



## **APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS E A CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA: UM ESTUDO DE CASO NO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA NA UNISOCIESC**

**Carlos Roberto da Silva Filho** – carlos.silva@sociesc.org.br  
Centro Universitário Tupy – UNISOCIESC – Curso de Engenharia Elétrica

**Daniel Carlos Oro** – danielkbsao@hotmail.com  
Centro Universitário Tupy – UNISOCIESC – Curso de Engenharia Elétrica

**Wesley Masterson Belo de Abreu** – wesley@sociesc.org.br  
Centro Universitário Tupy – UNISOCIESC – Curso de Engenharia Elétrica  
Rua Albano Schmidt, 3333  
89206-001 – Joinville – SC

***Resumo:** Este trabalho apresenta a relação entre a disciplina de conversão eletromecânica de energia e a aprendizagem baseada em problemas no curso de engenharia elétrica. A disciplina de conversão de energia trabalha entre outros assuntos, os conceitos associados a máquinas síncronas. Estas máquinas podem ser construídas para gerar energia elétrica ou serem utilizadas como motores elétricos. O uso de uma ferramenta de simulação nas aulas facilita o processo de ensino e aprendizagem, contudo existem muitas maneiras de aplicar esta simulação nas aulas. Neste trabalho o aluno é o ator principal, enquanto o professor conduz o processo de inferência do conhecimento, fazendo mediações, considerações e em alguns momentos interferindo nas conclusões sobre o conhecimento a ser adquirido. Como resultado final, percebe-se que a complexidade da arte de ensinar envolve muitas variáveis e que esta tarefa é de responsabilidade do professor.*

***Palavras-chave:** aprendizagem baseada em problemas, conversão eletromecânica, ensino de engenharia*

### **1. INTRODUÇÃO**

O ensino de engenharia já utiliza ferramentas computacionais na simulação de circuitos elétricos, eletrônicos de modo a facilitar o aprendizado dos acadêmicos. Entretanto, uma área que exige do aluno um elevado nível de abstração, especialmente no seu primeiro contato com o tema é a área do eletromagnetismo, ainda mais associada a uma disciplina como a de conversão eletromecânica de energia. Esta abstração pode ser um problema. Deve-se salientar que o estudo de máquinas elétricas é uma das áreas inerentes aos cursos de engenharia elétrica.

Este trabalho trata do uso de uma ferramenta computacional para a simulação de um projeto de máquinas síncronas, com o enfoque de projeto de geradores síncronos. O *software* a ser empregado é o **FEMM** - Finite Element Method Magnetics (MEEKER, 2012). Este *software* permite realizar análise estática no tempo em duas dimensões de problemas relacionados à magnetostática. Além do uso da ferramenta, na disciplina de conversão, busca-se relacionar a metodologia de ensino baseada em problemas considerando os aspectos de ensino e aprendizagem de alunos de engenharia.



Porém por tratar-se da análise da aplicação de uma metodologia de ensino ativa no ensino de uma disciplina de engenharia, e ainda utilizando em parte das aulas a metodologia baseada em problemas, o uso de um *software* de simulação permite o aluno visualizar a interação do campo magnético das máquinas síncronas. Esta metodologia, em certos momentos, permite que ele faça uma inferência sobre o conhecimento a partir de um conhecimento prévio sobre o tema. Com base nestas considerações, admite-se que o objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso com uma sistemática de aplicação da metodologia de aprendizado baseada em problemas na disciplina de conversão eletromecânica de energia com o apoio de uma ferramenta de simulação de campos magnéticos.

## 2. METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM

O docente universitário no seu dia a dia muitas vezes encontra-se no papel de, ora professor, ora condutor ou tutor num processo de ensino e aprendizagem. Existem muitos trabalhos que investigam a relação entre ensino e sua relação aplicação de metodologias ativas. Uma das metodologias que podem ser consideradas ativas é a baseada em solução de problemas (DELORS, 2001). Nesta metodologia, pode-se considerar que o aluno interage, de certo modo, como uma primeira aplicação prática na atividade de um engenheiro.

A metodologia de aprender fazendo já vem sendo estudado desde o início do século XX. Naturalmente o ensino da engenharia é interligado às novas metodologias e estas devem ser avaliadas diariamente (PAIXÃO *et al.*, 2006). O aprendizado baseado numa metodologia de problematização começa a ser inserido na vida do futuro engenheiro a partir do seu primeiro projeto de disciplina ou multidisciplinar. Portanto no processo de ensino e aprendizagem, uma das formas do acadêmico desenvolver suas competências e habilidades é através da aplicação e inferência do conhecimento técnico-científico. Neste caso pode-se mencionar a resolução 11/2002 que discute as questões relacionadas às atividades complementares, projetos multidisciplinares, iniciação científica entre outros (BRASIL, 2002).

