

## **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GALVANIZAÇÃO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PERFIL DE AÇO FORMADO A FRIO**

Renato de Souza Milanez (1), Márcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)renato@unesec.net (2)marciovito@unesec.net

### **RESUMO**

Os perfis de aço formados a frio ganham cada vez mais destaque no mercado pela economia devido a sua geometria adaptável conforme a solicitação. Do mesmo modo, a galvanização por imersão a quente se mostra a melhor opção para a proteção do aço referente à corrosão por longos períodos. A presente pesquisa tem como intuito analisar a influência da galvanização na resistência mecânica de chapas de aço dobradas a frio, bem como chapas de aço sem dobra. As amostras foram estabelecidas com dobra a 90° e espessura de 7,9 mm. No ensaio de metalografia não se verificou o surgimento de fissuras nas chapas dobradas. Os dados obtidos através do ensaio de tração confirmam a influência da galvanização, que além da sua finalidade de aumentar a resistência à corrosão, aumenta a resistência mecânica do aço conformado a frio, resultando num acréscimo da tensão máxima de 8,72%. Além disso, aumentou a ductilidade, as amostras dobradas que tinham deformação máxima de 10,38% passaram a ter 2,34% a mais de deformação. As peças dobradas sofrem o encruamento por se tratar de um processo a frio, indicando que a influência da galvanização é referente ao alívio térmico provocado nas peças encruadas, pois não se observou essa influência nas peças sem dobra.

*Palavras-chave: Perfis formados a frio. Galvanização. Resistência. Dobra.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Largamente usado na construção civil, o aço pode estar presente como parte das obras ou como material principal. O sistema construtivo em aço permite liberdade no projeto de arquitetura, maior área útil, flexibilidade, compatibilidade com outros materiais, menor prazo de execução, racionalização de materiais e mão-de-obra, alívio de carga nas fundações, garantia de qualidade, maior organização nos canteiros de obras e precisão construtiva. A maior resistência do aço conduz à

melhoria das condições para vencer grandes vãos, com menores dimensões das peças e menores pesos (DIAS, 2001).

A indústria da construção civil aprimora as técnicas de maneira a racionalizar o sistema construtivo de execução de suas obras. Dessa forma, o desenvolvimento tecnológico é de suma importância para o crescimento do mercado.

A decisão pela implantação de novas tecnologias é um processo por meio do qual um indivíduo conhece uma inovação, forma a opinião de rejeitar ou adotar uma nova ideia, e confirma esta decisão (TOLEDO et al, 1999).

Segundo Barros (1996) apud Taniguti et al (1998), inovação tecnológica é “um aperfeiçoamento tecnológico, resultado de atividades de pesquisa e desenvolvimento internas ou externas à empresa, aplicado ao processo de produção do edifício objetivando a melhoria de desempenho, qualidade ou custo do edifício ou de uma parte do mesmo”.

Nesse contexto, os perfis formados a frio (PFF) são uma alternativa que vem ganhando cada vez mais destaque no mercado devido a sua geometria adaptável. A adequação torna-os uma opção econômica, uma vez que se pode otimizar as dimensões desejadas conforme sua solicitação.

Segundo Chamberlain, Ficanha e Fabeane (2013), os perfis conformados a frio são elementos obtidos pelo processo de dobramento a frio de chapas de aço, que podem ser produzidos de acordo com a forma e tamanho solicitados, respeitando as limitações de normas e equipamentos.

Do mesmo modo, a galvanização por imersão a quente, também conhecida como galvanização a fogo, se mostra a melhor opção para a proteção do aço referente à corrosão por longos períodos.

A cada 90 segundos, em todo o mundo, uma tonelada de aço é consumida pela corrosão; de cada duas toneladas de aço produzido, uma é para substituir o aço corroído. Ao proteger uma tonelada de aço contra a corrosão, através da galvanização por imersão a quente, economiza-se energia suficiente para atender às necessidades de uma família média por várias semanas. (ICZ Instituto de Metais Não Ferrosos, pg. 5)

Muitas vezes, a redução da ductilidade do metal trabalhado a frio é indesejável, e um amolecimento do metal se faz necessário. Para isso, o metal trabalhado a frio é aquecido em um forno (SMITH; HASHEMI, 2012, p.184).

