

# PROPOSTA DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DA PRESSÃO INTRACRANIANA

Gustavo Moreira da Silva, Marcelo Batista Chioato dos Santos, Adriano de Oliveira Andrade  
UFU, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG, gustavomoreiras@ymail.com

**Resumo** – A Hipertensão Intracraniana (HIC) é uma condição neurológica que afeta principalmente pacientes com Traumatismo Crânio-Encefálico (TCE), Acidente Vascular Encefálico (AVC) e hidrocefalia. Atualmente, o tratamento mais adequado dessa condição requer monitorização cerebral contínua dos parâmetros clínicos associados à perfusão cerebral. Nesse contexto, duas variáveis são fortemente relevantes nas avaliações clínicas: A Pressão Intracraniana (PIC) e a Pressão Arterial Média (PAM). Este trabalho exhibe o desenvolvimento de um programa de computador que apresenta ao clínico informações sobre a forma de onda da PIC e sobre a perfusão cerebral. Informações estas que não são comumente encontradas nos monitores multiparâmetros utilizados à beira leito. O sistema realiza um processamento digital do sinal da PIC, da Pressão de Perfusão Cerebral e outros sinais obtidos por meio de técnicas de processamento digital de sinais.

**Palavras-Chave** – Monitorização Multimodal, Perfusão Cerebral, Pressão Intracraniana, Processamento de Sinais Biomédicos

## PROPOSAL OF A COMPUTATIONAL SYSTEM FOR INTRACRANIAL PRESSURE ASSESMENT

**Abstract** - The Intracranial Hypertension (ICH) is a neurological condition that affects patients with head injury, stroke and hydrocephalus. Currently, the most suitable treatment for this clinical condition requires continuous monitoring of cerebral function by the analysis of clinical parameters associated with cerebral perfusion. In this context, two parameters are relevant for clinical decision: the analysis of the waveform of intracranial pressure and the arterial blood mean. Was developed a computer program that presents relevant information regarding the ICP waveform and intracranial perfusion. This system allow the provision of periodic information about the evolution of the parameters of ICP, cerebral perfusion pressure (CPP) and others by signal processing techniques.

**Keywords** – Multimodal Monitorization, Cerebral Perfusion, Intracranial Pressure, Biomedical Signal Processing.

### I. INTRODUÇÃO

A complexidade das funções cerebrais tem um alto custo no suprimento de sangue provido pelo sistema circulatório, por exemplo, o cérebro com seus apenas 1,5 kg (2% da

massa de um adulto de 80 kg) recebe cerca de 15% do débito cardíaco [1] [2]. Esse suprimento sanguíneo encefálico é essencial para a manutenção da atividade cognitiva, sensorial e motora, além da coordenação das funções vitais.

O crânio, um calota quase inextensível, abriga o cérebro, Líquido Cefalorraquidiano (LCR) e sangue. E dentro dele qualquer aumento de volume poderá comprometer a perfusão ou suprimento sanguíneo cerebral, que não conseguirá circular para dentro do crânio [3]. A perfusão cerebral somente é mantida em níveis adequados enquanto a Pressão Intracraniana (PIC) é menor que a Pressão Arterial Média (PAM), sendo diferença entre PAM e PIC chamada de Pressão de Perfusão Cerebral (PPC).

Surtos de aumento volumétrico no interior do crânio resultantes de tumores, acidentes vasculares, hidrocefalia e pela lesão secundária ao traumatismo crânio-encefálico (TCE) ocasionam um aumento da pressão intracraniana e, portanto, prejuízos na PPC.

O traumatismo crânio-encefálico (TCE) constitui um problema de saúde pública com forte impacto econômico, uma vez que se mantém como a principal causa de morte entre adultos jovens [4]. Não obstante, mesmo com um decréscimo na última década quer em número, quer em gravidade do TCE em países desenvolvidos, a incidência a nível mundial tem aumentado à custa dos países em desenvolvimento, prevendo-se que, em 2020, constitua uma das principais causas de morte, considerada como uma epidemia silenciosa [5].

