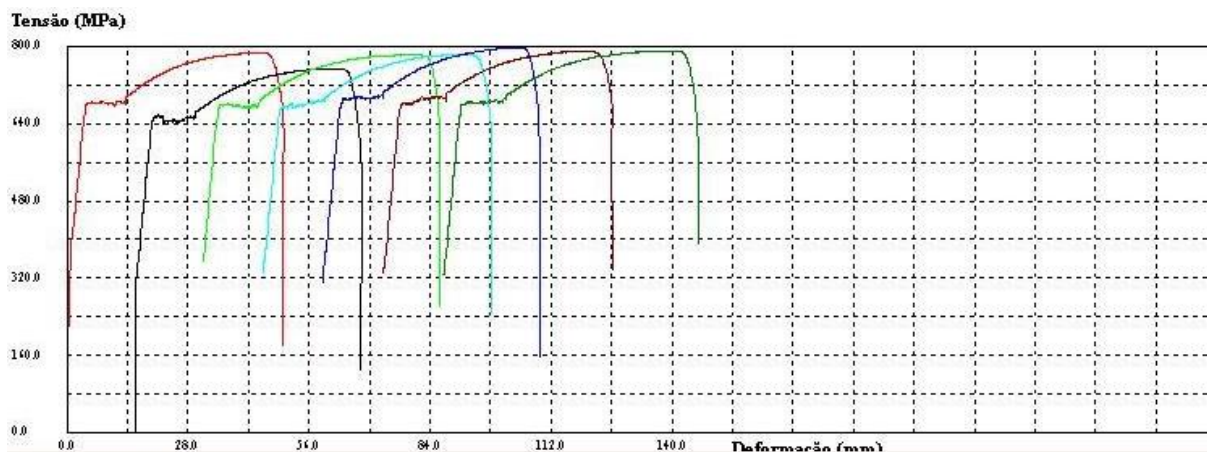
Φ_n (mm)	Corpo de prova	Ref.	Fmax (N)	$\sigma_{max,n}$ (MPa)	$\sigma_{max,ef}$ (MPa)	$\sigma_{e,n}$ (MPa)	$\sigma_{e,ef}$ (MPa)	L0 (mm)	Lu (mm)	ϵ (%)
12.5	CP1	G12,5-12	92989,45	757,75	792,39	610,18	638,07	100	113	13
	CP2	G12,5-2	93154,54	766,13	799,99	629,10	656,90	100	117	17
	CP3	G12,5-6	92925,71	757,23	794,11	626,90	657,44	100	115	15
	CP4	G12,5-8	93596,73	762,69	796,18	632,01	659,76	100	117	17
	CP5	G12,5-10	94018,05	759,09	790,32	628,11	653,95	100	115	15
	CP6	G12,5-4	93156,54	759,11	793,24	631,30	659,68	100	116	16

Número de CPs	6	6	6	6	6	6,0
Média	93306,84	760,33	794,37	626,27	653,78	15,5
Mediana	93155,54	759,10	793,68	628,61	657,44	15,5
Mínimo	92925,71	757,23	790,32	610,18	638,07	13,0
Máximo	94018,05	766,13	799,99	632,01	659,76	17,0

Fonte: O autor (2017)

A Figura 5.5 apresenta as curvas tensão-deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca Gerdau com $\phi_n = 12.5$ mm.

Figura 5.5 – Curvas tensão x deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca Gerdau com $\phi_n = 12.5$ mm



Fonte: O autor (2017)

A tabela 6 apresenta os dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 16.0 mm da marca Gerdau.

