

ESTABILIDADE DINÂMICA DA CAMINHADA DE INDIVÍDUOS HEMIPARÉTICOS: A INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE

DYNAMIC STABILITY IN STROKE WALKING: THE INFLUENCE OF SPEED

Henrique Bianchi Oliveira*
Rodrigo Gomes da Rosa**
Natalia Andrea Gomeñuka**
Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga***

RESUMO

A estabilidade dinâmica (ED) é um indicador de qualidade de vida, pois está relacionada com o equilíbrio durante a caminhada e sua diminuição apresenta maior risco de quedas. O objetivo deste estudo é comparar a ED, em diferentes velocidades de caminhada em esteira, entre sujeitos saudáveis e hemiparéticos. Participaram da pesquisa sete adultos hemiparéticos e dez saudáveis. Foram utilizadas quatro câmeras (50 Hz) para identificar os momentos de contato e despregue para posterior cálculo da ED. Uma ANOVA com medidas repetidas foi aplicada para comparar as variáveis dependentes entre as velocidades e entre os grupos. Maiores velocidades de caminhada proporcionaram aumento da estabilidade para ambos os grupos ($p < 0,05$), indicando influência da velocidade na ED. Portanto, torna-se importante, durante o processo de reabilitação de indivíduos hemiparéticos, o estímulo ao aumento da velocidade de caminhada de forma crônica, com o objetivo de torná-la mais estável e com menor risco de quedas.

Palavras-chave: Velocidade de caminhada. Marcha hemiparética. Acidente vascular cerebral. Equilíbrio dinâmico.

INTRODUÇÃO

A estabilidade dinâmica é um componente crítico da caminhada e pode ser definida como a habilidade de manter uma locomoção funcional, mesmo com pequenos distúrbios cinemáticos, reduzindo o risco de quedas, principalmente em idosos (ENGLAND; GRANATA, 2007). Aproximadamente 55% das quedas dessa população estão relacionadas a alterações na cinemática da caminhada, 32% a problemas de equilíbrio e o restante é relacionado a fatores extrínsecos, como superfícies irregulares, sapatos, escadas, entre

outros (DUXBURY, 2000; EKE-OKORO, 2000).

O processo de envelhecimento está ligado a uma série de fatores de risco para a saúde, como o Acidente Vascular Cerebral (AVC), que é a doença neurológica mais prevalente do sistema cardiovascular e a terceira causa de morte em países em desenvolvimento (THOM et al., 2006). Aproximadamente 80% das pessoas que sobrevivem ao AVC vivem com algum tipo de *déficit* motor, como a espasticidade (aumento do tônus muscular), mudanças nas informações sensorio motoras, principalmente em um dos lados do corpo

* Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil.

** Doutorandos do Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil.

*** Doutor. Professor Adjunto do Departamento de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil.

(hemiparesia) e descoordenação motora (SALMELA et al., 2000).

Um dos principais objetivos nas intervenções clínicas pós-AVC é aumentar a independência funcional, prejudicada nesses sujeitos (BOHANNON; SMITH, 1991). Indivíduos que sofreram AVC têm maior risco de quedas, principalmente nos primeiros seis meses após a alta hospitalar. Na fase inicial de reabilitação, a recuperação da caminhada independente é uma das principais funções para a manutenção de uma vida ativa. Sabe-se que as alterações neuromotoras decorrentes do AVC afetam a velocidade autosselecionada de caminhada (BOWDEN et al., 2013), a qual é consideravelmente menor do que a velocidade autosselecionada de sujeitos saudáveis. Do ponto de vista biomecânico, não está completamente estabelecida a relação entre velocidade de caminhada e estabilidade dinâmica em indivíduos hemiparéticos que sofreram AVC (ONLEY; RICHARDS, 1996).

As alterações cinemáticas da caminhada podem estar relacionadas à instabilidade, ou baixa estabilidade, sendo caracterizada por uma grande variabilidade interpassada nos parâmetros espaciais e temporais (YOUODAS et al., 2006). O tempo de contato (TC) do pé com o solo e o tempo de balanço (TB) durante a passada são correspondentes ao ritmo de caminhada e estão diretamente relacionados aos estímulos centrais e periféricos que resultam no padrão locomotor final e, portanto, são considerados parâmetros de estabilidade (MALATESTA et al., 2003).