A lesão cerebral causada pelo TCE tem duas componentes essenciais: a primária, que diz respeito à lesão mecânica causada pelas forças de aceleração, desaceleração, rotação e compressão que atuam sobre o crânio e cérebro no momento do impacto e a secundária, que se refere a um número de alterações metabólicas e bioquímicas que se perpetuam e agravam o quadro inicial. Os hematomas e edema cerebral de origem vascular e citotóxica resultantes destas lesões vão aumentar o volume intracraniano o que, devido à natureza não expansível da caixa craniana leva ao aumento da PIC e ao comprometimento da perfusão e oxigenação cerebrais [6]. Este aumento da PIC é muitas vezes a causa de morte nos indivíduos que sobrevivem ao insulto primário, uma vez que, quando não controlado compromete o suprimento de sangue ao cérebro e leva à hérnia cerebral [7].

Sobre as lesões primárias pouco pode ser feito em termos médicos. É para a tentativa de travar os processos secundários que se devem virar as atenções do clínico. Nesses esforços, o Brain Trauma Foundation [8], desde a sua formação tem se expandido para melhorar a evolução de pacientes com TCE através do trabalho de implementar diretrizes baseadas em evidências. Dentre essas, uma série de recomendações formuladas que se focam em torno da redução da PIC e manutenção da perfusão cerebral.

## IV. MATERIAIS E MÉTODOS

### II. OBJETIVOS

A proposta desse trabalho é extrair informações da curva da PIC, por meio de técnicas de processamento digital de sinais que possam auxiliar na avaliação da perfusão cerebral do paciente neurológico grave. Essas informações visam também na avaliação de técnicas para utilização dessas informações para fins de previsão das variáveis monitoradas.

### III. MONITORIZAÇÃO DO PACIENTE NEUROLÓGICO GRAVE

No paciente grave, a capacidade de medir alterações no ambiente físico e bioquímico provenientes principalmente da lesão secundária de forma confiável é extremamente importante. Essa avaliação é um dos fatores que auxiliam na escolha do tratamento adequado a cada paciente e, portanto, previne o aparecimento de lesão cerebral secundária. É na diretriz de prevenção da lesão secundária que estão direcionadas as principais pesquisas atualmente [9].

A Figura 1 mostra um resumo do estado da arte de monitorização do paciente neurológico grave que se baseia na monitorização multimodal.



Fig 1: Parâmetros de monitorização do paciente neurológico grave.

Das três categorias, observamos:

1 - Os sinais diretos, que são monitorizados de forma invasiva (por exemplo, a PIC, a oxigenação dos tecidos, microdiálise, o fluxo sanguíneo do parênquima entre outros);

2 - As variáveis que podem ser monitoradas de forma não invasiva (por exemplo, Doppler transcraniano (DTC) ou espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS));

3 - As variáveis que descrevem a fisiopatologia do cérebro que não são monitoradas diretamente, mas são calculados à beira do leito por software de computador dedicado. O exemplo mais simples é a PPC, que é a diferença entre a pressão arterial média (PAM) e da PIC, e, portanto, é uma variável calculada. Exemplos mais sofisticados incluem vários índices de reatividade vascular ou auto-regulação cerebral [10], a reserva de compensação do cérebro [11], resistências vasculares e complacências cerebrais compartimentadas [12].

A metodologia utilizada no desenvolvimento do software emprega conceitos de engenharia de software para projeto de sistemas. O diagrama representado na Figura 1 mostra os passos para implementação desse projeto. Vale notar que o processo de desenvolvimento do sistema é iterativo e não-sequencial [13]. Deste modo, o conhecimento obtido em qualquer das etapas mostradas na Figura 2 pode ser usado como um feedback no desenvolvimento de qualquer uma das etapas.

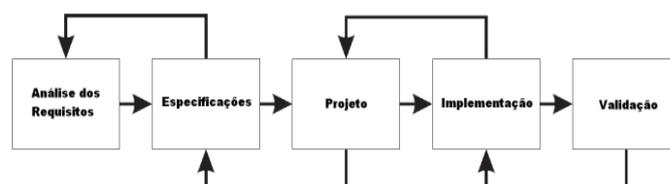


Fig 2: Principais passos para o desenvolvimento do sistema de pressão intracraniana.

