

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E FLEXÃO DE PERFIL DE SEÇÃO TUBULAR FORMADO A FRIO COM DIFERENTES FORMAS GEOMÉTRICAS

Daniel Sehnem (1), Marcio Vito (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)daniel_sehnem@hotmail.com, (2)marciovito@unesc.net

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a possibilidade de substituição de um tubo comercial formado a frio com costura fabricado através de mesa de rolete, por tubos formados a frio com dobras executadas em prensa dobradeira. Para realização do estudo foram ensaiados tubos com os diferentes processos de fabricação de forma a comparar a resistência à compressão e flexão. As amostras foram divididas em tubo circular (Formado através de mesa de rolete), tubo hexagonal (Fabricado através de prensa dobradeira com seis dobras) e tubo dodecagonal (Fabricado através de prensa dobradeira com doze dobras). Todas as amostras possuem características e área de aço iguais. Os ensaios foram realizados no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE), localizado no Parque científico e tecnológico – I.Parque – IDT Unesc. Através dos resultados obtidos nos ensaios concluiu-se que o tubo fabricado em mesa de roletes apresenta maior resistência mecânica frente aos dois ensaios realizados, seguido pelo tubo com doze dobras e por fim, o tubo com seis dobras com os menores resultados

Palavra-Chave: *Aço, Perfil formado a frio, Tubos.*

1. INTRODUÇÃO

Percebe-se o aumento da utilização de aço na construção civil devido a boa resistência mecânica e agilidade durante a montagem das estruturas, além de redução significativa de desperdícios e do reaproveitamento do material. Os perfis de aço formados a frio também estão ganhando espaço.

Os perfis de aço formados a frio são cada vez mais viáveis para uso na construção civil, em vista da rapidez e economia exigidas pelo mercado. Esse elemento estrutural pode ser eficientemente utilizado em galpões de pequeno e médio porte, coberturas, mezaninos, em casas populares e edifícios de pequeno porte. Tem sido crescente o uso em light steel framing que são painéis estruturados por perfis formados a frio (Silva, Pierin & Silva, 2014)

A busca por materiais com maior resistência mecânica e menor custo ampliou as áreas de pesquisas dos aços dobrados a frio, segundo CASAGRANDE (2014) “[...] o aço aparece como um dos materiais mais utilizados no mundo, no entanto no Brasil o aço é considerado um sistema construtivo como elemento de alto custo”.

A utilização de aço na construção pode trazer reduções de custo em análise global de obra, devido a rápida fabricação e execução.

Como toda estrutura feita de aço, a construção pré-fabricada com perfis formados a frio possui um tempo reduzido de execução. Sendo compostos por chapas finas, possuem leveza, facilidade de fabricação, de manuseio e de transporte, facilitando e diminuindo o custo de sua montagem – menor gasto com transporte, além de não necessitar maquinários pesados para içamento. (Silva et al, 2014).

O perfil formado a frio, é um perfil obtido por dobramento, em prensa dobradeira, de laminas recortadas e de chapa ou tiras, ou por perfilagem, em mesa de roletes, a partir de bobinas laminas a frio ou a quente, sendo ambas as operações realizadas com o aço a temperatura ambiente (NBR 14762:2010).

Os perfis de chapa dobrada, dada a grande variedade de formas de seções transversais que podem ser obtidas e da boa relação massa/resistência, alcançaram lugar de destaque entre as estruturas metálicas, principalmente em obras de menor porte que possuem, em geral, pequenos vãos e carregamentos de pequena intensidade (JAVARONI & GONÇALVES, 2002, p. 149)

