

LIGA COM MEMÓRIA DE FORMA: ESTUDO PRELIMINAR DO GRAMPO DE JUDET DE NITINOL E SUA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM TÓRAX INSTÁVEL**SHAPE MEMORY ALLOY: A PRELIMINARY STUDY OF NITINOL JUDET STAPLES FOR FUTURE APPLICATION IN FLAIL CHEST**

Denis Jardim Villarinho¹, Lírio Schaeffer¹, Mauricio Guidi Saueressig^{2,4}, Bruno Rocha de Macedo^{2,3},
Diego Baldissera⁴, Amarílio Vieira de Macedo Neto^{2,3}

RESUMO

Este artigo sucintamente descreve a evolução da liga metálica “inteligente”, com memória de forma na área de Saúde. A confecção de grampos de Judet em nitinol ocorreu no Laboratório de Transformação Mecânica da UFRGS (LdTM) e a simples verificação das qualidades superelásticas e de memória de forma foram contempladas no LdTM e no HCPA pela equipe envolvida no projeto. A título de ilustração, demonstramos com um caso clínico a aplicabilidade do grampo de Judet no cenário de instabilidade da parede torácica, a qual, além de prejudicar a mecânica respiratória, apresenta uma alta taxa de mortalidade. Os resultados preliminares evidenciaram a transformação provocada pelo calor, ocasionando o fechamento das garras dos grampos de Judet, que se manteve firme e sem alteração da consistência com o tempo, permitindo antever sua aplicabilidade num modelo experimental. Grampos de Judet em Nitinol são apresentados teoricamente como vantajosos em relação aos já existentes em aço inoxidável 316L, especialmente pela facilidade de manuseio e possível simplificação do procedimento cirúrgico. Detalhes no acabamento permitem a biocompatibilidade e o engenheiro projetista de materiais deve compatibilizar as ligas de níquel e titânio (NiTi) utilizadas nos grampos. O nitinol possui amplo emprego no cenário médico-odontológico e há normas técnicas bem definidas. A epidemiologia do trauma e a gravidade das lesões associadas à instabilidade da parede torácica evidenciam a oportunidade de estudos nessa direção. Concluímos sobre a necessidade de prosseguir para uma avaliação experimental, agregando a mensuração de parâmetros viscosos e viscoelásticos da mecânica respiratória, especialmente em seu componente de parede torácica (cw).

Palavras-chave: Nitinol; liga memória-de-forma; tórax instável; biocompatibilidade

ABSTRACT

The aim of this article is to briefly describe the incorporation of nitinol (NiTi) – an intelligent nickel-titanium alloy presenting shape memory – for use in medical applications. Nitinol Judet staples were developed at the Mechanical Processing Laboratory (LdTM) at Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Simple confirmation assays of superelasticity and shape memory were performed at the LdTM and Hospital de Clínicas de Porto Alegre by the project team. A clinical case was used to demonstrate the applicability of nitinol Judet staples in the treatment of flail chest, a condition characterized by respiratory mechanics associated with fairly high mortality. The initial observation revealed a transformation resulting from heat exposure causing the closure of staple prongs. With time, the consistency of the Judet staples remained unchanged, indicating the feasibility of an experimental model employing these staples. The advantages of NiTi-made Judet staples in relation to 316L stainless steel staples are outlined, with emphasis on the ease of use and possible simplification of the surgical procedure. Finishing details ensure biocompatibility, with a focus on specific adaptations in the NiTi alloy employed to manufacture the staples; nevertheless, nitinol is widely employed in medicine and dentistry, with well-defined standards. The epidemiology of trauma and the severity of lesions associated with flail chest provide an opportunity for the proposed studies. The experimental assessment of nitinol Judet staples must now address viscosity and viscoelastic parameters of respiratory mechanics, especially concerning the chest wall.

Keywords: Nitinol; thoracic injuries; biocompatible materials (MeSH) - Memory shape alloy

Rev HCPA 2010;30(1):43-48

Globalmente, a violência é a principal causa de morte entre os 15 e 44 anos. Os gastos diretos são consideráveis e provenientes do atendimento pré-hospitalar, intra-hospitalar e da reabilitação da vítima à sociedade. O impacto dos gastos indiretos ocorre pelo comprometimento da capacidade de trabalho do indivíduo em sua idade mais produtiva, ou seja, antes dos 45 anos de idade (1).