Considerando a metodologia de ensino baseada em problemas, de acordo com Delors (2001), pode-se considerar que aprender a conhecer e aprender a fazer são, em larga medida, indissociáveis. Portanto, conclui-se que o futuro profissional deve ser capaz aprender a conhecer novos conceitos e tecnologias que estão por vir, de modo autônomo, mesmo depois, quando estiver em pleno exercício profissional. Esta habilidade deve ser fomentada já na universidade. Neste caso, o aprender a conhecer e aprender a fazer ocorre durante as etapas de modelagem e simulação da máquina síncrona, atuando como gerador.

A metodologia baseada em problemas, de acordo com Vallim (2008) descreve que a formação profissional, do ponto de vista curricular, deve ser guiada por um referencial que explicita quais são as competências visadas ao final de um percurso educativo. Esse referencial deve levar em conta que tipo de situações específicas, problemáticas e representativas que o engenheiro deverá ser capaz de enfrentar no mercado de trabalho. A construção do referencial é um processo negociado pelos agentes (professores, instituição escolar, órgãos regulamentadores, sociedade, mercado de trabalho), pois implica tomada de decisões que privilegiam alguns aspectos em detrimento de outros (VALLIM, 2008).

Nos cursos de engenharia o professor é a figura central na arte do ensino, pesquisa e extensão, especialmente na graduação. Quanto à formação profissional do acadêmico, pode-se dizer que a observação e participação conjunta na pesquisa ou na solução de um problema,



permite ao futuro profissional desenvolver habilidades distintas das quais o mesmo obteria em uma aula convencional.

Isto significa que na metodologia da aprendizagem baseada em problemas, o acadêmico aprende também através da observação de como o professor soluciona o problema, na interação com um *software* de simulação, bem como o modo de tratar um problema de engenharia, suas considerações e seus questionamentos e as devidas soluções. Neste trabalho busca-se induzir um grau de conhecimento ao aluno por meio da simulação computacional.

Neste contexto uma questão vem à tona: quanto uma metodologia ativa de ensino contribui para a formação de um acadêmico de engenharia? O uso da simulação computacional pode ser considerado uma ferramenta de auxílio à metodologia de aprendizagem baseada em problemas? Como acontece a relação de ensino e aprendizagem nos cursos de engenharia com uso de recursos computacionais e como os professores influenciam este processo é uma questão que define o grau de sucesso desta relação na formação do acadêmico que será entregue ao mercado de trabalho.

Quando o professor ministra uma aula ele compartilha seus conhecimentos com o aluno. Quando o professor trabalha lado a lado com o aluno ele amplia o seu próprio conhecimento, tanto do ponto de vista metodológico, quanto do ponto de vista técnico, e por consequência, o conhecimento do aluno (PEREIRA, 2007).

### **3. O ENSINO COM APOIO DE SOFTWARE NA DISCIPLINA DE CONVERSÃO ELETROMCÂNICA DE ENERGIA**

O projeto de uma máquina elétrica síncrona envolve conhecimento das áreas de materiais, mecânica e naturalmente, a área de eletromagnetismo aplicado. Este aspecto multidisciplinar do assunto exige que o professor envolvido tenha uma boa formação nestas áreas da engenharia e experiência na área de projeto e concepção de máquinas elétricas.

O *software* FEMM utilizado neste trabalho aplica o método dos elementos finitos na solução de problemas associados à magnetostática. Neste trabalho não será abordado os conceitos relacionados à questão dos elementos finitos como método de solução técnica final da interação do campo eletromagnético em uma máquina síncrona. Admite-se que a validação da metodologia dos elementos finitos aplicado aos problemas da magnetostática esteja amplamente validada na concepção e no desenvolvimento do software proposto por seus autores (MEEKER, 2012). A utilização da técnica numérica de elementos finitos em problemas aplicados à área de engenharia elétrica está bem difundida, sendo utilizada em problemas envolvendo máquinas elétricas, compatibilidade eletromagnética, propagação de ondas eletromagnéticas, absorção da radiação eletromagnética em humanos, entre outros.

O estudo realizado neste projeto busca utilizar uma ferramenta de simulação numérica que consiga realizar a simulação da interação do campo magnético em geradores síncronos. Para o uso desta simulação, será necessário determinar uma formulação matemática que relacione as leis de indução eletromagnética com as características construtivas de geradores síncronos. Isto possibilita a inferência do conhecimento, pelo aluno, no processo de solução.

