

TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS E NEUROCIÊNCIA COGNITIVA: UTILIZANDO UMA INTERFACE CÉREBRO-COMPUTADOR NO ENSINO DE FÍSICA PARA DEFICIENTES VISUAIS E FÍSICOS

VIVEIROS, Edval Rodrigues de
edvalrv@ig.com.br

UNISALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

CAMARGO, Eder Pires de
camargoep@dfq.feis.unesp.br

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)

RESUMO: Através da Teoria dos Campos Conceituais, apresentamos resultados de uma pesquisa de doutorado, demonstrando que uma interface cérebro-computador (ICC) pode ser utilizada como uma ‘tecnologia assistiva’ em aulas de Física para deficientes visuais e físicos. O uso da ICC foi realizado numa abordagem multissensorial. Utilizou-se a ICC também para registrar o eletroencefalograma (EEG) e os ritmos cerebrais (Alpha, Beta, Delta e Theta), comparando-se uma tarefa unimodal com outra tarefa multimodal (multissensorial). Comparado com a estratégia com uma única estimulação sensorial, a análise estatística destes dados neurocognitivos mostrou que a aplicação de estratégias multissensoriais produziu correlação acima de 70% (com $p < 0,005$), sugerindo, assim, grande predisposição de aprendizagem, atenção e memória, e a consequente elaboração de esquemas e conceitos.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Física, Ensino de Física para deficientes visuais e físicos, Teoria dos Campos Conceituais, Interface cérebro-computador na Educação, Neurociência Cognitiva, Embodiment, Incorporação cognitiva.

ABSTRACT: Through the “Conceptual Fields Theory”, this paper presents results of a PhD research, showing that a brain-computer interface (BCI) can be used as a ‘assistive technology’ in physics classes for the blind and physically handicapped. The use of BCI was carried on a multisensory approach. We used the BCI also to record the electroencephalogram (EEG) and brain rhythms (Alpha, Beta, Delta and Theta), compared a unimodal task with another task multimodal (multisensory). Comparing the strategy that used a single sensory stimulation, statistical analysis of the neurocognitive data showed that the application of the multisensory strategies produced correlation above 70% ($p < 0.005$), suggesting thus strong predisposition to learning, memory and attention, and consequently the development of schemes and concepts.

KEYWORDS: Teaching Physics, Physics teaching for the blind and physically handicapped, Conceptual Fields Theory, Brain-computer interface in Education, Cognitive Neuroscience

1. INTRODUÇÃO

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC), de autoria de Gérard Vergnaud (VERGNAUD, 1990) enfatiza que a aprendizagem dos conceitos deve emergir no decorrer do desenvolvimento das situações didáticas. Assim, os conceitos devem ser elaborados pelo próprio aprendiz, formando aquilo que Vergnaud denomina “invariantes operatórios” ou “conceitos-em-ação” e os “teoremas-em-ação”, respectivamente.

Com esta noção, Vergnaud vai ressignificar a relação ensino-aprendizagem, valorizando assim a elaboração cognitiva do aprendiz, se sobrepondo desta maneira às estratégias de ensino dadas apenas e tão somente pelo professor. Neste sentido, para a TCC, na elaboração dos conceitos e invariantes operatórios participam diversos mecanismos cognitivos como: linguagem verbal e não verbal, gestos, expressões, manifestações de natureza emocional (MOREIRA, 2002).

Entretanto, apesar da TCC se prestar muito bem no que concerne a explicação sobre a elaboração dos esquemas cognitivos com o processo de conceitualização, tal teoria não evidencia determinadas funções cognitivas diretamente vinculadas à aprendizagem:

- a) Não explica a associação, correlação ou relação entre os chamados ‘esquemas’ e ‘invariantes operatórios’ com aprendizagem considerada ‘cognitivo-motora’.
- b) Não aprofunda a contribuição dos aspectos afetivos emocionais para a constituição da conceitualização.