É definido como portador de tórax instável o paciente que tenha uma parede torácica com

três ou mais arcos costais consecutivos fraturados, desde que apresente dois locais de fratura em um mesmo arco costal. Durante a inspiração, o segmento “solto” entre os pontos de fraturas se deprime, executando um movimento inverso ao restante do arcabouço torácico, que se expande. O contrário sucede na fase expiratória, caracterizando o que se denomina de respiração paradoxal. Esse fenômeno provoca um desarranjo da mecânica ventilatória e, associado à dor, força o doente a ventilar com volume cor-

1. Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

2. Laboratório VAP, Centro de Pesquisa Experimental, Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA).

3. Faculdade de Medicina, UFRGS.

4. Hospital de Pronto Socorro (HPS), Programa de Pós-Graduação: Ciências Cirúrgicas, FAMED, UFRGS.

Contato: Denis Jardim Villarinho. E-mail: denis.villarinho@ufrgs.br (Porto Alegre, RS, Brasil).

rente pequeno. A cinemática do trauma agrega a contusão pulmonar e suas consequências nefastas: infiltrado intersticial, hemorragia alveolar, diminuição da complacência pulmonar, *shunt* e finalmente o terreno propício para a infecção do parênquima pulmonar (2,3). Assim, o restabelecimento da adequada mecânica respiratória, a analgesia proporcionada pela fixação de bordos ósseos, a possibilidade de corrigir durante a cirurgia algumas lacerações pulmonares e remover completamente coágulos pleurais são algumas vantagens que podem explicar a boa evolução dos pacientes submetidos à fixação cirúrgica do tórax (4).

Nesse ponto, a engenharia biomédica é a parceira para pesquisar novos materiais e desenhar em conjunto com os cirurgiões novas abordagens nesses casos complexos de trauma torácico (5,6). A indústria de produtos biomédicos está sempre atenta na evolução dos materiais e emprega as mais modernas tecnologias na confecção de órteses, próteses e instrumentos que proporcionem uma melhor reabilitação, e um menor tempo de internação hospitalar. Em procedimentos intervencionistas e em algumas cirurgias, um dos avanços foi o emprego de “metais com memória”, como ficou conhecido o Nitinol (NiTi).

A liga memória de forma níquel-titânio, NiTi, tem este nome por ter sido descoberta no Laboratório de Artilharia Naval da Marinha Norte-Americana (Naval Ordnance Laboratory – NOL) em 1962 por Buehler e Wang. O *boom* no emprego do nitinol ocorre na década de 90, pois anteriormente complicações relacionadas à mistura e ao processamento criavam dificuldades técnicas e financeiras (7).

O uso do NiTi como aplicação médica foi relatado primeiramente na década de 1970 (7). Há enorme aplicabilidade em dentística (ortodontia) e também em próteses ortopédicas (8,9). Somente em 1995 foi aplicado o primeiro *stent* coronariano (10). Suas qualidades passam a ser aproveitadas então por inúmeras especialidades médicas. Podemos citar:

1. procedimentos endovasculares - aneurismas e estenoses;
2. trato gastrointestinal em estenoses da via biliar;
3. broncopatias - estenoses traqueobrônquicas tumorais e malácicas;
4. ureteroestenoses;
5. clips para diversas finalidades operatórias (11).

Recentemente o HCPA passou a sediar um Instituto de Avaliação em Tecnologia de Saúde (IATS), aliando-se a política governamental de incentivo à ciência e tecnologia. O Laboratório de Transformação de Materiais (LdTM) da UFRGS tem se preocupado em firmar parcerias com equipes de cirurgia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre. Este é um estudo preliminar na linha de pesquisa em trauma de tórax do PPG: Ciências Cirúrgicas da FAMED/UFRGS. Trata-se de uma nova opção ao tradicional emprego do aço inoxidável na estabilização da parede torácica com *flail chest*. Como um dos objetivos principais salientamos as qualidades do NiTi e a promissora condição de manuseio menos traumático dos tecidos, com diminuição do tempo operatório para a fixação das costelas.