Como a galvanização por imersão a quente eleva a temperatura, diversos trabalhos são encontrados no que se refere às variações de propriedades mecânicas dos materiais metálicos, no qual se verifica alteração de sua resistência mecânica com o aumento de temperatura (SINHA, 2010; CHIAVERINI, 1996).

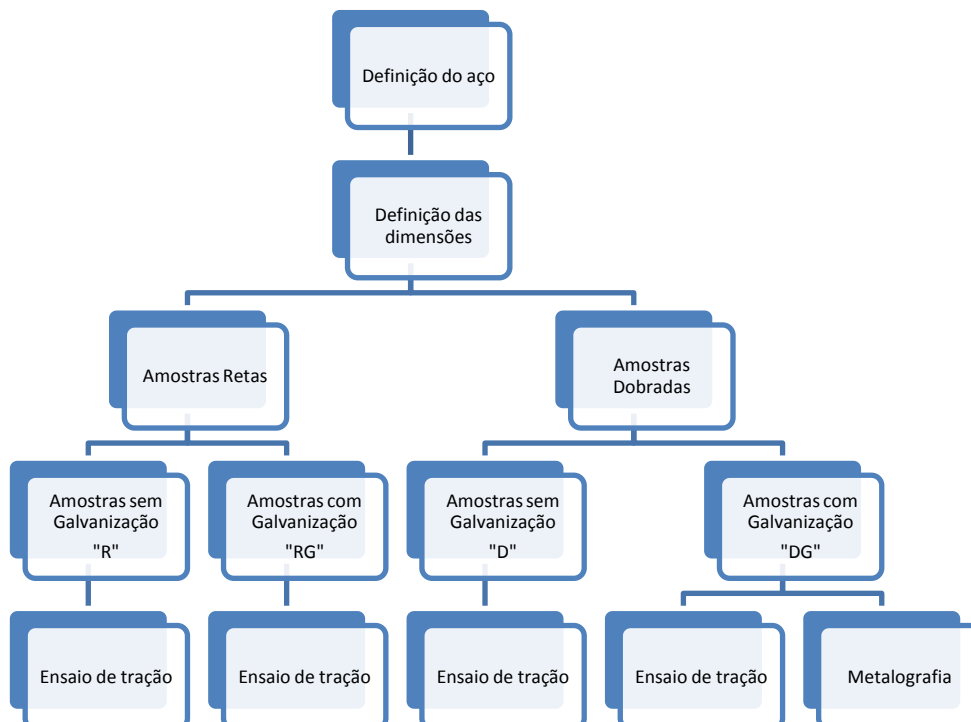
Esta pesquisa tem como objetivo principal apresentar uma análise sobre a influência da galvanização por imersão a quente na resistência mecânica de chapas de aço sem dobras, bem como chapas de aço dobradas a frio.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O comportamento dos diversos materiais é afetado, além de outros fatores, pela temperatura. Os metais, de modo geral, quando expostos em temperaturas elevadas, apresentam alterações de resistência e aumento da sua ductilidade, o que pode provocar alterações nas propriedades mecânicas.

O desenvolvimento da pesquisa se deu de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 01.

Figura 01: Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autor (2015)

## 2.1. ESPECIFICAÇÕES DAS AMOSTRAS

Para melhor compreensão da pesquisa, foi adotada uma nomenclatura para as amostras, conforme abaixo:

- “R” – amostras retas sem galvanização;
- “RG” – amostras retas com galvanização;
- “D” – amostras dobradas sem galvanização;
- “DG” – amostras dobradas com galvanização.

Para cada tipo de amostra foram fabricados 3 corpos de prova, totalizando 12 corpos de prova. A Figura 02 exibe todas as peças utilizadas no ensaio de tração e a peça moldada para o ensaio de metalografia.