Tabela 6 – Dados obtidos do ensaio de tração simples ao qual foram submetidas as amostras de 16.0 mm da marca Gerdau

Φ_n (mm)	Corpo de prova	Ref.	Fmax (N)	$\sigma_{max.n}$ (MPa)	$\sigma_{ax.ef}$ (MPa)	$\sigma_{e.n}$ (MPa)	$\sigma_{e.ef}$ (MPa)	L0 (mm)	Lu (mm)	ϵ (%)
16.0	CP1	G16-6	143316,89	712,80	707,52	603,38	598,91	100	122	22
	CP2	G16-12	144208,30	717,23	708,60	599,39	592,17	100	121	21
	CP3	G16-10	144356,86	717,97	711,38	593,11	587,67	100	120	20
	CP4	G16-8	145000,66	721,17	712,97	602,38	595,53	100	120	20
	CP5	G16-4	144059,73	716,49	713,33	600,83	598,18	100	119	19
	CP6	G16-2	143960,69	716,00	708,36	0,00	0,00	100	118	18

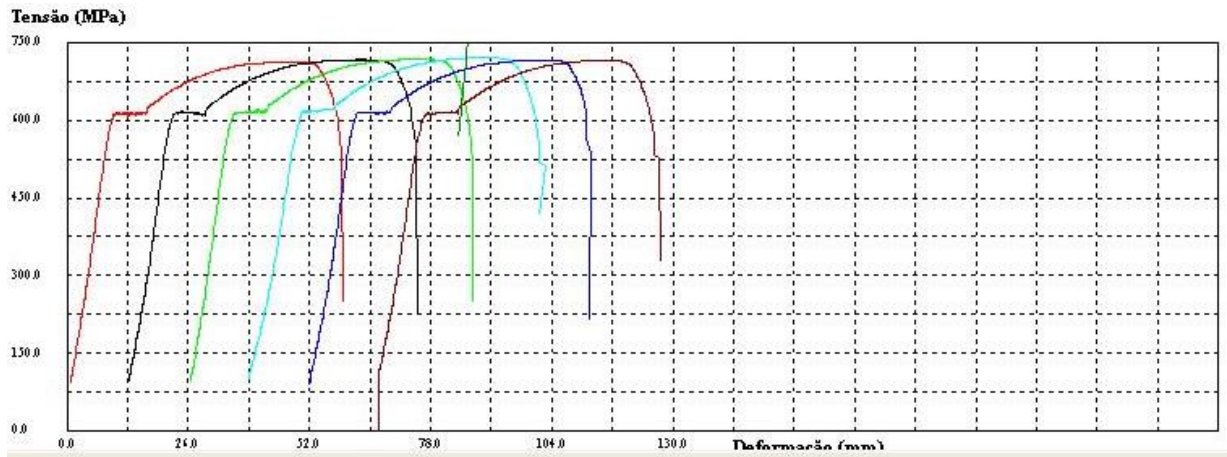
Número de CPs	6	6	6	5	5	6
Média	144150,52	716,95	710,36	599,82	594,49	20
Mediana	144134,02	716,86	709,99	600,11	592,17	20
Mínimo	143316,89	712,80	707,52	593,11	587,67	18
Máximo	145000,66	721,17	713,33	602,38	598,91	22

Fonte: O autor (2017)

Nota¹: A amostra G16-2 apresentou inconsistência nos dados de tensão de escoamento nominal e tensão de escoamento efetiva devido a um erro do software Tesc, que exibiu mensagem relatando a má caracterização do patamar de escoamento. Por esse motivo, essa amostra foi desconsiderada no cálculo das médias de $\sigma_{e.n}$ e $\sigma_{e.ef}$.

A figura 5.6 apresenta as curvas tensão-deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca Gerdau com $\phi_n = 16.0$ mm.