Por outro lado, recentes estudos envolvendo aprendizagem cognitivo-motora através do uso de interface cérebro-computador (NICOLELIS, LEBEDEV, 2009; NICOLELIS, LEBEDEV, 2006) vêm mostrando que a aprendizagem chamada ‘conceitual’ está estreitamente vinculada à aprendizagem motora, formando o que se chama de **‘incorporação cognitiva’** (*embodiment*, *embodiment¹ cognition*) (BOUYER, 2008).

Tais pesquisas possuem grande impacto nas teorias de aprendizagem (como a TCC) justamente porque reinterpretam e avançam na direção de uma compreensão mais profunda sobre como se processa a aprendizagem conceitual. Isto diz respeito principalmente quando esta aprendizagem envolve diretamente mecanismos até então considerados apenas como sendo de natureza motora, como é o caso aqui considerado, onde utilizamos procedimentos de ensino de Física através de uma abordagem multissensorial.

Assim sendo, este trabalho mostra parte dos resultados da pesquisa de Viveiros (2013), onde a TCC foi utilizada como aporte teórico, metodológico e didático para aulas de Física com pessoas deficientes visuais e físicos num tratamento multissen-

sorial. O objetivo foi adaptar uma interface cérebro-computador (ICC) para trabalhar como uma tecnologia assistiva. Basicamente, uma ICC é um dispositivo dotado de eletrodos que, a partir da leitura e do reconhecimento da atividade elétrica cerebral em determinados tipos de tarefas cognitivas, decodificar estes sinais e convertê-los em comandos computacionais que podem controlar todo tipo de artefato robótico ou eletroeletrônico.

Mas para que esta tecnologia pudesse ser considerada “assistiva” dentro de um ambiente educacional, e adaptada para trabalhar com alunos sem e com necessidades educacionais especiais (principalmente as deficiências visual e física), foi necessário utilizarmos a TCC como um aporte epistemológico e metodológico para justamente adequar o uso de tal tecnologia nas situações didáticas de Física que seriam aplicadas.

2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Assim, oito aulas de Física foram aplicadas em 3 alunos com deficiência visual, sendo duas pessoas com cegueira total (um homem com 23 anos, e uma mulher com 18 anos), e um sujeito (sexo feminino, com 23 anos) apresentando simultaneamente deficiência visual e deficiência física decorrentes de um acidente vascular encefálico. As duas mulheres estavam realizando o ensino médio, e o rapaz já havia concluído o mesmo (todos em escola estadual).

As aulas foram trabalhadas com um enfoque multissensorial (estimulação verbal, sonora, tátil), utilizando um kit de robótica LEGO Mindstorms NXT 2.0.

A ICC escolhida foi da marca Emotiv Epoc, que utiliza a técnica P300 de codificação dos sinais elétricos, disposta com 14 eletrodos posicionados nos pontos F3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, P7, P8, T7, T8, O1, O2 (Figura 1). Este uso foi realizado em duas etapas:

¹ O termo moderno “embodiment” provém da expressão “umwelt” utilizado por Merleau-Ponty, que significa “a estrutura do conjunto ou meio ambiente emergente da ação incorporada do ser, que comporta a relação partes-todo (agente-atuação-mundo) e faz emergir as possibilidades de linguagem e intercompreensão entre os agentes aí situados” (BOUYER, 2008, p.77).

Controle do robô LEGO: a ICC controlou os movimentos de um robô (Figura 4): neste caso, o que foi suposto é que a pessoa com deficiência visual e ou deficiência física tivesse dificuldade ou até impossibilidade de manusear o robô com suas próprias mãos. Em tal situação, através de um treinamento cognitivo (mostrado na Figura 3), o indivíduo foi capaz de acionar o robô apenas com o pensamento (Figuras 3, 4 e 5).

Para o deficiente visual este uso assistivo é interessante justamente porque este indivíduo não conseguiria efetuar a programação necessária para acionar os movimentos dos motores do robô LEGO.

Por outro lado, com a ICC, a pessoa pôde executar os movimentos de acionamento do protótipo robótico ou, eventualmente, acionar qualquer dispositivo eletroeletrônico. Foi desenvolvido um aplicativo (software) que permite um feedback auditivo indicando a direção que o robô se movimenta (direita, esquerda, para frente, para trás).