Figura 02: Corpos de prova



Fonte: Autor (2015)

O material utilizado nas amostras foi o aço ASTM A36, pois é de grande utilização por empresas do ramo metalúrgico. Este material está de acordo com as prescrições da NBR 14762:2010, item 4.1.1, para que o aço possa ser trabalhado a frio, apresentando a relação entre resistência à ruptura e resistência ao escoamento ( $f_u/f_y$ ) maior ou igual a 1,08.

As amostras retas foram dimensionadas com 50 mm de largura por 150 mm de comprimento, e possuem 7,9 mm (5/16”) de espessura. As amostras dobradas tiveram a necessidade de aumento das dimensões para que a peça não

eskorregasse nas garras do equipamento de tração, foram dimensionadas com 80 mm de largura por 180 mm de comprimento, espessura de 7,9 mm (5/16”), com raio interno de aproximadamente 7 mm.

As dobras foram executadas no meio da peça, no sentido longitudinal do comprimento, com inclinação de 90°, ângulos mais comumente usados na produção de PFFs.

De acordo com Carvalho (2006), existem dois métodos para a dobra dos perfis formados a frio: através de perfiladeiras (processo contínuo) ou prensas dobradeiras (processo descontínuo). Sendo que para este estudo foi adotado o processo de prensa dobradeira.

## **2.2. GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE**

Segundo Allen e Iano (2013), a galvanização a quente é um método no qual um elemento ou um conjunto de elementos de aço é mergulhado em um banho de zinco fundido.

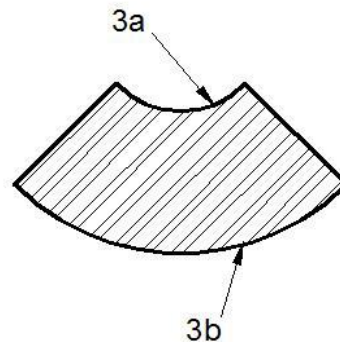
Para Smith e Hashemi (2012), os revestimentos metálicos, como a galvanização, têm o intuito de separar o ambiente corrosivo do metal, além de servir como ânodos de sacrifício, corroendo no lugar do metal.

De acordo com Ramanathan (1997), os componentes de aço são imersos em banho de zinco em uma faixa de temperatura de 430 à 470°C. O processo de galvanização dessa pesquisa foi realizado na faixa de temperatura de 435 à 460°C.

## **2.3. ENSAIO DE METALOGRAFIA**

O ensaio de metalografia foi realizado no i-DT UNESC (Instituto de Engenharia e Tecnologia). Anteriormente ao ensaio, a amostra passou por uma politriz, foram usadas lixas 80, 120, 320, 400, 500, 600, 1200. O término do polimento foi feito utilizando óxido de alumínio (alumina). Para melhor visibilidade e revelação dos cristais, a amostra passou por um ataque químico de aproximadamente 6 segundos, utilizando o NITAL (ácido nítrico e álcool). Para a obtenção das imagens foi utilizado o microscópio Olympus BX 41 led. A Figura 03 ilustra a seção transversal.

Figura 03: Indicação da localização das imagens da Metalografia



Fonte: Autor (2015)

## 2.4. ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração simples foi realizado no i-DT UNESC. O equipamento utilizado para o teste foi uma prensa EMIC modelo DL1000 (Máquina Universal de Ensaio) com capacidade máxima de 100 KN.