Figura 5.6 – Curvas tensão x deformação obtidas do ensaio de tração simples aplicado às amostras de aço da marca Gerdau com $\varphi_n = 16.0$ mm



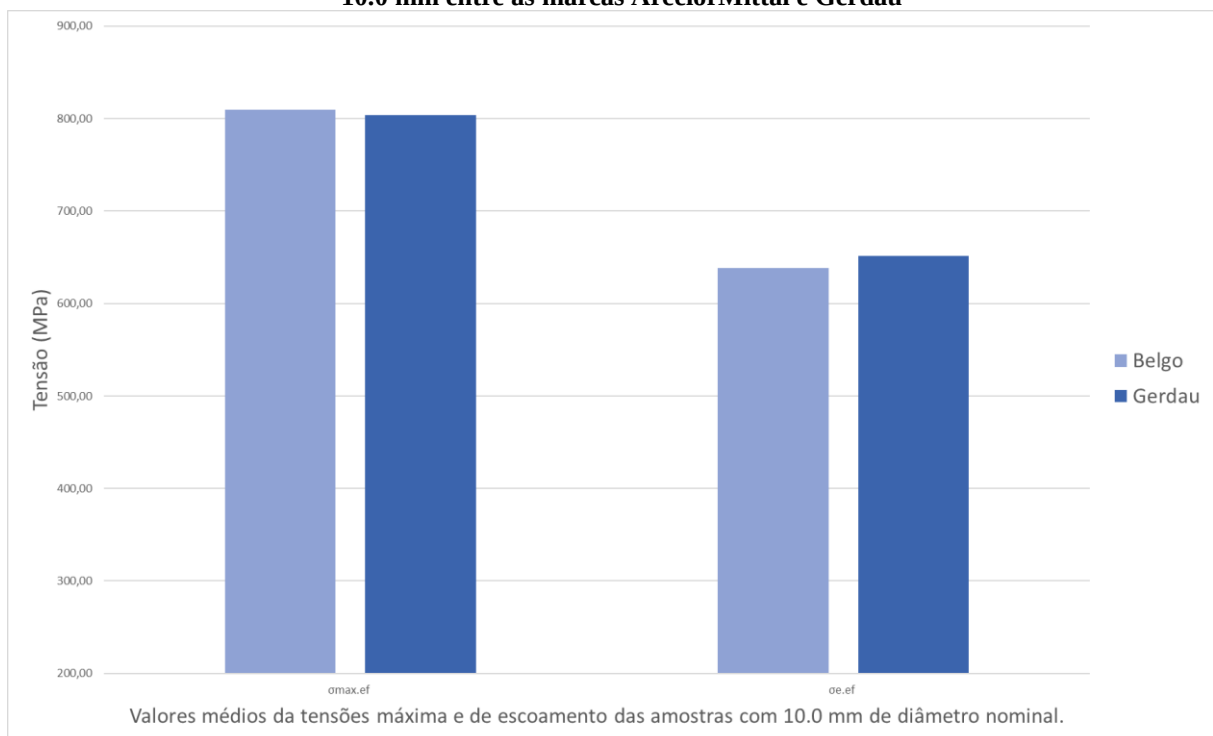
Fonte: O autor (2017)

As amostras da marca Gerdau apresentaram curvas tensão-deformação com a forma convencional para aços CA-50 laminados, com todas as regiões do gráfico bem definidas, incluindo o trecho do patamar de escoamento.

5.4.3 Comparativo Entre Marcas.

O gráfico 5.24 apresenta o comparativo dos valores médios das tensões máximas e de escoamento das amostras com $\varphi_n = 10.0$ mm entre as marcas ArcelorMittal e Gerdau.

Gráfico 5.24 - comparativo dos valores médios das tensões máximas e de escoamento das amostras com $\varphi_n = 10.0$ mm entre as marcas ArcelorMittal e Gerdau