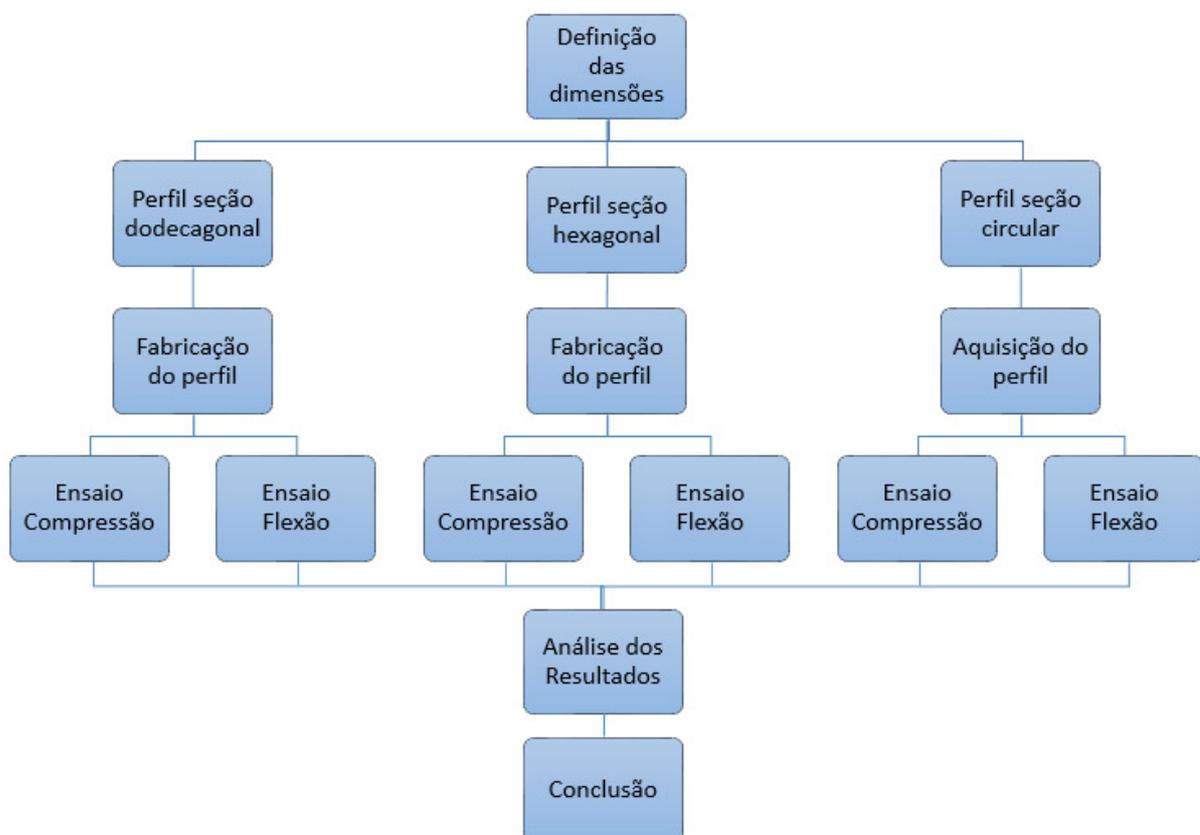
Segundo CARVALHO (2006), os Perfis Fabricados a Frio (PFF) possuem vantagem sobre os laminados. O PFF têm formas e dimensões adequadas as solicitações de cargas. Por ser um perfil criado pode-se otimizar suas dimensões até que o valor da resistência seja igual ao solicitado, ainda segundo CARVALHO (2006), “isso representa facilidade de produção e economia”.

O presente trabalho, visa analisar e comparar a resistência mecânica de um perfil de aço tubular circular convencional (modelo encontrado no comércio) dobrado em mesa de roletes e um perfil de aço tubular circular formado em prensa dobradeira, com as execuções de doze e seis dobras, analisando a resistência a compressão e a flexão dos elementos citados. Com os resultados, pode-se verificar a viabilidade para substituição dos tubos com diferentes processos de fabricação, esta substituição traz vantagens, já que um perfil formado a frio não fica limitado as dimensões pré-determinadas e redução de custos.

2. MATERIAIS E METODOS

Formulou-se um fluxograma de atividades, ilustrado na FIGURA 01, para definir a sequência das atividades elaboradas durante o estudo visando a correta execução dos ensaios e análises comparativas.

FIGURA 01: Fluxograma.



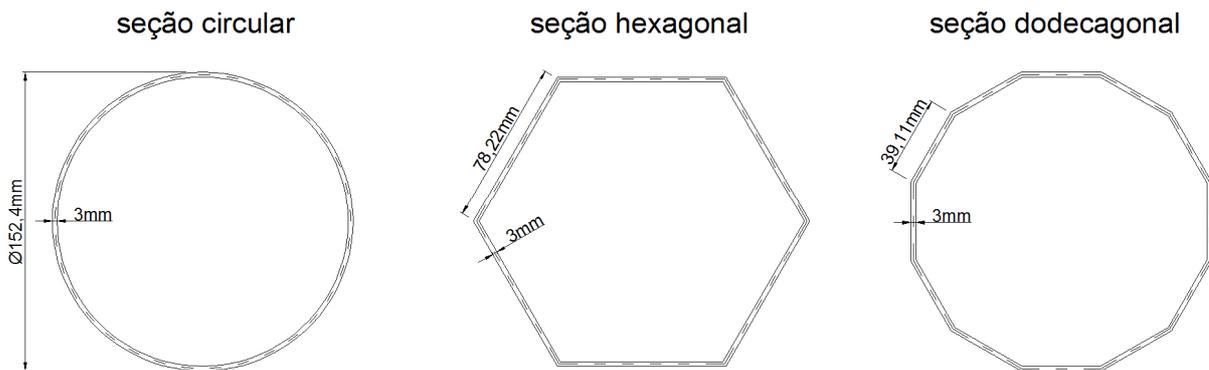
Fonte: Do autor (2017)

2.1 DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES.

A dimensão escolhida para a seção tubular redonda foi definida de acordo com as dimensões existentes em tubos comerciais catalogados e compatíveis com as dimensões mínimas de fabricação das outras formas geométricas, através de prensa dobradeira. Com posse do diâmetro e espessura do tubo circular é possível calcular

a área de aço do mesmo, e assim adotar a mesma área para para os tubos de seções hexagonais e dodecagonais (FIGURA 02).