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL (NITI)

A fabricação experimental das amostras do grampo de Judet em nitinol foi realizada mediante a estampagem, tratamentos termomecânicos e minúcias de acabamento, no LdTM, localizado no campus do Vale da UFRGS. O NiTi é uma liga de níquel-titânio binária, aproximadamente equiatômica e com duas fases sólidas: a austenita chamada de alta temperatura e a martensita fase chamada de baixa temperatura. O nitinol tem duas notáveis propriedades, quais sejam, superelasticidade e memória de forma.

Superelasticidade

Os materiais metálicos em geral, tais como o aço inoxidável 316L, muito utilizado em materiais biomédicos, apresentam no máximo 0,5% de deformação elástica e o níquel-titânio chega a 8% de deformação elástica com recuperação total, chegando a 14% com alguma deformação plástica associada. Estas características contribuem com uma maior resiliência e menor módulo de elasticidade, propriedades muito úteis nos projetos de endoimplantes. Entre os materiais metálicos, o NiTi é aquele que mais se assemelha em módulo de elasticidade ao osso cortical.

Efeito memória de forma

Outra notável propriedade deste material é seu efeito memória de forma, que pode ser assim definida: “um material, na sua forma memorizada austenítica após resfriada na forma martensítica e deformada severamente, volta a sua forma original através da variação de temperatura.” (Figura 1)

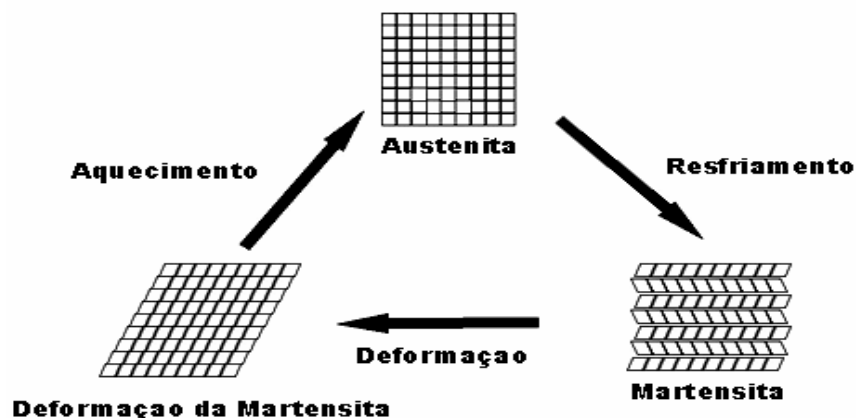


Figura 1 - O efeito memória de forma. Fonte: Fernandes, 2006.

As ligas NiTi são caracterizadas inicialmente por suas temperaturas de transformação de fases. O engenheiro-projetista deve reconhecer onde começa e onde termina cada fase. As temperaturas transformação de fases são conhecidas na literatura como *Mf* (*martensite finish*, martensita final), *Ms* (*Martensite Start*, martensita inicial), *Af* (*austenite finish*, austenita final) e *As* (*Austenite Start*, austenita inicial). E ainda há uma fase não muito explorada comercialmente, mas que contribui com o efeito memória de forma que é a fase romboédrica, chamada fase R. Com estas temperaturas, pode-se determinar os limites e as aplicações da superelasticidade e da memória de forma (12).

Biocompatibilidade

A imprecisão do termo “biocompatível” diz respeito também aos vários contextos em que nos referimos a materiais (ou biomateriais) e pode significar tanto integração aos tecidos humanos como capacidade de provocar resposta imune ou provocar efeitos tóxicos ao organismo. Evidentemente, o sucesso clínico de uma prótese será dependente da biocompatibilidade do material nela empregado. Vejamos a definição apresentada por Williams: “biocompatibilidade refere-se à habilidade do material realizar a função terapêutica para a qual foi criado sem proporcionar efeitos locais ou sistêmicos indesejados, potencializando a performance clínica do paciente” (13).

O Nitinol tem excelente biocompatibilidade, sendo tão ou mais biocompatível que o aço inoxidável, perdendo na escala dos materiais metálicos somente para o titânio Ti6Al 4V (14). No entanto, sempre que pensamos em implantes devemos considerar que o corpo humano é salgado e todo implante metálico um dia vai sofrer corrosão (11). O NiTi tem excelente resistência à corrosão e a superfície, quando adequadamente tratada e não libera íons níquel para o organismo.