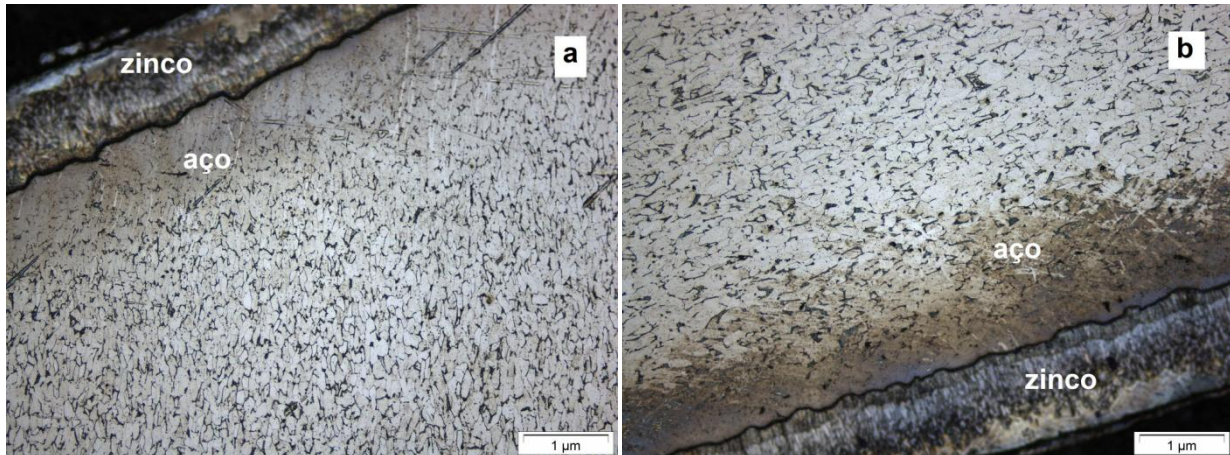
As amostras dobradas foram cortadas de forma a conceder que o ensaio de tração, que foi executado no sentido longitudinal das dobras, atingisse somente a seção dobrada, onde começa e termina o raio da dobra. A Figura 03 ilustra a seção transversal das amostras dobradas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No ensaio metalográfico pode-se observar a camada de galvanização e a disposição dos cristais (grãos). A Figura 04.a mostra a extremidade do raio interno da amostra, onde não houve fissuras. Percebe-se um pequeno alongamento dos cristais no sentido vertical e aproximação no sentido horizontal, uma tensão residual resultante da compressão devido à dobra. A Figura 04.b apresenta a extremidade do raio externo da amostra, onde também não houve fissuras e os cristais apresentam uma disposição contrária à da Figura 04.a, resultante da tração.



Figura 04.a) Parte interna da dobra; b) Parte externa da dobra



Fonte: Autor (2015)

As Tabelas 01 e 02 apresentam os resultados do ensaio de tração das amostras “R” e “RG”. Os dados obtidos de deformação específica e tensão máxima são muito próximos entre as amostras e apresentaram um desvio padrão pequeno, mostrando um comportamento constante do material. Os ensaios mostraram que mesmo após a galvanização as peças continuam com resultados similares.

Tabela 01: Ensaio de tração das amostras “R”

Amostra	Deformação (%)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)
R1	23,81	389,82
R2	24,13	391,62
R3	24,12	394,51
<b>Média</b>	<b>24,02 (± 0,18)</b>	<b>391,98 (± 2,37)</b>

Fonte: Autor (2015)

Tabela 02: Ensaio de tração das amostras “RG”

Amostra	Deformação (%)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)
RG1	23,39	390,91
RG2	24,15	389,14
RG3	23,36	389,54
<b>Média</b>	<b>23,63 (± 0,45)</b>	<b>389,86 (± 0,93)</b>

Fonte: Autor (2015)

As Tabelas 03 e 04 apresentam os resultados do ensaio de tração das amostras “D” e “DG”. Os dados de deformação específica e tensão máxima apresentaram variabilidade superior às amostras retas por se tratar de peças que passaram por mais processos, como dobra e corte, o que resultou em um desvio padrão maior. As peças galvanizadas mostraram aumento na deformação. As amostras “D” tiveram uma deformação média de 10,38%, e as amostras “DG” 12,72%. Percebe-se que o aumento mais significativo ocorreu na tensão máxima das peças galvanizadas. A tensão máxima média para as amostras “D” é de 475,61 MPa enquanto para as amostras “DG” é de 517,10 MPa.