A natureza assimétrica da locomoção de hemiparéticos é resultante de uma atividade muscular anormal, controle deficitário dos mecanismos posturais e prejuízo sensorial. A avaliação da estabilidade dinâmica e o entendimento do seu comportamento na locomoção humana auxiliam na determinação

da conduta de tratamento, além de permitir o acompanhamento da evolução e progressão do processo de reabilitação (OLIVEIRA et al., 2011; ROUTSON et al., 2013). A análise biomecânica da caminhada, tanto de idosos saudáveis quanto de idosos com sequelas motoras decorrentes do AVCi, pode ser, então, uma ferramenta clínica para avaliar a estabilidade dinâmica desses sujeitos, podendo ser utilizada para treinamento de caminhada e para reabilitação, pois pode ser um demonstrativo da evolução funcional.

Em indivíduos jovens e sem comprometimentos motores, a estabilidade dinâmica apresenta comportamento de aumento linear em função do aumento da velocidade de caminhada (ENGLAND; GRANATA, 2007). A hipótese deste estudo é de que esse padrão de comportamento seja mantido também em situações de comprometimento motor decorrentes do AVCi, em função da diminuição da variabilidade espaço-temporal.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é comparar a estabilidade dinâmica, através da variabilidade espaço-temporal, em cinco diferentes velocidades de caminhada entre indivíduos saudáveis e hemiparéticos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da amostra:

A amostra foi composta por sete pacientes hemiparéticos (cinco homens e duas mulheres), idade $62,5 \pm 9,3$ anos, altura $168,1 \pm 7,0$ cm, massa corporal $78,8 \pm 7,5$ kg, tempo pós-AVC $5,8 \pm 4,8$ anos; e dez indivíduos saudáveis (seis homens e quatro mulheres), idade $61,9 \pm 7,1$ anos, altura $168,2 \pm 8,2$ cm, massa corporal $71,9 \pm 6,2$ kg.

Os critérios de exclusão foram: doenças cardiopulmonares não tratadas, hipertensão arterial sistêmica, *déficit* de compreensão, dor ao caminhar, alterações ortopédicas que afetem a caminhada, não caminhar de forma independente na esteira. Para o grupo hemiparético, além destes, foram considerados os seguintes critérios de exclusão: condições clínicas instáveis ou graves, transtornos perceptuais e cognitivos significativos, presença de lesões cerebrais causadas por tumores ou traumatismos crânio-encefálicos.

Para serem incluídos no estudo, todos os indivíduos deveriam atingir escores mínimos no questionário internacional de atividade física (IPAQ) para classificá-los como independentes na realização das suas atividades de vida diária (AVDs).

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, número 17434.

Protocolo de testes:

O protocolo de coleta foi dividido em dois dias. No primeiro dia, os indivíduos leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e, em seguida, foi feita a familiarização com a esteira, com uma caminhada de dez minutos, com a velocidade variando de 1 a 4 km.h⁻¹. No segundo dia, foi realizado o protocolo principal, no qual os dados cinemáticos foram coletados enquanto era realizada a caminhada na esteira (*BH fitness Explorer ProAction*). Foram realizadas cinco velocidades de caminhada (1,0; 2,0; 3,0; 3,5; 4,0 km.h⁻¹) para os dois grupos. Essas velocidades foram escolhidas, devido à possibilidade de analisar a estabilidade dinâmica de caminhada em ritmos de esforço habitualmente usados por indivíduos hemiparéticos (DETREMBLEUR et al., 2003).

Os indivíduos foram instruídos a caminhar sozinhos e sem o auxílio de apoio na esteira. A ordem das velocidades foi determinada de forma aleatória (sorteio). Para a coleta cinemática, foi utilizado um sistema sincronizado de cinemetria de quatro câmeras (*JVC GR-DVL 9800 – JVC Company of America, Wayne, New Jersey, EUA*), com uma frequência de amostragem de 50 Hz, utilizando o *software* de análise de movimento DVIDEOW (Laboratório de Biomecânica – Instituto de computação UNICAMP, Campinas – Brasil) (FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2003).