Registro da atividade elétrica cerebral: através de um quase-experimento, a ICC foi utilizada para estudar os padrões do eletroencefalograma (EEG) e dos ritmos cerebrais do indivíduo durante três fases: a fase “**Base**”, onde o sujeito permanecia em repouso; a fase “**Controle**” ou “**Aquisição**”, onde foi aplicada uma aula de Física



Figura 1: Interface cérebro-computador (ICC) Emotiv Epoc.



Figura 2: kit de robótica LEGO Mindstorms para controle através da ICC.

com o aluno apenas ouvindo uma explicação verbal do professor. E outra fase, “**Aquisição tátil**”, o aluno participava da aula de Física com aplicação de uma estimulação multissensorial, tocando e experimentando o objeto de aprendizagem (kit LEGO, conforme as Figuras 2, 4, 5, 6 e 7). Na fase de

aquisição tátil o aluno também podia interagir, se expressando verbalmente, explicando ou comentando algo sobre a aula.

Na Figura 2 é mostrado o kit de robótica LEGO Mindstorms NXT 2.0 que foi utilizado durante as aulas de Física.

Assim, para que o robô pudesse ser movimentado apenas com o pensamento, através da ICC, foi necessária a realização de um treinamento cognitivo, que consistiu de uma série de seções onde o aluno imaginava determinado movimento

para um lado específico (direito, esquerdo, para cima ou para baixo, respectivamente). Posteriormente, a lembrança deste mesmo lado faria o robô se movimentar para o lado que era imaginado. Parte deste treino está mostrado na Figura 3.



Figura 3: Treinamento cognitivo para controle dos movimentos do robô.

Então, com o uso da ICC o aluno deficiente visual (ou físico), poderia controlar o acionamento dos motores do protótipo, ao mesmo tempo em que manuseava com as mãos o robô, permitindo, assim, efetu-

ar duas tarefas cognitivo-motoras simultaneamente. Neste caso, foi trabalhado um campo conceitual que envolveu conceitos como: força, torque, potência, velocidade (Figuras 4 e 5).



Figura 4: Acionando os motores do kit LEGO Mindstorms (estudo dos conceitos de Torque, Força, Potência).



Figura 5: Simultaneamente a aluna aciona os motores do kit LEGO e toca o robô com as mãos (estudo dos conceitos de Torque, Força, Potência).

Outras montagens com as peças LEGO foram utilizadas nas aulas de Física, todas aplicando-se a ideia de estimulação multissensorial. Nas Figuras 6 e 7 são

mostrados duas destas montagens, onde o campo conceitual abordou os conceitos de Força Potente/Braço Potente, Força Resistente/Braço Resistente e Torque.

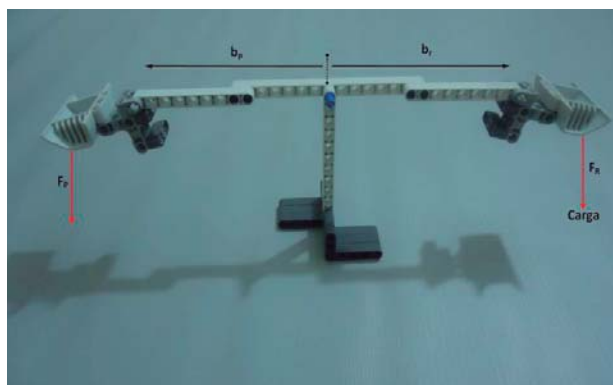


Figura 6: Montagem com peças do kit LEGO (balança) para estudar conceitos de Força Potente/Braço Potente, Força Resistente/Braço Resistente.



Figura 7: Montagem com peças LEGO (sarlho) para estudar conceitos de Força, Torque, Braço de alavanca, braço resistente.

3. RESULTADOS

Para a análise da “parte didática”, diretamente relacionada com a aplicação da TCC, apresentamos aqui somente os dados relativos a um dos sujeitos da pesquisa (mulher com 18 anos), por considerarmos que dos três sujeitos este foi aquele onde ficaram mais evidente maiores dificuldades em se trabalhar o processo de conceitualização. O histórico de vida acadêmica deste sujeito indicava que o mesmo apresenta necessidades educacionais especiais em várias áreas da aprendizagem (conceitual,

léxico, semântica etc.) sendo que, inclusive, tal sujeito teria sido classificada (inadequadamente) como deficiente intelectual até o ano de 2011, o que verificou-se não corresponder à realidade.