Tabela 03: Ensaio de tração das amostras "D"

Amostra	Deformação (%)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)
D1	11,01	465,10
D2	11,26	477,59
D3	8,86	484,15
<b>Média</b>	<b>10,38 (<math>\pm</math> 1,32)</b>	<b>475,61 (<math>\pm</math> 9,68)</b>

Fonte: Autor (2015)

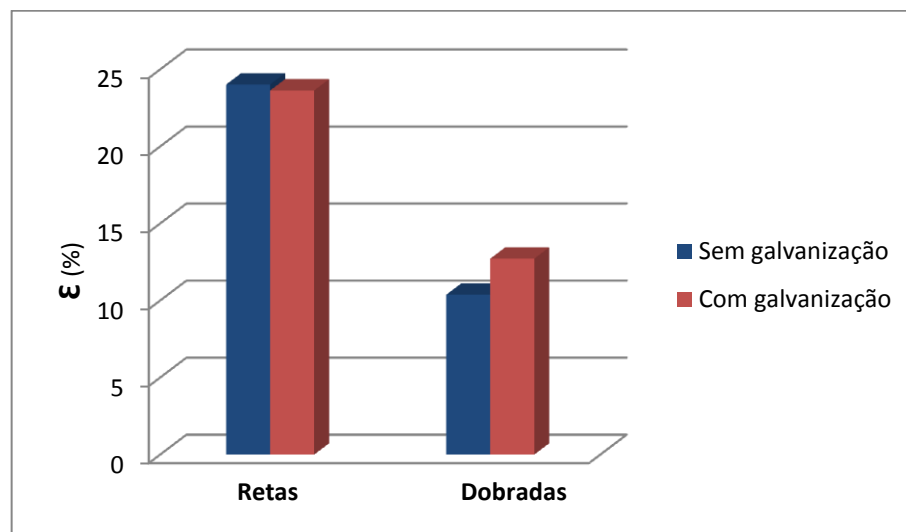
Tabela 04: Ensaio de tração das amostras "DG"

Amostra	Deformação (%)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)
DG1	12,62	530,96
DG2	11,57	518,23
DG3	13,96	502,11
<b>Média</b>	<b>12,72 (<math>\pm</math> 1,20)</b>	<b>517,10 (<math>\pm</math> 14,46)</b>

Fonte: Autor (2015)

Os valores de deformação e tensão máxima são apresentados nas Figuras 05 e 06, respectivamente, em gráfico comparativo, para a melhor percepção dos resultados. As amostras retas praticamente não são influenciadas pela galvanização. No entanto, as amostras dobradas sofrem influência da galvanização tanto na deformação quanto na tensão máxima.

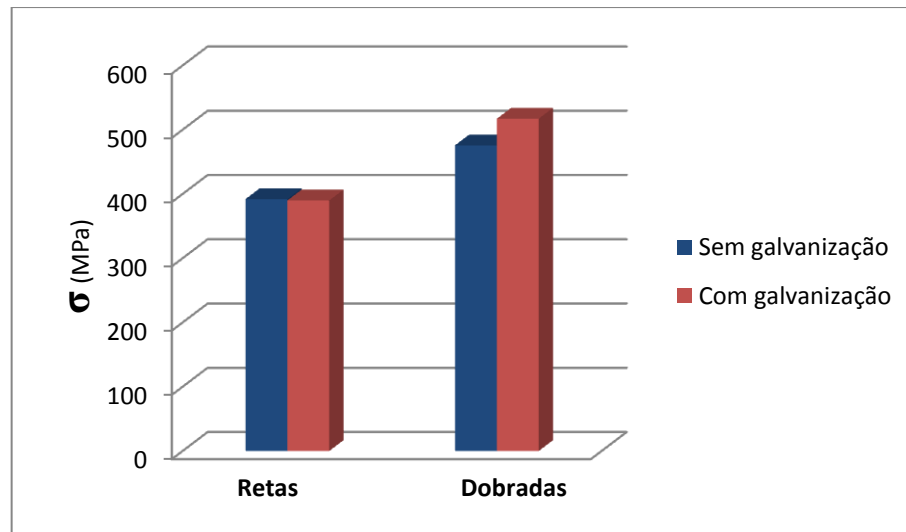
Figura 05: Valores das deformações máximas