Na fase de Análise dos Requisitos foram identificadas as necessidades específicas relativas ao controle de pacientes neurocríticos em uma ação conjunta entre os grupos de pesquisa em Neurocirurgia e Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil. Os resultados deste passo guiaram o desenvolvimento de ferramentas computacionais.

Dentre as principais necessidades estavam a necessidade de avaliação da PPC e a da estimativa do Índice de Vasoreatividade Cerebral (PRx), sendo este último uma correlação entre a pressão arterial e a pressão intracraniana; Esse indicador tem o objetivo de mostrar na escala temporal se variações na pressão arterial refletem em variações na pressão intracraniana. Esse indicador tem altíssima relevância para avaliação ao politraumatizado, pois informa ao corpo clínico se o paciente está vasoreagindo ou não. Quando o paciente não apresenta vasoreatividade pode ser um indicativo de que o mesmo já tenha esgotado seu sistema compensatório [14].

A fase de Especificação consiste no desenvolvimento de uma documentação que descreve a arquitetura do sistema proposto. O diagrama de blocos principal do sistema proposto é apresentado na Figura 3.

A etapa Projeto consiste em modelar as interfaces (i) de interação com o usuário, como mostrado na Figura 4, (ii) de banco de dados (iii) de relatórios, indicadores e consultas.

Na Implementação é que descrevemos o uso de ferramentas computacionais (por exemplo, compiladores e linguagens de programação) para a implementação do projeto do sistema, tal como definido na etapa "Projeto".

A Validação será focada nos seguintes aspectos: (i) validação da interface gráfica com o usuário final, (ii) validação das informações geradas pelo sistema, e (iii) a validação clínica do sistema. Essa etapa foi realizada por meio da aquisição e gravação da PAM e PIC via central de monitorização Dixtal, numa amostragem de 0,06 Hz. A etapa de validação foi utilizada utilizando dados de dois pacientes, com TCE e AVE respectivamente, internados na UTI adulto do Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia.

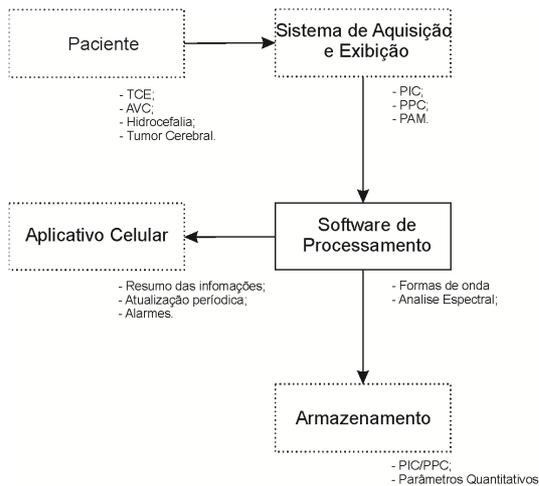


Figura 3: Estrutura Geral do Sistema

## V. RESULTADOS

Os resultados preliminares do trabalho são referentes à validação do software de aquisição e processamento. Os mesmos são preliminares, pois o sistema completo contempla também uma parte de telemonitoramento, onde as informações uma vez processadas por este sistema principal são enviadas ao corpo clínico via aplicativo celular, conforme o esquema da Figura 3.

A Figura 4 mostra a interface principal do software. Nela estão contempladas: Informações do paciente, botões de navegação no exame, gráficos de avaliação geral (à direita) e detalhada do paciente (à esquerda).

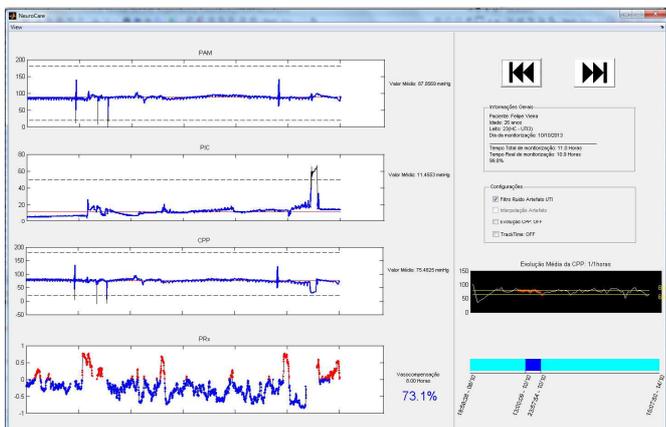


Fig 4: Interface principal.