Processamento dos dados:

A variabilidade espaço-temporal foi calculada através do coeficiente de variação (CoV), considerado como o resultado da divisão entre o desvio padrão e a média do tempo de contato e do tempo de balanço (Figura 1), utilizando uma rotina matemática construída com o *software* LabVIEW® (versão 8.5, *National Instruments*). Os dados de entrada da rotina foram as matrizes de dados com indicações do quadro em que o pé tocava o solo e o quadro em que o pé deixava de ter contato com o solo (despregue), determinados por um pesquisador familiarizado com a tarefa.

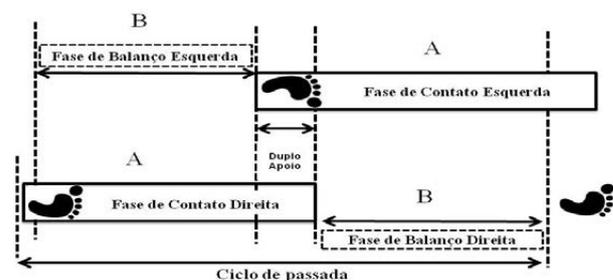


Figura 1 - Um ciclo de Passada. A fase de contato ou Tempo de Contato (TC) é definido como o tempo, durante do ciclo de passada, em que o pé (esquerdo ou direito) está em contato com o solo (A). A fase de balanço ou Tempo de Balanço (TB) é definido como o tempo, durante o ciclo de passada, em que o pé (esquerdo ou direito) não está em contato com o solo (B).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada com o *software* SPSS, versão 19.0. As médias e os desvios padrão foram determinados para cada sujeito e em cada velocidade. Diferenças significativas foram consideradas com $\alpha=0,05$. A distribuição dos dados foi avaliada por meio do teste de *Shapiro-Wilk*, apresentando normalidade. O grupo hemiparético foi

RESULTADOS

Os resultados são apresentados em duas tabelas, CoV TC (Tabela 1) e CoV TB (Tabela 2). Ambos apresentam o comportamento da variabilidade em função da velocidade de caminhada, para grupo controle e grupo hemiparético, que foi subdividido em LA e LnA.

Tabela 1 - Coeficiente de Variação do Tempo de Contato (CoV TC, %). Valores expressos em média (\pm desvio padrão). [†] significa diferença significativa ($p<0,05$) entre grupos na mesma velocidade. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p<0,05$) no mesmo grupo em diferentes velocidades.

Velocidade	Controle	AVC (LA)	AVC (LnA)
1,0	7,03 (\pm 1,95) [†] A	5,59 (\pm 0,86)A	4,36 (\pm 1,33) [†] A
2,0	4,28 (\pm 0,75) AB	5,27 (\pm 2,47)A	4,24 (\pm 1,27)AB
3,0	3,24 (\pm 0,38) AB	4,57 (\pm 1,58)AB	4,23 (\pm 1,02)AB
3,5	2,98 (\pm 0,89) B	3,30 (\pm 1,17)B	3,61 (\pm 1,19)B
4,0	2,77 (\pm 0,39) B	3,33 (\pm 1,09)B	3,41 (\pm 1,24)B

subdividido em dois grupos, para análise das diferenças de simetria entre o lado afetado (LA) e o lado não afetado (LnA) pelo AVC e comparados com o grupo controle. A ANOVA para medidas repetidas foi usada, considerando o fator grupo (LA, LnA e controle) como interefeito e a velocidade como intraefeito (HOPKINS, 2006), e o *post-hoc* LSD (*least-significance difference*) foi usado para identificar as diferenças.