Fonte: Autor (2015)



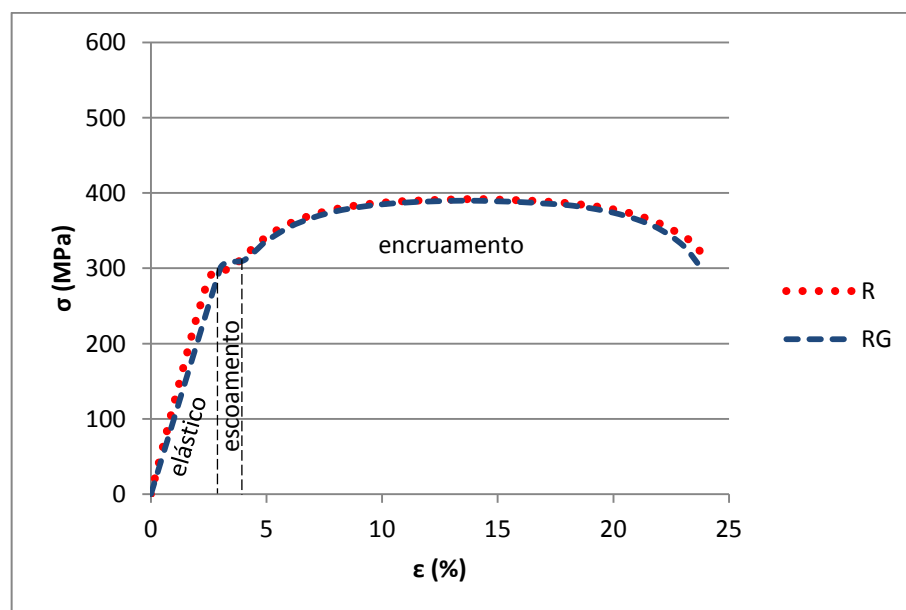
Figura 06: Valores das tensões máximas



Fonte: Autor (2015)

A Figura 07 exibe o gráfico do ensaio de tração das amostras “R” e “RG”. No qual é possível visualizar o comportamento similar entre os corpos de prova, independente de serem ou não galvanizados. As curvas de tensão x deformação seguem um comportamento semelhante ao da literatura, exibindo a região de comportamento elástico e a região de encruamento com um patamar de escoamento determinando a transição entre as fases elástica e plástica.

Figura 07: Gráfico tensão x deformação das amostras retas



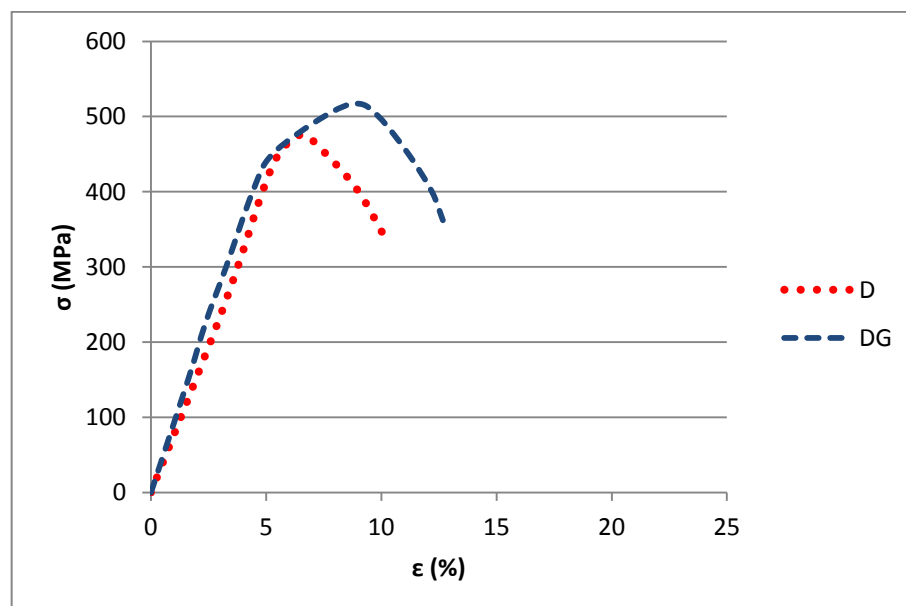
Fonte: Autor (2015)