FIGURA 02: Geometria das seções



Fonte: Do autor (2017)

2.2 FABRICAÇÃO DOS PERFIS

As aquisições dos perfis tubulares de seção circular foram realizadas na empresa Tubos Ipiranga Industria e Comércio, com matriz localizada na rodovia Índio Tibiriça, nº 6000, km 39,5 – Jardim Bandeirantes – Ribeirão Pires – SP. As chapas foram adquiridas na empresa Kloeckner Metals Brasil S.A, localizada na Rua João Goulart, nº 157 – São José – Canoas – RS. Ambas as empresas forneceram certificado com as informações dos materiais utilizados nos ensaios.

De acordo com a NBR 14762 (2010) para que o aço possa ser trabalhado a frio, deve apresentar a relação entre resistência a ruptura e a resistência ao escoamento (f_u/f_y) maior ou igual a 1,08. A escolha do aço utilizado no estudo seguiu também as recomendações da NBR 6591 (2008) que estabelece, no item 4.3, limites máximos na composição química do elemento. Obedecendo esses limites máximos a opção de escolha do material foi SAE 1010, material comum na fabricação de tubos industriais e chapas metálicas, uma vez que o material atende a solicitação de relação entre resistência à ruptura e à resistência ao escoamento da NBR 14762 (2010).

As qualidades do material, juntamente com o peso, foram fornecidas pelo fabricante

através do certificado de qualidade, a área foi fornecida através das tabelas do fabricante.

Os perfis dobrados em prensa dobradeira foram fabricados em duas partes com iguais dimensões e ligado longitudinalmente por duas linhas de solda de topo de acordo com AWS A5.1, em todo seu comprimento, conforme FIGURA 03 a e b.

FIGURA 03: a) Dobras em duas partes; b) Metades ligadas por solda



Fonte: Do autor (2017)

Como o tubo de seção circular comprado no comércio tem apenas uma linha de solda, este sofreu uma divisão no centro transformando-se em dois semicírculos de iguais dimensões e soldado novamente com as mesmas características aplicada ao perfil dobrado em prensa dobradeira, o corte realizado no tubo ocorreu exatamente em cima da solda existente para manter as mesmas características entre as amostras.

Para os ensaios de flexão, utilizou-se amostras com 2500mm de comprimento e para os ensaios de compressão utilizou-se amostras com 450mm de comprimento. A NBR 8800 (2008) determina que as barras não podem ter variação superior a 2mm em seu comprimento, para verificar essa condição criou-se as TABELAS 01 e 02 que informam também as áreas e os pesos das amostras.

TABELA 01: Tabela de amostras para ensaio a compressão

Tipo de Seção	Nº Amostra	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (cm ²)	Comp. (mm)	Peso (kg)
Circular	1	152,4	3	-	14,08	449	4,96
	2	152,4	3	-	14,08	450	4,97
	3	152,4	3	-	14,08	450	4,97
Hexagonal	1	-	3	469,34	14,08	450	4,97
	2	-	3	469,34	14,08	448	4,96
	3	-	3	469,34	14,08	450	4,97
Dodecagonal	1	-	3	469,34	14,08	450	4,97
	2	-	3	469,34	14,08	449	4,97
	3	-	3	469,34	14,08	449	4,97

Fonte: Do autor (2017)

TABELA 02: Tabela de amostras para ensaio a flexão

Tipo de Seção	Nº Amostra	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (cm ²)	Comp. (mm)	Peso (kg)
Circular	1	152	3	-	14,08	2500	27,63
	2	152	3	-	14,08	2499	27,62
	3	152	3	-	14,08	2499	27,62
Hexagonal	1	-	3	469,34	14,08	2500	27,63
	2	-	3	469,34	14,08	2500	27,62
	3	-	3	469,34	14,08	2499	27,62
Dodecagonal	1	-	3	469,34	14,08	2499	27,62
	2	-	3	469,34	14,08	2500	27,63
	3	-	3	469,34	14,08	2501	27,63

Fonte: Do autor (2017)

3. ENSAIOS

Durante a realização dos ensaios, foram selecionadas três amostras para serem ensaiadas a compressão e mais três para serem ensaiadas a flexão de cada forma geométrica, totalizando dezoito amostras.