Assim, obtivemos os seguintes esquemas: Gesto motor próprio; Gesto motor orientado; Gesto motor metacognitivo; Expressão Emocional; Fala autônoma; Fala confirmatória; Fala quase-simultânea.

Os invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Invariantes operatórios

Conceito-em-ação	Teorema-em-ação
Fazer força, pesado/força potente	Levantar o objeto
Massa/força resistente	Resiste
Sentido de rotação horário	Movimento mais lento
Sentido de rotação anti-horário	Movimento mais rápido
Maior rapidez/menor velocidade angular de rotação	Mais força
Menor rapidez/menor velocidade angular de rotação	Menos força

Para os “**dados neurocognitivos**”, referentes à aplicação da interface cérebro-computador, os Gráficos 1, 2 e 3 mostram o nível do sinal elétrico (em decibéis, dB) dos três sujeitos de pesquisa, nas fases Base (estado de relaxamento), Aquisição auditiva

(somente ouvindo explicação) e Aquisição háptica, quando o aluno além de ouvir explicação do professor, também manuseava o material didático conforme orientação do professor, procurando perceber seu funcionamento (conforme as Figuras 3, 5, 7 e 8).

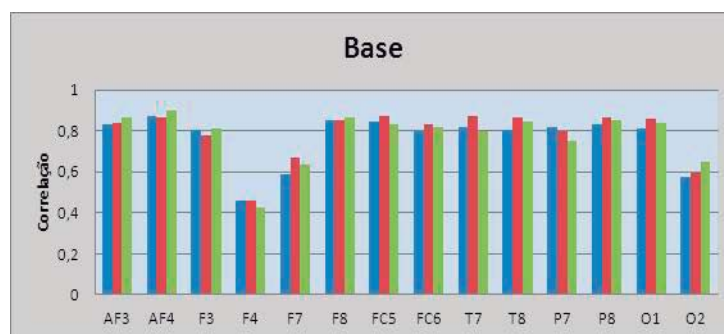


Gráfico 1 : Variação dos sinais elétricos do EEG/ritmos cerebrais na fase “Base” (cada coluna colorida representa um sujeito, respectivamente).

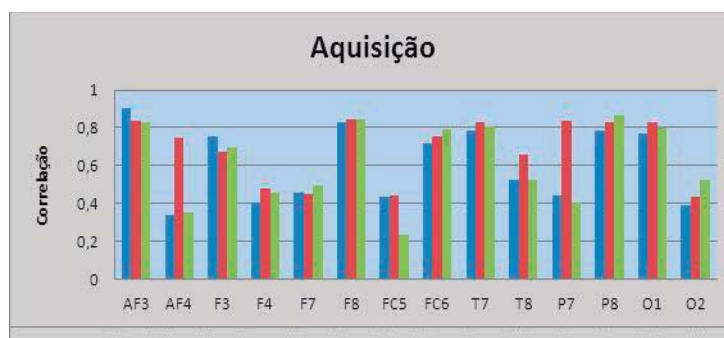


Gráfico 2 : Sinais elétricos do EEG/ritmos cerebrais durante fase de aquisição auditiva.

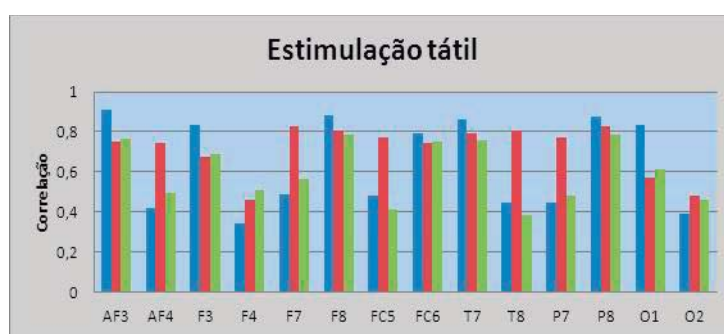


Gráfico 3 : Sinais elétricos do EEG/ritmos cerebrais na fase de aquisição tátil.