De maneira geral, observa-se que, tanto para o grupo controle quanto para o grupo hemiparético (LA e LnA), o CoV TC e o CoV TB diminuíram em função do aumento da velocidade de caminhada. No CoV TC (Tabela 1), o LA apresentou maiores valores médios nas velocidades mais baixas. Por outro lado, no CoV TB (Tabela 2), o LnA apresentou maiores valores médios do que o LA em todas as velocidades.

Tabela 2 - Coeficiente de Variação do Tempo de Balanço (CoV TB, %). Valores expressos em média (\pm desvio padrão). [†] significa diferença significativa ($p<0,05$) entre grupos na mesma velocidade. Letras diferentes indicam diferença significativa ($p<0,05$) no mesmo grupo em diferentes velocidades.

Velocidade	Controle	AVC (LA)	AVC (LnA)
1,0	10,98 (\pm 2,32)A	11,60 (\pm 2,09)	7,12 (\pm 3,12)AB
2,0	7,35 (\pm 1,73)A	13,16 (4,58) [†]	7,43 (\pm 5,63)A
3,0	6,01 (\pm 1,70)AB	9,85 (1,48)	5,46 (\pm 2,03)AB
3,5	4,51 (\pm 1,32)AB	8,24 (\pm 1,21)	3,99 (\pm 3,73)AB
4,0	3,79 (\pm 1,38)B	6,29 (\pm 1,50)	4,07 (\pm 2,50)B

DISCUSSÃO

A hemiparesia decorrente do AVC resulta em prejuízos neuromotores e suas vias (aférentes e eférentes), principalmente em um dos hemisférios do encéfalo. Esse acometimento gera uma redução da inervação e/ou inervação inadequada dos músculos voluntários periféricos, que são os motores primários da locomoção (BARELA et al., 2000).

Por ser uma das atividades mais utilizadas e um dos movimentos mais repetitivos, a caminhada tem uma variabilidade considerada baixa e normalmente está próxima de 3% em situações normais (BEAUCHET et al., 2009). No presente estudo, tanto o grupo controle quanto o grupo hemiparético apresentaram maior variabilidade espaço-temporal nas menores velocidades de caminhada. Este achado indica que, além do mecanismo pendular deteriorado, a variabilidade de marcha é outro fator adicional responsável pelo aumento do gasto energético em velocidades baixas de caminhada ($< 3 \text{ km.h}^{-1}$), observado recentemente em indivíduos saudáveis (GOMEÑUKA et al., 2013). Todavia, a variabilidade aumentada de padrões espaço-temporais observada em indivíduos normais e hemiparéticos, e suas repercussões específicas nos níveis de geração de trabalho mecânico e recuperação de energia mecânica por via pendular ainda são desconhecidas e futuros estudos são necessários, a fim de compreender melhor estas relações.

Em jovens saudáveis, a velocidade de caminhada apresenta uma relação direta com a estabilidade dinâmica (JORDAN; CHALLILS; NEWELL, 2007; KITO; YONEDA, 2006; KO et al., 2007). Com o envelhecimento, há uma tendência de diminuição da velocidade autosselecionada de caminhada, devido a uma

série de fatores, como a sarcopenia, diminuição do equilíbrio, aumento da rigidez articular, entre outros (ABEL; DAMIANO, 1996). Essa diminuição da velocidade autosselecionada está associada a um aumento na variabilidade dos parâmetros espaciais e temporais da caminhada, devido às maiores flutuações dos parâmetros cinemáticos, como o tempo e a frequência de passada (HAUSDORFF, 2005).

O padrão de CoV TC (Tabela 1) e CoV TB (Tabela 2) está de acordo com os resultados encontrados por Beauchet et al. (2009), que analisaram a caminhada de sujeitos jovens e idosos na sua velocidade autosselecionada e em velocidades abaixo desta. Nos idosos, os valores médios de CoV TC variaram de 1,5 a 8,4, enquanto que os valores médios de CoV TB variaram de 1,3 a 10,5, porém no estudo citado, foi analisada apenas a velocidade autosselecionada.