A parte gráfica da esquerda da interface da Figura 4 é ampliada na Figura 5 e exibe em torno de 12 horas de monitorização de PIC, PAM, CPP e PRx respectivamente. Nos três primeiros são aplicados filtros por limiar que excluem, principalmente, os ruídos de artefatos. Tais limiares são mostrados pelas curvas pontilhadas. A linha em vermelho mostra os valores médios da curva azul. Esses traços adicionais, por mais simples que sejam, não são aplicados nos softwares dos monitores multiparâmetros.

Somado ao fato que tais monitores somente permitem a visualização de no máximo alguns minutos de monitorização.

O último gráfico da Figura 5 mostra a avaliação da correlação entre PAM e PIC e quando esta é positiva o gráfico está em vermelho e quando negativa está em azul. A correlação entre PIC e PAM mostra como as artérias cerebrais reagem com variações da PAM. Isso é importante de avaliar porque se ocorre um aumento da PAM e a PIC diminui indica uma espécie de reserva compensatória da vascularização cerebral, algo como um sistema de proteção [15]. Segundo Czosnyka e colaboradores, essa reserva compensatória seria uma maneira que a rede vascular do cérebro tenta prevenir a hipertensão intracraniana através de um aumento do tônus arterial cerebral.

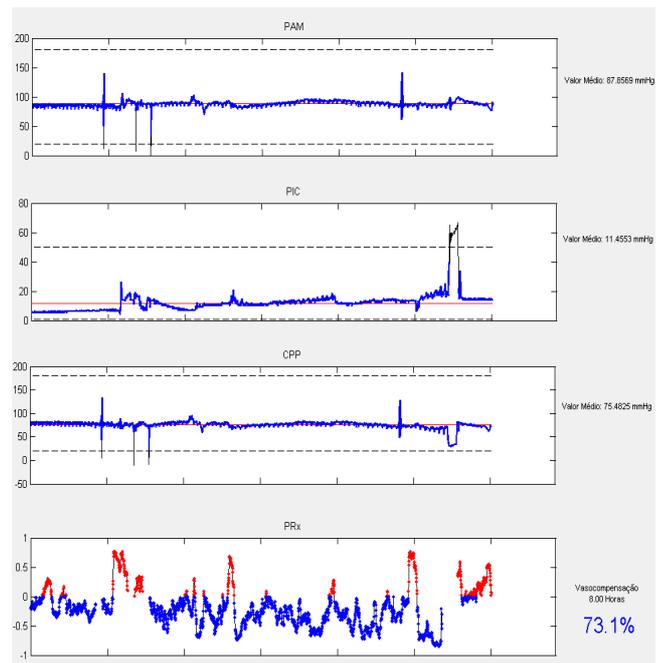


Figura 5: Gráficos

As Figuras 6 e 7 exibem a parte direita da interface da Figura 4. A Figura 6 mostra os botões de navegação pelo exame, informações do exame e do paciente, bem como as configurações de visualização dos gráficos da Figura 5.

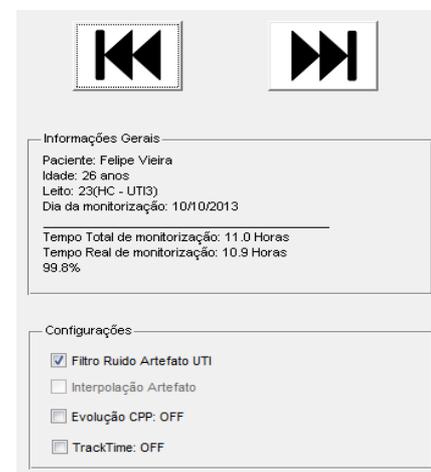


Figura 6: Navegação

A Figura 7 exibe a CPP do exame completo, que geralmente tem duração de vários dias. E mostra, na parte inferior, uma espécie de linha do tempo de todo o exame. A barra maior, em azul claro, contém a duração total do exame (no exemplo: do dia 08/10 até 14/10). Já a região mais escura da barra mostra o início e o fim da região em destaque que é visualizada nos gráficos da Figura 5, nesse exemplo, a região em destaque exibe os dados de monitorização das 13 até as 23 horas do dia 10/10. Essa ferramenta auxilia o corpo clínico na avaliação geral da monitorização em comparação com as nuances que são observadas no gráfico da Figura 5.