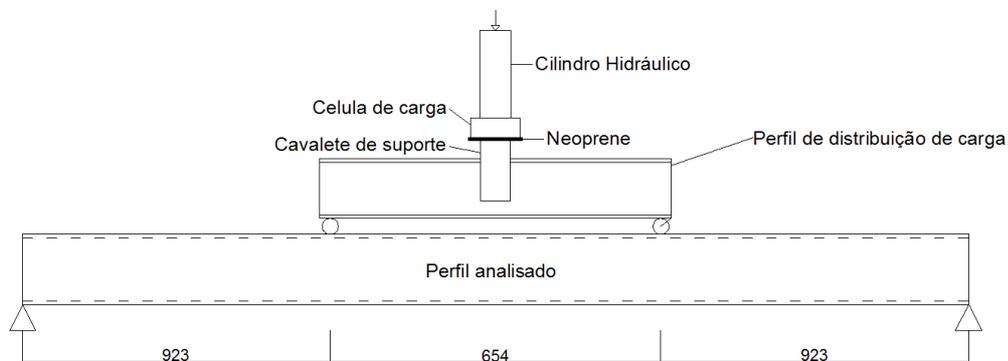
A realização dos ensaios ocorreu no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE), localizado no Parque científico e tecnológico – I.Parque – IDT Unesc. Os ensaios de flexão aconteceram por meio de um cilindro hidráulico no sentido

vertical, transmitido a carga por meio de uma viga metálica rígida e distribuindo as cargas para o elemento analisado conforme FIGURA 05.

A aplicação do carregamento foi realizada através do cilindro da marca ENERPAC com capacidade de 500KN e com célula de carga para medição da força aplicada, utilizou-se dois transdutores de deslocamento do tipo LVTD de 100mm da marca HBM para medição do deslocamento vertical no centro do vão, juntamente com o equipamento de aquisição de dados Quantum X que utiliza o software Catman Easy. Os ensaios de compressão aconteceram por meio de um cilindro hidráulico no sentido vertical, transferindo carga diretamente a amostra, conforme FIGURA 06.

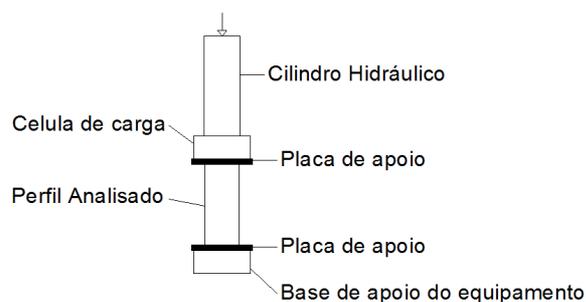
A aplicação do carregamento foi realizada através do cilindro da marca EMIC, modelo PC200i com capacidade de 2000KN e com célula de carga para medição da força.

FIGURA 05: Estrutura do ensaio de flexão.



Fonte: Do autor (2017)

FIGURA 06: Estrutura do ensaio de compressão.

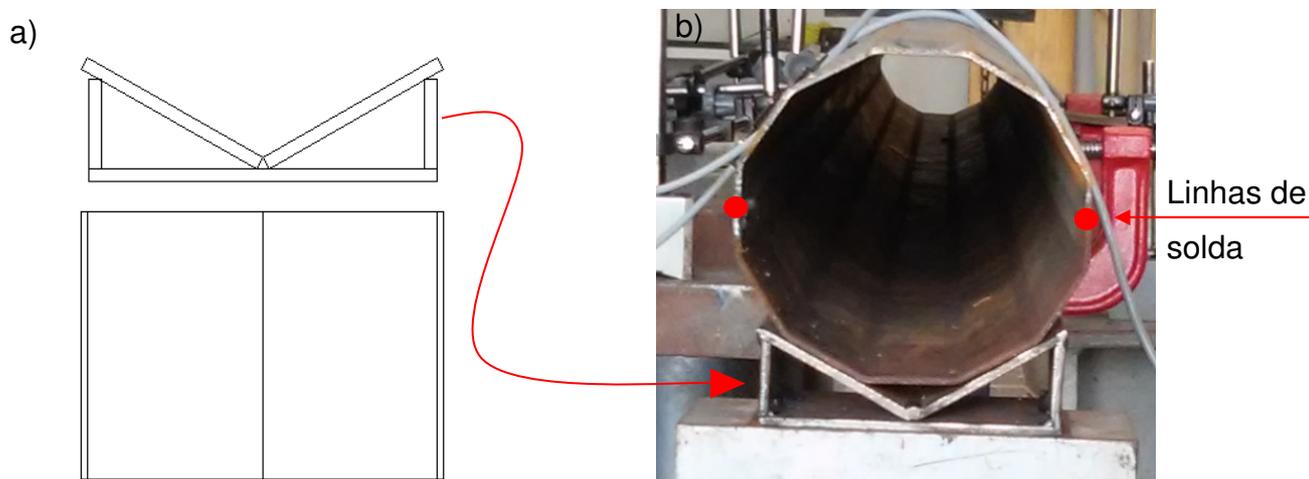


Fonte: Do autor (2017)

3.1 ENSAIO DE FLEXÃO

A fim de evitar deslocamento lateral das amostras, principalmente as circulares, foi desenvolvido um apoio que não permitisse esse deslocamento e que ao mesmo tempo não influenciasse nos resultados, o apoio está ilustrado na FIGURA 07 em seu item a.