Aplicabilidade dos Grupos de Judet na estabilização cirúrgica do tórax

Abaixo demonstramos o caso clínico típico com indicação de estabilização cirúrgica da parede torácica: jovem, masculino, previamente hígido, acidente de motocicleta, múltiplas fraturas costais com caracterização de instabilidade (tórax instável) devido à disjunção condroesternal associada. Sem lesão do sistema nervoso central (SNC).

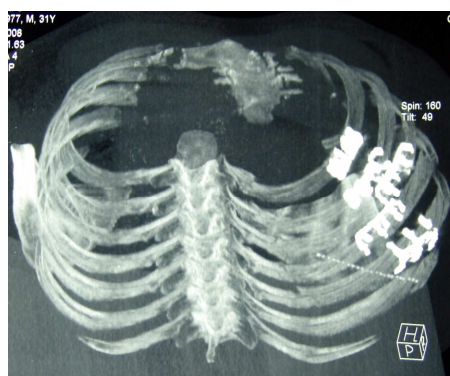


Figura 2 – Caso clínico: reconstrução de tomografia computadorizada com ênfase no arcabouço ósseo torácico demonstrando múltiplas osteossínteses costais, fixadas por grampos de Judet.

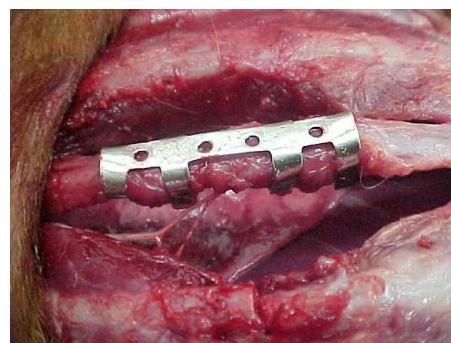


Figura 3 - Imagem do transoperatório do paciente da figura anterior. Note-se que o grampo empregado é de aço inoxidável 316 L.

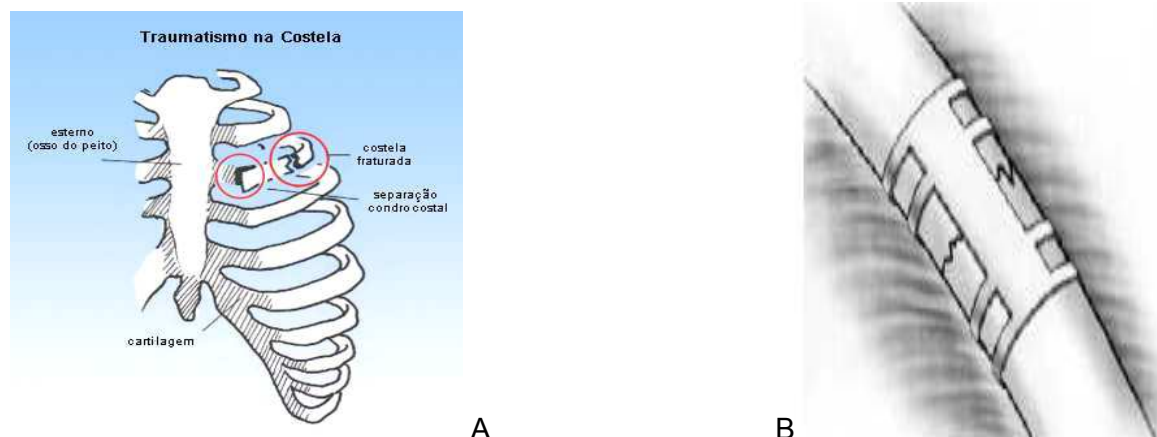


Figura 4 - O funcionamento esquemático do grampo de Judet em osteossíntese. (A) fratura do 3º arco costal; (B) grampo de Judet em posição.