Um dos principais objetivos do processo de reabilitação pós-AVC é o aumento da estabilidade dinâmica da locomoção, com conseqüente diminuição das assimetrias entre os dois lados do corpo (ONLEY; RICHARDS, 1996; BOWDEN et al., 2013). As características assimétricas da marcha hemiparética contribuem para o aumento no custo energético, devido às excessivas contrações e co-contrações musculares, e também aumentam o risco de quedas (ROUTSON et al., 2013) e, por isso, são consideradas como um indicativo de uma baixa estabilidade dinâmica (DETREMBLEUR et al., 2003).

Esse tipo de avaliação de estabilidade dinâmica pode ser aplicado basicamente em duas condições clínicas: avaliação de pacientes com algum tipo de distúrbio motor (AVC, Parkinson, paralisia infantil etc.) e o acompanhamento do processo de envelhecimento de idosos saudáveis como possível indicador de risco de quedas. Embora não exista um índice de

estabilidade dinâmica, a variabilidade dos parâmetros espaciais e temporais, como tempo de contato e de balanço, apresenta forte relação com a estabilidade dinâmica, e pode ser utilizada para avaliar os resultados desse parâmetro de caminhada de forma satisfatória (LORD et al., 2011; GOUELLE et al., 2013).

Embora outros métodos de determinação de estabilidade existam na literatura baseados em métodos matemáticos mais complexos (e.g. expoente máximo de Lyapunov e correlações de séries temporais), o método utilizado no presente estudo, baseado na variabilidade cinemática, apresenta validade preditiva e convergente (BRUIJN et al., 2013) para a análise da estabilidade dinâmica de caminhada.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a maior estabilidade dinâmica foi encontrada nas maiores velocidades de caminhada (a partir de 3 km.h⁻¹), assim como a diminuição das assimetrias entre lado afetado (LA) e lado não afetado (LnA). Com isso, torna-se importante que, durante a reabilitação de indivíduos pós-AVC, haja um estímulo para o aumento gradativo da velocidade, objetivando uma melhora na estabilidade da caminhada, diminuindo, assim, o risco de quedas.

ABSTRACT

The dynamic stability (DE) is an important indicator of the quality of life, because it indicates lower balance during walking and is related to the fall risk. The walk stability is a critical issue for stroke individuals. The aim of this study was to compare the DE of walking at different speeds in healthy and stroke patients. The study included seven stroke and ten healthy individuals. 4 cameras (50Hz) were used to identify the heel-strike and push-off moments and, subsequently calculate the DE. To compare the DE among speeds and groups, an Anova two-way with repeated measures was used. The results suggest that at higher walking speeds, there was an increase in stability for both groups, indicating that the walking speeds have influence on stability. Therefore, it becomes important in stroke individuals during the rehabilitation process, the stimulus to increase walking speed, in order to make it more stable and with less risk of falls.

Keywords: Walking speed. Hemiparetic gait. Stroke. Dynamic balance.

REFERÊNCIAS

- ABEL, M. F.; DAMIANO, D. L. Strategies for increasing walking speed in diplegic cerebral palsy. **Journal Orthopaedics**, Charlottesville, v. 16, no. 6, p. 753-758, 1996.
- BARELA, J. A. et al. An examination of constraints affecting the intralimb coordination of hemiparetic gait. **Human Movement Science**, Maryland, v. 19, p. 251-273, 2000.
- BEAUCHET, O. et al. Gait variability among healthy adults: low and high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. **Journal of Gerontology**, Washington, DC., v. 55, no. 6, p. 702-706, 2009.
- BOHANNOM, R.; SMITH, M. Inter-rate reliability of a modified Ashworth Scale of muscle spasticity. **Physical Therapy**, New York, v. 67, p. 206-214, 1991.
- BOWDEN, M. G. et al. Locomotor rehabilitation of individuals with chronic stroke: Difference between responders and nonresponders. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Reston, v. 94, p. 856-862, 2013.
- BRUIJN, S. M. et al. Assessing the stability of human locomotion: a review of current measures. **Journal of the Royal Society**, London, v.10, no. 83, p. 1-25, 2013.
- DETREMBLEUR, C. et al. Energy cost, mechanical work, and efficiency of hemiparetic walking. **Gait & Posture**, Oxford, v. 18, no. 2, p. 47-55, 2003.
- DUXBURY, A. S. Gait disorders and fall risk: detection and prevention. **Comprehensive Therapy**, Birmingham, v. 26, no. 4, p. 238-245, 2000.
- EKE-OKORO, S. T. A critical point for the onset of falls in the elderly. **Journal of Gerontology**, Baltimore, v. 46, no. 2, p. 88-92, 2000.
- ENGLAND, S. A.; GRANATA, K. P. The influence of gait speed on local dynamic stability of walking. **Gait & Posture**, Oxford, v. 25, no. 2, p. 172-178, 2006.
- FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; BARROS, R. M. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, Campinas, SP, v. 72, no. 2, p. 155-165, 2003.