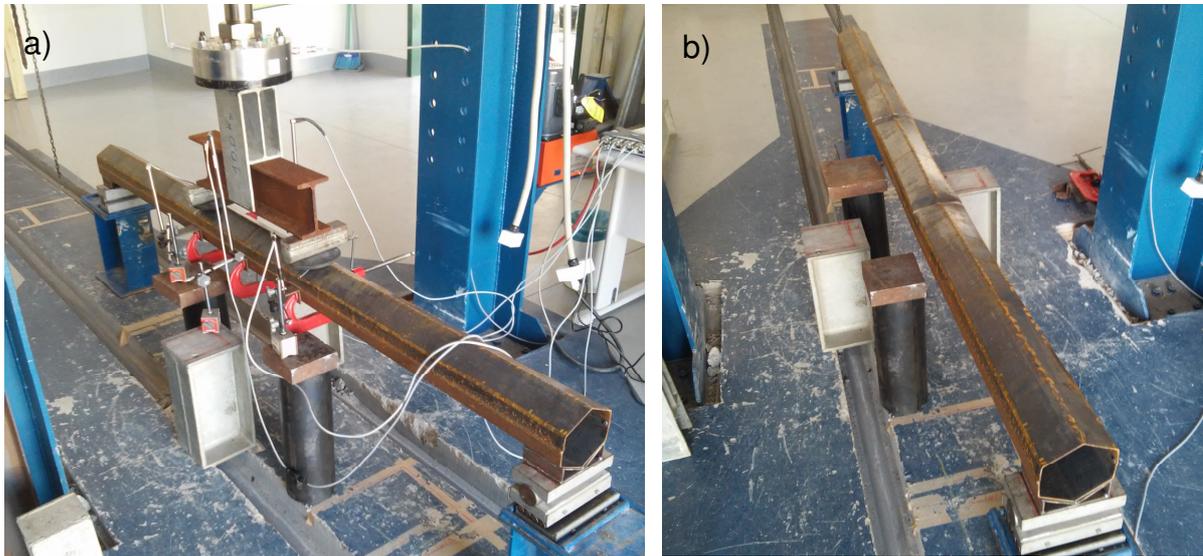
FIGURA 07: a) Apoio utilizado; b) Apoio utilizado.



Fonte: Do autor (2017)

Como não é objetivo do estudo analisar a influência da solda na resistência dos perfis, as linhas de soldas, que são iguais em todas as amostras, foram posicionadas perpendiculares ao carregamento para que permanecessem na linha neutra dos esforços durante o ensaio e não afetassem os resultados, a posição da solda durante o ensaio está representada na FIGURA 07 em seu item b. A FIGURA 08 a seguir, mostra em seu item a, uma das amostras dobradas em prensa durante os ensaios e em seu item b, exibe a mesma peça após o rompimento.

FIGURA 08: a) Amostra Hexagonal; b) Amostra Dodecagonal.