RESULTADOS DAS OBSERVAÇÕES

O módulo de elasticidade do NiTi é em média de $E=20,0$ GPa e o módulo de elasticidade do osso cortical é em média de $E=12,0$ GPa. A superelasticidade acontece com aplicação de tensão acima da temperatura transformação de fase austenítica, chamada austenita final (Af). Durante a manipulação do nitinol no LdT_M, os processos de resfriamento foram proporcionados pelo uso do gás refrigerante tetrafluoreto 134a com ponto de ebulição $-23,6^{\circ}\text{C}$, devido a M_f (a temperatura baixa da liga) ser $-22,99^{\circ}\text{C}$. Na fase de aquecimento um simples isqueiro convencional produzia o efeito desejado para o estudo do encurvamento dos grampos da prótese.

O tamanho final da peça fechada era de dimensões 46,0 mm X 26,0 mm X 0,5 mm de espessura.



Figura 5 – Aspecto final da órtese de NiTi após aplicação de calor, demonstrando o arqueamento dos grampos.

No caso clínico apresentado, empregamos o aço inoxidável 316L. Ciente das qualificações do NiTi, especialmente em relação a sua memória térmica, pode-se imaginar a sequência dos passos perioperatórios envolvendo a manipulação da prótese e o momento de fixação do grampo na costela fraturada.

Como resultado, os grampos de Judet fabricados apresentaram as características de memória de forma e superelasticidade desejadas e comparáveis àquelas preconizadas pela literatura. A simples verificação da curvatura dos grampos de NiTi sob o efeito do calor e a sensação tátil de rigidez deixaram boa impressão em cirurgiões com experiência em trauma torácico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Hospital de Pronto Socorro de Porto Alegre (HPS) é um centro de trauma nível I onde se realizam cerca de 25.000 atendimentos mensais. Em aproximadamente 1.000 deles há algum grau de traumatismo torácico, conforme dados do relatório anual de 2001 da PROCENPA. Ao redor de 2% desses pacientes formam o subgrupo de trauma contuso grave, e destes, sabe-se que até 1/5 tem instabilidade da parede torácica. Portanto, considerando apenas a clientela atendida no HPS, anualmente um grupo potencial de 48 pacientes terá diagnóstico de tórax instável e poderá ser avaliado com vistas à estabilização cirúrgica com grampos de Judet.

Reconhece-se na contusão pulmonar associada à lesão da caixa torácica, a grande vilã da deficiente troca gasosa e na formação das condições propícias a infecção pulmonar. O manejo do tórax instável ainda permanece controverso, principalmente em pacientes com esma-

gamento, onde múltiplas e desalinhadas fraturas costais provocam deformidade estética e comprometimento funcional da caixa torácica. Espera-se que a fixação das costelas fraturadas através de grampos de Judet reverta a respiração paradoxal e melhore a mecânica respiratória (15). A estabilização pneumática mediante sedação e ventilação mecânica representa o tratamento padrão (3).

Talvez uma maior facilidade técnica com emprego do grampo de Judet em NiTi poderia levar a sua aplicação cirúrgica em mais casos. Sabe-se que os melhores resultados são obtidos nas primeiras 48 horas (16).

As testagens comparativas entre o NiTi e o aço inox 316L não foram objetivos do presente estudo, bem como qualquer apreciação relativa ao binômio custo-efetividade. A relação custo-benefício no emprego do nitinol, uma vez que a matéria prima é importada, deve ser considerada. Entretanto, a produção mundial do NiTi tem crescido muito nos últimos anos e conseqüentemente haverá tendência de redução do preço dos metais. Quem analisar os custos ano a ano verá que este se encontra em queda, coincidindo com uma aplicação cada vez maior da liga NiTi na área da saúde. Uma vantagem adicional seria o fato da liga de níquel e titânio ser não-magnética, e por isso os pacientes poderiam ser submetidos a estudos de Ressonância Magnética com segurança.

O grampo de Judet NiTi “memorizado” com tratamento termomecânico, após ser resfriado em soro fisiológico transforma-se e pode ser estirado. Nesse ponto, ser inserido no corpo, onde se fechará sobre a fratura somente pela exposição a temperatura corporal de 36,5 °C, tornando o procedimento cirúrgico mais simplificado, rápido e aumentando a biocompatibilidade. O cirurgião torácico não precisará de pinças especiais, ou esforço físico para a inserção do grampo, evitando assim arranhar a superfície do implante. O perfeito acabamento superficial com topografia controlada auxiliará na osteointegração e na osteoindução.