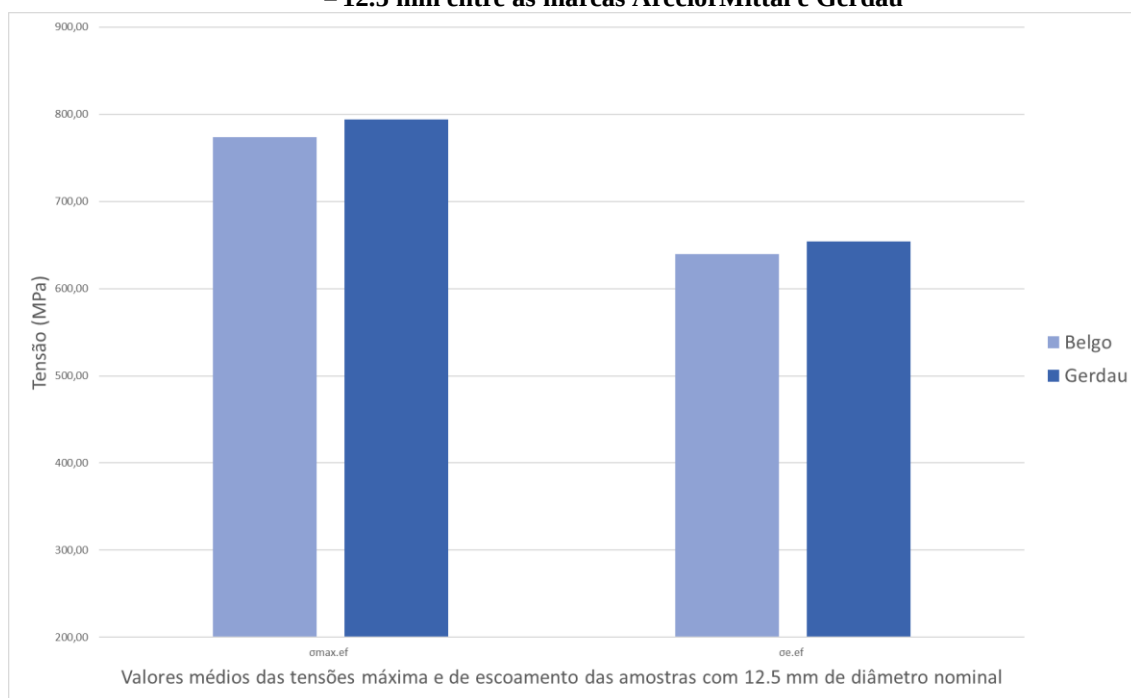


Fonte: O autor (2017)

As amostras de $\varphi_n = 10.0$ mm da marca ArcelorMittal apresentaram uma tensão máxima efetiva média ligeiramente superior ao grupo de amostras concorrente. Entretanto, o grupo de amostras da Gerdau apresentou um valor médio de tensão de escoamento ligeiramente superior ao do grupo de amostras Belgo. Ambas as marcas apresentaram um bom desempenho, superando em muito a marca de 500 Mpa de resistência ao escoamento exigida aos aços da categoria CA-50.

O gráfico 5.25 apresenta o comparativo dos valores médios das tensões máximas e de escoamento das amostras com $\varphi_n = 12.5$ mm entre as marcas ArcelorMittal e Gerdau.

Gráfico 5.25 - comparativo dos valores médios das tensões máximas e de escoamento das amostras com $\varphi_n = 12.5$ mm entre as marcas ArcelorMittal e Gerdau