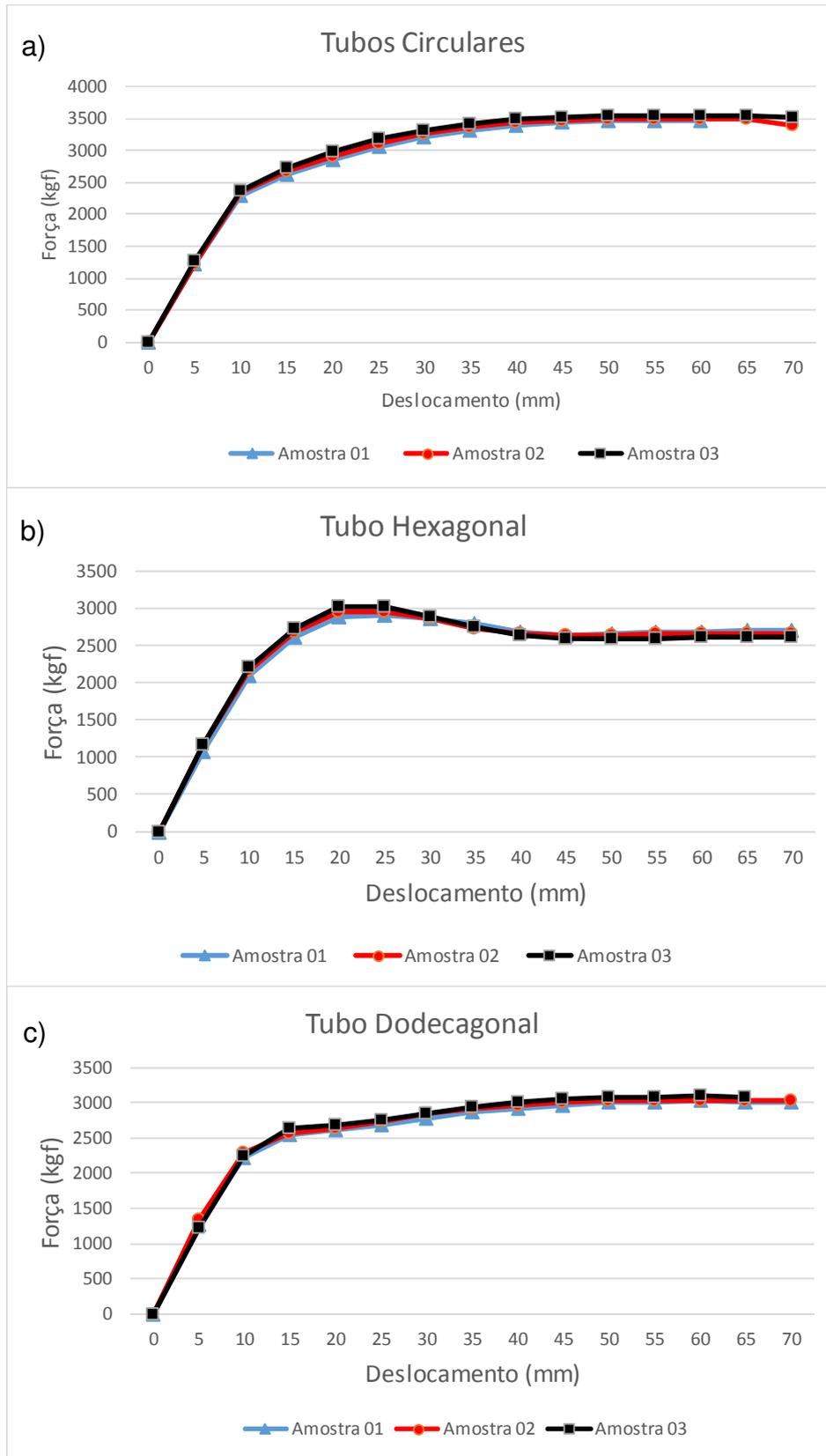


Fonte: Do autor (2017)

3.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO

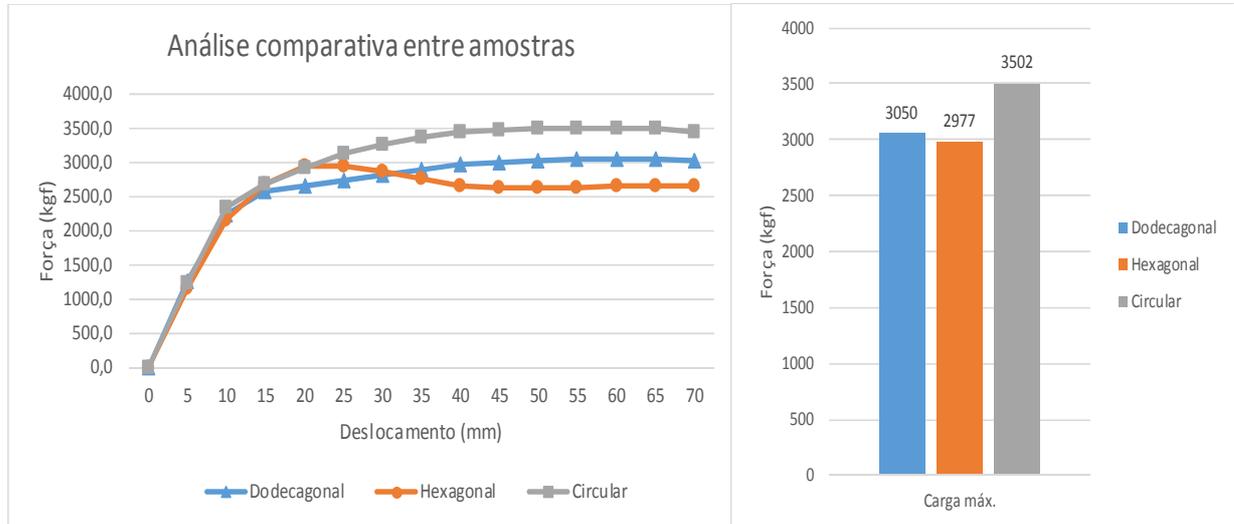
Os perfis ensaiados foram analisados e tiveram seus resultados comparados conforme representado nos gráficos da FIGURA 09, os materiais apresentaram pequena variação entre as peças de mesma forma geométrica conforme ilustrado nos gráficos da FIGURA 09, mas comportamento diferente comparando uma geometria com outra conforme representado na FIGURA 10. Todas as amostras foram levadas até a ruptura, a NBR 8800 (2008) estabelece limites de deslocamentos máximos conforme a utilização em que o elemento será aplicado, a carga de ruptura extrapola os limites máximos de deslocamento e durante a execução dos ensaios foi estabelecido o deslocamento de 70mm, valor que todas as amostras tiveram redução de carga devido a ruptura. Para os gráficos comparativos entre as diferentes formas geométricas ilustrado na FIGURA 10, utilizou-se uma média dos resultados das três amostras de cada tipo de seção.