Com a deformação a frio, as propriedades mecânicas são modificadas. As peças dobradas, comparadas às peças retas, tiveram aumento da tensão máxima e diminuição da ductilidade.

A deformação a frio provocada sobre os materiais ocasiona importantes alterações nas propriedades mecânicas, físicas e químicas dos mesmos. Com o aumento do grau de deformação aumentam a resistência ao escoamento e a dureza. Diminuem a ductilidade, a resistência elétrica, a resistência à corrosão e a condutibilidade térmica. (SCHAEFFER, 1995, p.56)

Ainda assim, com a galvanização, as curvas tensão x deformação das amostras dobradas apresentaram um ganho na tensão máxima, além de aumentar a deformação máxima, acrescentando ductilidade ao corpo de prova. De acordo com as Tabelas 03 e 04, todas as amostras galvanizadas ultrapassaram 500 MPa na sua tensão máxima, o que não ocorreu com as amostras sem galvanização. Na Figura 08 consta o gráfico dos ensaios de tração das amostras “D” e “DG”, onde se percebe essas alterações.

Figura 08: Gráfico tensão x deformação das amostras dobradas

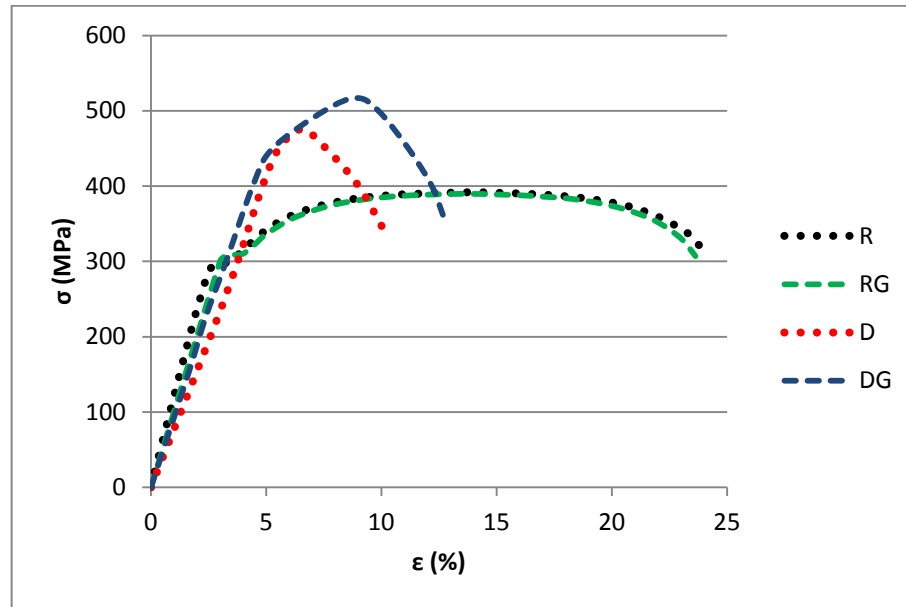


Fonte: Autor (2015)

A Figura 09 apresenta as curvas tensão x deformação dos 4 tipos de amostras, o comportamento das amostras dobradas é diferente das retas devido ao

encruamento. A galvanização não influencia as amostras retas, contudo as amostras dobradas apresentam alteração no comportamento.

Figura 09: Gráfico tensão x deformação de todas as amostras



Fonte: Autor (2015)

#### 4. CONCLUSÕES

Nas amostras dobradas estudadas os cristais sofreram uma pequena deformação por alongamento, conforme foi constatado no ensaio de metalografia. Não se observou o surgimento de fissuras.