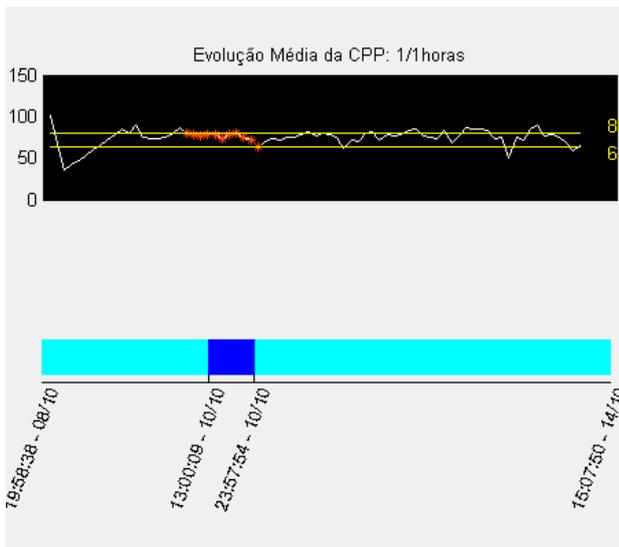


Figura 7: Avaliação da CPP do exame completo com destaque ao trecho exibido.

O software permite ainda a localização das ondas A e B de Lundberg [16] na curva de pressão intracraniana, conforme mostrado na Figura 5. Essas ondas são ondas com forma características que caracterizam surtos de hipertensão intracraniana.

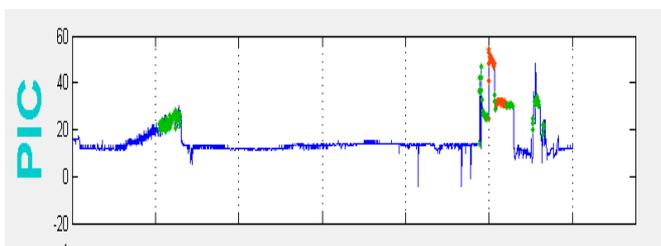


Fig 8: Ondas de Lundberg.

O software também avalia o sistema de compensação vascular cerebral, informando quando o mesmo ainda tem reservas compensatórias ou não. Essa avaliação é mostrada na Figura 6.

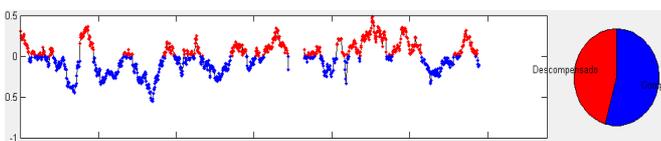


Fig 9: Vasoreatividade cerebral.

Os atuais sistemas de monitorização da pressão intracraniana apenas mostram a informação medida pelo sensor em tempo real sem nenhum processamento mais avançado, no intuito de fornecer mais informações clínicas. Também não apresenta histórico, não facilitam a análise da evolução das curvas de monitorização do paciente. Somente esses motivos já indicariam a necessidade de um sistema mais flexível para análise da pressão intracraniana. Além disso, o sistema apresentado busca em outras variáveis, dentre elas a CPP e o PRx, prover o especialista de informações para o melhor manejo do paciente.

## VI. CONCLUSÕES

Monitorização da PIC é uma prática promissora, especialmente para pacientes com TCE. Por esta razão, foi proposto o desenvolvimento de uma ferramenta para processamento de dados, análise e visualização remota de parâmetros da PIC e forma de onda. Essas informações, embora muito úteis, não são usualmente conhecidas nas UTI's devido ao fato de não serem calculadas pelos monitores multiparâmetros disponíveis na rede SUS.