Figura 09: a) Tubo Circular; b) Tubo hexagonal; c) Tubo dodecagonal



Fonte: Do autor (2017).

Figura 10: Análise comparativa entre as diferentes geometrias.



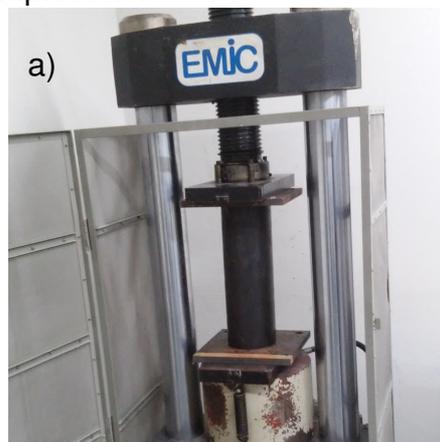
Fonte: Do autor (2017).

Conforme representação gráfica das FIGURAS 09 e 10, o perfil circular apresentou maior resistência mecânica ao ensaio de flexão, seguido pelo tubo com doze dobra, o tubo com menor número de dobra apresentou também a menor resistência mecânica.

3.3 ENSAIO DE COMPRESSÃO

As amostras, com as diferentes formas geométricas (TABELA 01), foram ensaiadas a compressão conforme FIGURA 11, que representa a execução do ensaio.

Figura 11: Ensaio de compressão.



Fonte: Do autor (2017).

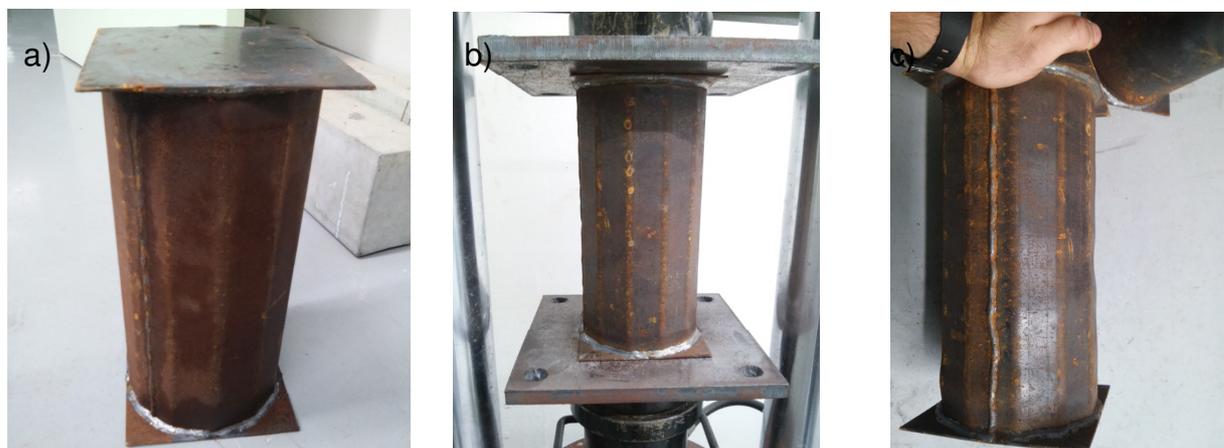
Durante os ensaios, as amostras não sofreram flambagem e o rompimento das amostras se deu nas extremidades dos tubos pois o mesmo tem espessura fina e sofre esmagamento. Afim de garantir rompimento no centro, as amostras foram reduzidas e em suas extremidades foram soldados chapas com as mesmas propriedades mecânicas para aumentar as áreas de aço das extremidades das amostras e verificar qual a real carga que o perfil suporta. A TABELA 03 apresenta as informações geométricas e verifica a condição da NBR 8800 (2008) que determina que as barras não podem ter variação superior a 2mm em seu comprimento. A FIGURA 12 exhibe a amostra já com chapa de compensação de área soldada ao tubo e a amostra durante o ensaio.