Na Figura 9 temos a leitura da atividade do ritmo cerebral Alpha, Beta, Delta e Theta para um dos sujeitos da pesquisa (padrão idêntico para os três sujeitos de pesquisa), respectivamente para as fases Base e Háptico (esquerda e direita). Observa-se grande atividade elétrica nos ritmos

Alpha, Beta e Theta durante a aquisição háptica. As correlações estatísticas calculadas estiveram acima de 70%, com $p < 0,005$, indicando assim que o tratamento experimental do uso da estimulação tátil produziu significativa correlação.

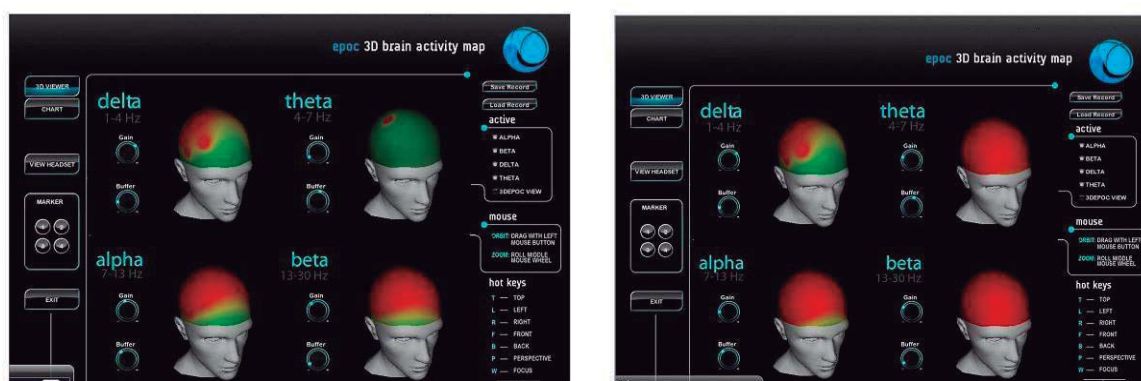


Figura 8: Mapas da atividade cerebral Alpha, Beta, Delta e Theta nas Fases Base (esquerda) e Tátil (direita). Observa-se a grande atividade (coloração vermelha) predominante em Alpha, Beta e Theta na fase Tátil.

4. ANÁLISE E COMENTÁRIOS

Os resultados aqui apresentados poderiam ser interpretados como constituindo um estudo de caso, principalmente em função de que nossa amostra abrangeu três sujeitos de pesquisa. Contudo, consideramos o estudo como sendo absolutamente pertinente justamente pelo fato de que apresenta perspectivas bastante promissoras no que se refere aos resultados encontrados quando comparados com outros estudos semelhantes realizados por outros autores.

Para os três sujeitos de pesquisa estudados, houve grande atividade elétrica cerebral na fase de aquisição háptica nas faixas dos ritmos Alpha, Beta e Theta. Quando se realiza tarefas motoras o ritmo Alpha normalmente se dessincroniza (o sinal é suprimido), (AFTANAS et al, 2002) exceto quando existe forte estimulação emocional positiva (emoções associadas com sentimentos como de euforia, alegria, contentamento, etc.). Mas o mais importante é que, nestas condições, há uma grande predisposição para manifestação de mecanismos envolvendo aprendizagem (AMEDI et al, 2003; KRIEGSEIS et al, 2006). Ou seja, a aprendizagem somente acontece quando estes tipos de ritmos cerebrais (Alpha e Theta) se impõem. Por outro lado, concomitantemente, nestes casos também há a predominância de eventos de memória de curto, médio e longo prazo. A ocorrência constante da atividade Beta indica também a manifestação de eventos relacionados com o mecanismo da atenção. Da mesma maneira, houve vários momentos com ocorrência do ritmo Delta, também incomum para este tipo de tarefa cognitivo motora.