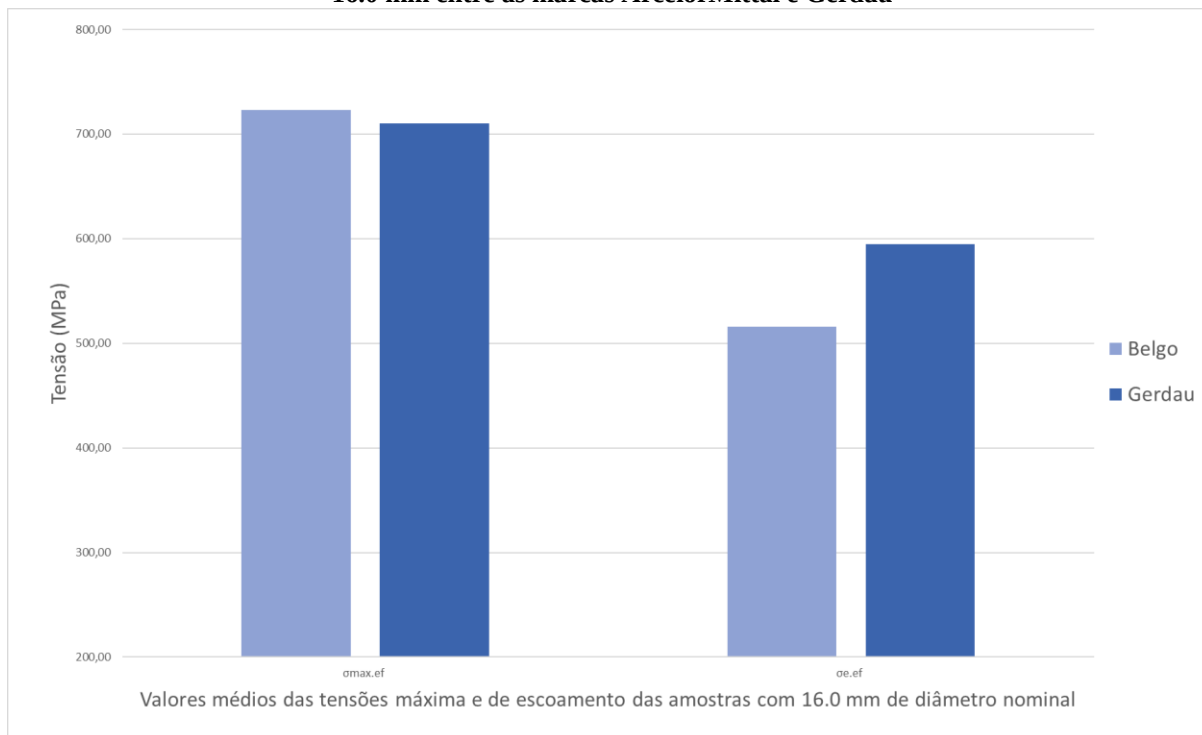


Fonte: O autor (2017)

As amostras de $\varphi_n = 12.5$ mm da marca Gerdau apresentaram valores médios de tensão máxima e de escoamento efetivas ligeiramente superiores aos do grupo concorrente. Porém ambas as marcas apresentaram um bom desempenho, superando em muito a marca de 500 Mpa de resistência ao escoamento exigida aos aços da categoria CA-50.

O gráfico 5.26 apresenta o comparativo dos valores médios das tensões máximas e de escoamento das amostras com $\varphi_n = 16.0$ mm entre as marcas ArcelorMittal e Gerdau.

Gráfico 5.26 - comparativo dos valores médios das tensões máximas e de escoamento das amostras com φ_n 16.0 mm entre as marcas ArcelorMittal e Gerdau



Fonte: O autor (2017)

As amostras de $\varphi_n = 16.0$ mm da marca ArcelorMittal apresentaram uma tensão máxima efetiva média ligeiramente superior ao grupo de amostras concorrente. Entretanto, o grupo de amostras da Gerdau apresentou um valor médio de tensão de escoamento bastante superior ao do grupo de amostras Belgo, aproximando-se dos 600 Mpa. Ainda assim, ambas as marcas superaram o valor de 500 Mpa de resistência ao escoamento exigido aos aços da categoria CA-50.

É interessante notar que o valor do diâmetro efetivo, em quase todos os casos inferior ao diâmetro nominal, contribuiu no aumento substancial dos valores das resistências, visto que a área da seção é inversamente proporcional às tensões aplicadas. Logo, o valor médio da tensão de escoamento das amostras ArcelorMittal de 16.0 mm, igual a 516,18 MPa, poderia ser ainda menor caso fosse considerado o valor calculado a partir do diâmetro nominal.

6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Por terem sido analisadas amostras de vergalhões de duas marcas bastante utilizadas no estado, acredita-se que este estudo pode ser considerado relevante, pois revela e compara dados relacionados diretamente à resistência e à durabilidade das barras de aço, principais propriedades a serem observadas no atendimento aos critérios de segurança em projetos de estruturas de concreto armado.