TABELA 03: Tabela de amostras para ensaio a compressão

Tipo de Seção	Nº Amostra	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (cm ²)	Comp. (mm)	Peso (kg)
Circular	1	152,4	3	-	14,08	310	3,43
	2	152,4	3	-	14,08	309	3,42
	3	152,4	3	-	14,08	309	3,42
Hexagonal	1	-	3	469,34	14,08	310	3,43
	2	-	3	469,34	14,08	310	3,43
	3	-	3	469,34	14,08	310	3,43
Dodecagonal	1	-	3	469,34	14,08	309	3,42
	2	-	3	469,34	14,08	311	3,43
	3	-	3	469,34	14,08	309	3,43

Fonte: Do autor (2017)

FIGURA 12: a) Amostra com chapa; b) Ensaio de compressão; c) Amostra rompida



Fonte: Do autor (2017).

3.4 RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO

A FIGURA 13 exibe os resultados de força máxima resistente obtidos no laboratório durante os ensaios, percebe-se que a variação de resistência a compressão apresentou diferença maior em relação a resistência a flexão, mas proporcionalmente similar uma vez que a resistência a compressão é maior que a resistência a flexão nesse ensaio.

TABELA 04: Resultado dos ensaios.

Perfil	Amostra	Carga Ultima (KN)	Valor Médio (KN)
Circular	1	564,30	542,10 ± 19,29
	2	532,60	
	3	529,40	
Hexagonal	4	442,50	423,73 ± 19,88
	5	402,90	
	6	425,80	
Dodecagonal	7	481,10	478,87 ± 1,99
	8	478,20	
	9	477,30	

Fonte: Do autor (2017)

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, nota-se que os tubos fabricados em prensa dobradeira apresentaram menor resistência mecânica comparados com o tubo fabricado em mesa de roletes. Analisando-se somente os tubos fabricados em prensa dobradeira, o tubo com maior número de dobras apresentou também maior resistência mecânica.

A conformação do material a temperatura ambiente transforma as regiões dobradas de elásticas em plástica, apresentando maior resistência mecânica nas regiões em que o material foi conformado, conforme NBR 14762 (2010), porém a norma também indica que os perfis tubulares com seção transversal circular devem ser dimensionados seguindo a NBR 8800 (2008), norma que não considera o aumento

de resistência devido a dobra e analisa o material como aço virgem, uma vez que o perfil tubular pode ser fabricado também por extrusão.

Percebe-se nos resultados, que a quantidade de dobra está relacionada com o aumento da resistência do perfil, o perfil hexagonal teve seis regiões plastificadas e apresentou resultado médio menor que o perfil dodecagonal, o qual teve doze regiões plastificadas. Já o perfil circular se apresentou-se o mais resistente, justamente porque a plastificação do processo de fabricação em mesa de roletes não ocorre apenas em pontos do perfil, mas se estende ao longo de todo o perímetro, plastificando toda a seção transversal do perfil e não somente pontos específicos.

Para os ensaios de flexão, o perfil circular apresentou resistência 13% maior que o perfil dodecagonal e 15% maior que o perfil hexagonal. Para os ensaios de compressão, o perfil circular apresentou resistência 12% maior que o perfil dodecagonal e 22% maior que o perfil hexagonal.

5. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Seguindo a linha de pesquisa adotada, sugere-se algumas alternativas de pesquisas:

- Análise de influência da solda longitudinal na resistência do perfil tubular circular.
- Análise de flexocompressão de perfil tubular de diferentes formas geométricas e processos de fabricação.
- Análise de resistência de perfil tubular circular conformado a frio e conformado a quente.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008, 237 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14762. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010, 87 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6591. **Tubos de aço-carbono com solda longitudinal de seção circular, quadrada, retangular e especial para fins industriais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008, 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8261. **Tubos de aço-carbono, formado a frio, com e sem solda, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010, 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6006. **Aço carbono e ligados para construção mecânica – Designação e composição.** Rio de Janeiro: ABNT, 2000, 19 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6355. **Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 37 p.

SILVA, Edson Lubas; PIERIN, Igor; SILVA, Valdir Pignatta. **Estruturas compostas por perfil formado a frio:** 1. ed Rio de Janeiro: IAB, 2014. 193 p.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço:** dimensionamento prático. 8. ed Rio de Janeiro: LTC, 2010. 357 p.

CARVALHO, Paulo Roberto Marcondes de et al. **Curso básico de perfis de aço formado a frio.** 2. Ed Porto Alegre: [s.n.], 2006. 374 p.

CUSTÓDIO, Fábio Sumara. **Análise da influência da dobra na resistência à flexão de um perfil de aço formado a frio aplicado no setor de estruturas metálicas.** 2012. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do extremo sul catarinense, Criciúma.

CASAGRANDE, Bruno Luciano. **Análise da resistência a tração de chapa de aço com uma dobra.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do extremo sul catarinense, Criciúma.