A galvanização tem a função de proteger o aço contra a corrosão, não demonstrando, a princípio, interferência nas propriedades físicas e mecânicas do mesmo. A camada de zinco obtida no processo de galvanização tem uma espessura muito pequena, conseqüentemente, o aumento de seção da peça não é expressivo, conforme se constatou com as amostras “R” e “RG”. A NBR 6323:1990 especifica a massa mínima de zinco por unidade de área e a espessura mínima equivalente do revestimento, os valores tabelados não ultrapassam 600 g/m<sup>2</sup> e 85 µm. No entanto, o presente estudo, através dos ensaios de tração, mostra uma influência positiva significativa na resistência mecânica das chapas dobradas que passaram pelo processo de galvanização, o que não ocorreu nas amostras retas.

É importante salientar que o estudo não tinha o intuito de mostrar a influência da dobra, pois o encruamento, embora não totalmente compreendido, é um comportamento conhecido. A intenção do uso das amostras retas, mesmo não apresentando variação com a galvanização, é servir como parâmetro para demonstrar que a influência da galvanização tem relação com o encruamento.

As peças dobradas sofrem o encruamento por se tratar de um processo a frio, indicando que a influência da galvanização é referente ao alívio térmico provocado pela imersão a quente nas peças encruadas, pois não se observou essa influência nas peças sem dobra. Segundo Smith e Hashemi (2012), o mecanismo exato pelo qual a densidade de discordância aumenta devido à deformação a frio não está ainda perfeitamente compreendido. Discordâncias vão surgindo e interagindo com as já existentes tornando o seu movimento mais complexo. Então, o metal encrua, ou seja, endurece devido ao aumento de discordâncias.

Os resultados obtidos confirmam que a galvanização por imersão a quente, além da sua finalidade de aumentar a resistência à corrosão, aumenta a resistência mecânica do aço conformado a frio, resultando num acréscimo da tensão máxima de 8,72%. Além disso, as amostras dobradas que apresentavam uma deformação máxima de 10,38% passaram a ter 2,34% a mais de deformação. Esse acréscimo de resistência pode ser usado como reserva técnica, dando mais segurança a estrutura.

## **5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Seguindo a linha de pesquisa, a sugestão para trabalhos futuros é analisar a influência da galvanização por imersão a quente na resistência mecânica de perfil de aço formado a frio com espessuras diferentes de 7,9 mm.

## 6. REFERÊNCIAS

ALLEN, Edward; IANO, Joseph. **Fundamentos da Engenharia de Edificações: Materiais e Métodos**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1006 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. 87p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6323. **Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 3p.

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

CHAMBERLAIN, Zacarias; FICANHA, Ricardo; FABEANE, Ricardo. **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço: Edifício Industrial Detalhado**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 427p.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Aço e Arquitetura: Estudo de Edificações no Brasil**. São Paulo: Zigurate Editora, 2001.

GALVANIZAÇÃO e construção sustentável. **Guia de Galvanização por Imersão a Quente**, São Paulo. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/biblioteca-digital-publicacoes.php>>. Acesso em: novembro 2014.

RAMANATHAN, Lalgudi V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Hemus, 1997. 339p.

SCHAEFFER, Lirio. **Conformação dos metais: metalurgia e mecânica**. Porto Alegre: Rigel, 1995. 108 p.

SINHA, K. **Physical Metallurgy Handbook**; McGraw Hill ed., NY; 2010.

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 5. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. 707 p.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. 5.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 286 p.

TANIGUTI, Eliana; MASSETO, Leonardo; BARROS, Mercia M. B. **A indústria de materiais, componentes e equipamentos e a inovação tecnológica no processo de produção de edifícios**. VII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído qualidade no processo construtivo. Florianópolis, abril, 1998.

TOLEDO, Raquel, et al. **A difusão de inovações tecnológicas na indústria da construção civil**. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Trindade, Florianópolis, 1999.