Os altos valores de correlação estatística, acima de 70%, indicaram que o tipo de atividade didática aplicada, com estimulação multissensorial, afetou significativamente o processo de conceitualização desenvolvido pelos sujeitos analisados.

5. CONCLUSÕES

A utilização de estratégias didáticas com características multissensoriais (aplicação de vários estímulos) indica ati-

vação de mecanismos relacionados com a cognição emocional, que são diretamente vinculados com a atenção e memória. Consequentemente, constatou-se que, nestas condições, houve grande predisposição cognitiva em direção à elaboração de esquemas e o consequente processo de conceitualização. Isto ficou evidenciado pelo surgimento de esquemas e invariantes operatórios obtidos pelos sujeitos de pesquisa nas aulas de Física desenvolvidas, principalmente no sujeito aqui apresentado.

O objetivo de usar uma interface cérebro-computador como uma ferramenta assistiva (tecnologia assistiva) foi adequadamente alcançado. Entretanto, é necessário que vários aperfeiçoamentos técnicos (ergonômicos e computacionais) sejam realizados para que esta tecnologia possa, efetivamente, ser utilizada com maior eficiência e eficácia operacional, pensando-se em tarefas cognitivas mais complexas e, sobretudo, considerando indivíduos sem ou com deficiências (física, visual, auditiva, intelectual, múltiplas).

Contudo, destacamos que o uso desta tecnologia, assim como qualquer outra, num ambiente educacional, deve ser efetuado mediante uma abordagem epistemológica, didática e metodológica conveniente. No nosso caso, a escolha pela Teoria dos Campos Conceituais teve razão de ser em função da consistência e da robustez das características sócio cognitivas que tal abordagem propicia, permitindo que mesma possa ser utilizada ao mesmo tempo como um referencial de pesquisa em Ensino de Física (e Ensino de Ciências), mas também em relação à sua aplicação enquanto uma metodologia didático-epistemológica em sala de aula.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFTANAS, L.I.; VARLAMOV, A.A.; PAVLOV, S.V.; MAKHNEV, V.P.; REVA, N.V. Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal: EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands. *International Journal Psychophysiology*, 2002 Apr; v. 44, n.1, p. 67-82, 2002.

AMEDI, A.; RAZ, N.; PIANKA, P.; MALACH, R.; ZOHARY, E. Early 'visual' cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind,

Nature Neuroscience, v.6, n. 7, p.758-66, 2003.

BOUYER, G.C. **Ergonomia cognitiva e mente incorporada**. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2008.

KRIEGSEIS, A.; HENNIGHAUSEN, E.; RÖSLER, F.; RÖDER, B. Reduced EEG alpha activity over parieto-occipital brain areas in congenitally blind adults. **Clinical Neurophysiology**, v. 117, p.1560-1573, 2006.

LEBEDEV, M.A. ; NICOLELIS, M. Brain-machine interfaces: past, present and future. **Trends Neuroscience**. 2006 Sep;29(9), p.536-46. Epub 2006 Jul 21.

MOREIRA, Marco A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, 2002.

NICOLELIS, M. A. L.; LEBEDEV, M. A. Principles of neural ensemble physiology underlying the operation of brain-machine interfaces. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 10, n. 7, p. 530-540, Jul 2009.

VERGNAUD. Gérard. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VIVEIROS, E.R. de. **Mindware semiótico-comunicativo: aplicação didática no Ensino de Física para deficientes visuais utilizando uma interface cérebro-computador**. Tese de Doutorado. Orientador: Dr. Eder Pires de Camargo. Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP de Bauru. 2013.

Edval Rodrigues de Viveiros é físico pela Universidade Estadual de Londrina, com mestrado e doutorado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP, Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência da UNESP de Bauru. Realizou doutorado sanduiche na Université Paris 8 com o prof. Dr. Gérard Vergnaud. Atualmente é docente nos cursos de Engenharia Civil, Elétrica, Mecânica Mecatrônica, Computação e Telecomunicações do UniSalesiano Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

Eder Pires de Camargo é doutor em Física (UNICAMP), docente da UNESP, Faculdade de Engenharia, Departamento de Física e Química de Ilha Solteira, e também docente no Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da UNESP de Bauru, Faculdade de Ciências.