- GOMEŇUKA, N. A. et al. Adaptations to changing speed, load, and gradient in human walking: cost of transport, optimal speed, and pendulum. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, Malden, p. 1-9, 2013. doi: 10.1111/sms.12129.
- GOUELLE, A. et al. The Gait Variability Index: A new way to quantify fluctuation magnitude of spatiotemporal parameters during gait. **Gait & Posture**, Oxford, v. 38, no. 3, p. 461-465, 2013.
- HAUSDORFF, J. M. Gait variability: methods, modeling, and meaning. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**. Boston, v. 2, no. 19, p. 43-51, 2005.
- HOPKINS, W. G. Spreadsheets for analysis of controlled trials, with adjustment for a subject characteristic. **Sportscience**, Auckland, v. 110, p. 46-50, 2006.
- JORDAN, K.; CHALLILS, J. H.; NEWELL, K. M. Walking speed influences on gait cycle variability. **Gait & Posture**, Oxford, v. 26, no. 1, p. 128-134, 2007.
- KITO, T.; YONEDA, T. Dominance of gait cycle duration in casual walking. **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 25, no. 3, p. 383-392, 2006.
- KO, S. U. et al. Stride width discriminates gait of side-fallers compared to other-directed fallers during overground walking. **Journal of aging and health**, Galveston, v. 19, no. 2, p. 200-212, 2007.
- LORD, S. et al. Gait variability in older adults: a structured review of testing protocol and clinimetric properties. **Gait & Posture**, Oxford, v. 34, p. 443-450, 2011.
- MALATESTA, D. et al. Energy cost of walking and gait instability in healthy 65 and 80 year-olds. **Journal of Applied Physiology**, Maryland, v. 95, p. 2248-2256, 2003.
- OLIVEIRA, H. B. et al. Comparação da variabilidade dos parâmetros espaço temporais e índice de simetria em cinco velocidades de caminhada em um idoso saudável e um idoso hemiparético. **Técnicouro**, Novo Hamburgo, v. 1, p. 76-81, 2011.
- ONLEY, S.; RICHARDS, C. Hemiparetic gait following stroke. **Gait & Posture**, Oxford, v. 4, no. 2, p. 136-148, 1996.
- ROUTSON, R. L. et al. The influence of locomotor rehabilitation on module quality and post-stroke hemiparetic walking performance. **Gait & Posture**, Oxford, v. 38, no. 3, p. 511-517, 2013.
- SALMELA, L. F. T. et al. Fortalecimento muscular e condicionamento físico em hemiplégicos. **Acta Fisiátrica**, São Paulo, v. 07, p. 108-118, 2000.
- THOM, T. et al. Heart disease and stroke statistics. **Journal of the American Heart Association**, Dallas, v. 06, p. 86-151, 2006.
- YOUDAS, J. W. et al. Agreement Between the GAITRite Walkway System and a Stopwatch-Footfall Count Method for Measurement of Temporal and Spatial Gait Parameters. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Reston, v. 87, p. 1648-1652, 2006.

Recebido em: 11/09/2013

Revisado em: 10/10/2013

Aceito em: 30/10/2013

Endereço para correspondência: Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga. Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rua Felizardo, 750. Bairro Jardim Botânico. Porto Alegre, RS. CEP: 90690-200. e-mail: leonardo.tartaruga@ufrgs.br