Ressalvamos o simples viés observacional do trabalho e a ilustração proporcionada pela experiência do grupo cirúrgico na apresentação de que poderá vir a ser o cenário na indicação clínica. No momento, este é um estudo preliminar com grampos de Judet em NiTi que visa continuar qualificando a parceria da engenharia biomédica com os cirurgiões. Nosso grupo já havia desenvolvido um *stent* traqueal em nitinol (6).

O próximo passo indica a necessidade de fixação experimental de costelas num modelo de tórax instável. O manuseio transoperatório e a verificação das propriedades do NiTi *in vivo* serão fundamentais.

CONCLUSÃO

As ligas NiTi produzidas no LdTM-UFRGS e desenhadas no formato de grampos de Judet, visando uma possível aplicação em trauma torácico grave com instabilidade (*flail chest*), evidenciam, *ex-vivo*, as qualidades de superelasticidade e deformação esperadas. O trauma é um importante problema de saúde pública e o fortalecimento dessa linha de pesquisa em trauma está em acordo com as políticas governamentais de avaliação de novas tecnologias em saúde (ATS).

REFERÊNCIAS

1. Etienne G, Krug EG, Dahlberg LL, Mercy JA, Zwi A, Lozano-Ascencio R. Organization Mondiale de la Santé. *Rapport Mondial sur la Violence et la Santé*. Genève: OMS; 2002.
2. Gallucci C. Traumatismos torácicos. São Paulo: Panamed, 1982. p. 65 - 81.
3. Gabram SG, Schwartz RJ, Jacobs LM, Lawrence D, Murphy MA, Morow JS, Hopkins JS, Knauff RF. Clinical management of blunt trauma patient with unilateral rib fractures: a randomized trial. *World J Surg*. 1995;19: 388-93.
4. Martin P, Godinou JC, Monod R, Cami M, Fleury JC, Léonardon P, Leprince A, Gueveler C. Costal stapling in severe thoracic traumas. *Nouv Presse Med*. 1982;11(11):851-4.
5. Vearick SB. Confecção e Avaliação de Órtese de Nitinol Auto-Expansível com Aplicação em Vias Aéreas. **Dissertação** de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
6. Vearick SB, Michelon MD, Schaeffer L, Xavier RG, Kuhl G, Sanches PR, Duarte ME. Development and in vivo testing of a Nitinol tracheal stent. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2007;83(1):216-21.
7. Kaufman GB & Mayo I. The story of nitinol: The serendipitous discovery of the memory metal and its applications. *Chem Educ*. 1997;2:1-21.
8. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endodon J*. 2000;33:297-310.
9. Scott RM. Design Consideration for Nitinol Bone Staples. *J Mat Engineer Perform*. 2009;18:831-5.
10. Thierry B, Merhi Y, Bilodeau L, Trépanier C, Tabrizian M. Nitinol versus stainless steel stents: acute thrombogenicity study in an ex vivo porcine model. *Biomaterials*. 2002;23:2997-3005.
11. Williams DF & Williams RL. Degradative effects of the biological environment on metals and ceramics. In: Ratner BD, Hoffman AS, Schoen FJ & Lemons JE (ed) *Biomaterials science; an introduction to materials in medicine*, Volume 1. Academic Press, San Diego, p 260-7, 1996.

12. Fernandes FMB. Ligas com Memória de Forma. Departamento de Ciências dos Materiais/ Ceni-mat, Universidade de Lisboa, Lisboa, p.1-32, 2006.
13. Williams D. Revisiting the definition of biocompatibility. Med Device Technol. 2003;14(8):1.
14. Armitage DA, Parker TL, Grant DM. Biocompatibility and hemocompatibility of surface-modified NiTi alloys. J Biomed Mater Res A. 2003;66:129-37.
15. Schaal MA, Fischer RP, Perry JF. The unchanged mortality of flail chest injuries. J Trauma 1979;19:492-7.
16. Menard A, Testart J, Philippe JM, Grise P. Treatment of flail chest with Judet's struts. J Thorac Surg. 1983;86:300-5.

Recebido: 20/02/10

Aceito: 31/03/10