Conclui-se, quanto aos defeitos físicos verificados, que os grupos de amostras das marcas ArcelorMittal e Gerdau apresentaram basicamente os mesmos defeitos – manchas de óleo, oxidação superficial e formação de escamas – excetuam-se os grupos de diâmetro nominal igual a 16.0 mm, onde o único defeito observado foi o de manchas de óleo nas superfícies das amostras.

Quanto às densidades lineares de massa, os valores da maior parte das amostras ficaram entre os valores nominais e os valores mínimos normativos, excetuando-se as amostras Gerdau de 16.0 mm de diâmetro nominal que foram as únicas a superarem o valor nominal de densidade linear.

Já quanto aos diâmetros efetivos, como já mencionado anteriormente, nenhuma amostra, exceto da marca Gerdau com diâmetro nominal igual a 16.0 mm, alcançou o valor nominal. Dessa forma, os valores de tensões resistentes das amostras cujo diâmetro efetivo foi abaixo do nominal foram maiores que as demais. Em contrapartida, não se deve permitir que os elevados valores de tensões resistentes criem a sensação de que o fato de os aços possuírem baixo diâmetro efetivo será benéfico para o desempenho da estrutura. Nesse caso, vele lembrar que as estruturas em concreto armado são projetadas levando-se em consideração o valor do diâmetro nominal, e isso pode ocasionar a desconfiguração da seção geométrica prevista, alterando a posição da linha neutra.

Quanto às tensões de escoamento, todas as amostras obtiveram resultados satisfatórios, a maior parte delas atingindo cerca de 20% da resistência de escoamento acima do valor nominal.

Os dados dos ensaios aqui apresentados mostram que, apesar de algumas inconformidades relevantes relacionadas às características físicas, as amostras apresentaram de modo geral um bom desempenho mecânico, atendendo aos requisitos exigidos pela NBR ISO 6892-1.

Fica neste trabalho a sugestão do autor para que estudos mais complexos dessa natureza sejam realizados, verificando por exemplo, o grau correlação entre os critérios exigidos na NBR

7480 e durabilidade do aço nas estruturas, além de outras propriedades. Pode-se comparar, inclusive, aços de outras classificações (CA-60, por exemplo), de outros diâmetros ou outras marcas de vergalhões.

Estudos dessa natureza devem ser estimulados pelas universidades, pelos projetistas e pelos construtores, visto que permitem a avaliação comparativa da qualidade dos materiais a serem empregados em edificações com as mais diversas finalidades em todo o estado, além de contribuir para tornar o mercado da construção civil sergipana cada vez mais respeitado e competitivo no cenário nacional.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, P. H. L. Materiais de Construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2012.

ARAÚJO, José Milton de. Curso de Concreto Armado. Vol. 1. Rio Grande: Dunas, 2003.

ARAÚJO, Luis Antônio. Manual de Siderurgia. Vol. 1. São Paulo: Arte & Ciência, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado: especificação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6892-1: Materiais Metálicos: ensaio de tração. Parte 1: método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2013.

BANDEIRA, Adriana Almeida de Castro. Análise do Uso de Estruturas de Aço Em Edificações De Interesse Habitacional. Monografia – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. Vol. 2. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BRAGA, Thomaz dos Mares Guia. Cronologia do uso dos metais. Belo Horizonte, Usiminas, 1998.

CHIAVERINI, Vicente. Aços e ferro fundido. 7ª ed, São Paulo, ABM. 2008.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Aço Brasil Informa. 35ª ed. Boletim informativo – Rio de Janeiro: Dez, 2016.

JÚNIOR, J. H. N. Contribuição ao Estudo da Cinética de Redução de Briquetes Autorredutores. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado) - PUC, Rio de Janeiro, 2002.

WAKELIN, D. H.; RICKETTS, J. A. The nature of ironmaking. In: The making, shaping and treating of steel. Capítulo 1, 11ª edição. AISE, USA, 1999. pp. 01-35.