Os próximos passos da obra serão: Aprimoramento de ferramentas para o processamento digital das informações do ICP. Depois, serão implementadas as bases de dados em conjunto do sistema de telemonitoramento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao governo brasileiro (CAPES, CNPq e FAPEMIG) pelo apoio financeiro deste estudo. Ao Laboratório de Engenharia Biomédica (BIOLAB), ao Núcleo de Inovação e Avaliação Tecnológica em Saúde (NIATS) e ao Hospital de Clínicas de Uberlândia (HC-UFU) que disponibilizaram toda a infraestrutura necessária para a realização dos procedimentos e desenvolvimento do projeto em questão.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. Lent, Cem Bilhões de Neurônios: conceitos fundamentais de neurociência., 1ª ed. São Paulo: Atheneu, 2004.
- [2] D. Purves, "Vascular supply, the meninges, and the ventricular system," in Neuroscience, 3ª ed Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2004.
- [3] N. Lundberg, "Continuous recording and control of ventricular fluid pressure in neurosurgical practice," Acta Psychiatrica Scandinavica, vol. 36, pp. 1-193, 1960.
- [4] A. A. Hyder, C. A. Wunderlich, P. Puvanachandra, G. Gururaj, and O. C. Kobusingye, "The impact of traumatic brain injuries: A global perspective," NeuroRehabilitation, vol. 22, pp. 341-353, 2007.
- [5] R. R. Winn, M. Bullock, D. Hovda, J. Schouten, and A. Maas, "Epidemiology of Traumatic Brain Injury," in Youmans Neurological Surgery. vol. 4: Elsevier Saunders, 2011, pp. 3270-3275.
- [6] R. R. Winn, M. Bullock, D. Hovda, J. Zacko, and G. Hawryluk, "Neurochemical Pathomechanisms in Traumatic

- Brain injury," in Youmans Neurological Surgery. vol. 4: Elsevier Saunders, 2011, pp. 3305 - 3324.
- [7] R. R. Winn, M. Bullock, D. Hovda, K. Shahlaie, and M. Zwienerberg-Lee, "Clinical Pathophysiology of Traumatic Brain Injury," in Youmans Neurological Surgery. vol. 4: Elsevier Saunders, 2011, pp. 3362-3379.
- [8] The Brain Trauma Foundation, "Guidelines Management and prognosis of severe traumatic brain injury," journal of Neurotrauma, vol. 17, pp. 449-627, 2000.
- [9] D. G. Barone and M. Czosnyka, "Brain Monitoring: Do We Need a Hole? An Update on Invasive and Noninvasive Brain Monitoring Modalities," The Scientific World Journal, vol. 2014, p. 6, 2014.
- [10] A. Lavinio, I. Timofeev, J. Nortje, J. Outtrim, P. Smielewski, A. Gupta, P. J. Hutchinson, B. F. Matta, J. D. Pickard, D. Menon, and M. Czosnyka, "Cerebrovascular reactivity during hypothermia and rewarming," British Journal of Anaesthesia, vol. 99, pp. 237-244, 2007.
- [11] D. J. Kim, Z. Czosnyka, N. Keong, D. K. Radolovich, P. Smielewski, M. P. Sutcliffe, J. D. Pickard, and M. Czosnyka, "Index of cerebrospinal compensatory reserve in hydrocephalus," Neurosurgery, vol. 64, pp. 494 - 501, 2009.
- [12] D. J. Kim, M. Kasprovicz, E. Carrera, G. Castellani, C. Zweifel, A. Lavinio, P. Smielewski, M. P. Sutcliffe, J. D. Pickard, and M. Czosnyka, "The monitoring of relative changes in compartmental compliances of brain," Physiological Measurement vol. 30, pp. 647-659, 2009.
- [13] R. S. Pressman, Software Engineering: A Practitioner's Approach, 6 Edition ed.: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2004.
- [14] Czosnyka, M., P. Smielewski, et al. (2007). "Intracranial Pressure: More Than a Number." Journal of Neurosurgery 22(5): 1-7.
- [15] E. W. Lang, M. Czosnyka, and H. M. Mehdorn, "Tissue oxygen reactivity and cerebral autoregulation after severe traumatic brain injury," Critical Care Medicine, vol. 31, pp. 267-271, 2003.
- [16] N. Lundberg, (1960). "Continuous recording and control of ventricular fluid pressure in neurosurgical practice." Acta Psychiatrica Scandinavica 36: 1-193.