Neste trabalho, a variável eletromagnética a ser observada, que busca possibilitar a análise sobre a inferência do conhecimento pelo aluno, na metodologia ativa será o fluxo magnético. A forma de avaliação do professor sobre a inferência do conhecimento pelos alunos está associada a um desafio, na disciplina, de comparação entre uma máquina síncrona construída em um trabalho de conclusão do curso e a simulação desta máquina no *software*

FEMM. Como resultado será avaliado pelos alunos as medições realizadas em laboratório da máquina elétrica construída em comparação com a máquina à ser modelada.

O procedimento para a inferência do conhecimento por parte dos alunos no tema proposto neste trabalho considera as seguintes etapas:

- Apresentação da disciplina com seu respectivo plano de ensino e as atividades propostas para o semestre letivo;
- O pressuposto de que os alunos tenham conhecimentos prévios nas disciplinas de desenho mecânico, ciência dos materiais, circuitos elétricos e eletromagnetismo;
- As aulas teóricas e conceituais associadas às leis da conversão de energia são apresentadas pelo professor como aula expositiva e dialogada;
- O princípio de funcionamento e equacionamento das máquinas elétricas rotativas são apresentados através de aulas expositivas e dialogadas;
- As considerações mínimas envolvidas na modelagem e simulação de máquinas síncronas, seus conceitos e característica através de aulas de laboratório;
- Algumas considerações de projeto, associadas ao eletromagnetismo aplicado as máquinas síncronas e análise de máquina projetada e construída existente;
- A formação de uma equipe de trabalho para modelagem e simulação da máquina síncrona com o conjunto total dos alunos envolvidos na disciplina;
- A troca de informações e a inferência do conhecimento entre os membros da equipe em relação a variável fluxo magnético e os fatores que à influenciam;
- A realização de dois seminários de análise da simulação proposta para busca da inferência do conhecimento entre as equipes sobre a máquina modelada.
- A realização de um seminário de validação e avaliação do professor orientador;
- A constatação e validação da metodologia de aprendizado baseada em problemas com o uso de *software* de simulação.

A foto apresentada na Figura 1 mostra um dos autores, o acadêmico Daniel Carlos Oro, apresentando sua simulação da máquina síncrona proposta na disciplina. Nesta apresentação o aluno demonstra o conhecimento inferido sobre o problema relacionado à variável fluxo magnético em função da tensão gerada.

Figura 1 – Foto do primeiro seminário técnico



A foto mostra também a relação entre os alunos, onde os mesmos trocam informações sobre o projeto de simulação e avaliam seu próprio resultado. Nesta etapa o professor não atua nem corrigindo e nem apontando problemas de modelagem e simulação. No processo de inferência proposto, os alunos devem em primeira instância chegar as suas próprias conclusões enquanto equipe e enquanto classe. Após as apresentações o professor, agora no papel de orientador e avaliador apresenta seus resultados e conclui sobre os conceitos e as concepções da simulação computacional.

#### 4. CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA

Um dos assuntos tratados na disciplina de conversão eletromecânica de energia é a modelagem, na forma circuito elétrico equivalente, as máquinas síncronas. Não será avaliada neste trabalho a relação entre esta e qualquer outra abordagem.

Uma máquina elétrica síncrona pode trabalhar como gerador ou motor e neste trabalho será modelada como gerador. Um gerador síncrono pode ser conceituado como uma máquina rotativa síncrona que converte a velocidade e torque mecânicos obtidos de fonte externa em corrente e tensão elétrica (DEL TORO, 2009). O gerador é constituído basicamente pelo estator, rotor, enrolamentos de armadura, enrolamentos de campo e o sistema de excitação. Ele é classificado como uma máquina síncrona.

A máquina síncrona em relação ao seu projeto e construção pode ser classificada máquina de polos lisos ou salientes, que é função da construção seu rotor. Neste trabalho a máquina modelada e simulada é a de polos salientes, com sistema de excitação de campo feito por escovas, com tensão em corrente contínua. Os dados a serem empregados na simulação têm como partida o resultado do trabalho de conclusão do curso proposto por acadêmicos do curso (MARTINS e GERVÁSIO, 2011).

A máquina síncrona quando é movimentada por uma força externa, e na aplicação de uma tensão e corrente contínua ao seu circuito de campo. O seu funcionamento é baseado na Lei de Faraday, obtida por campos magnéticos variáveis no tempo (DEL TORO, 2009). Portanto, um campo magnético variante produz uma força eletromotriz que pode estabelecer uma corrente em um circuito fechado. Esta força eletromotriz é uma tensão que surge a partir do movimento de condutores em relação a um campo magnético ou é gerada por campos magnéticos variantes no tempo. A lei de indução eletromagnética, ou lei de Faraday (DEL TORO, 2009), é conhecida na sua forma diferencial como:

$$FEM = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

onde:

FEM - Força eletromotriz produzida [V];

N - número de espiras que o caminho contém;

$\frac{d\phi}{dt}$  - variação do fluxo magnético [Weber/m<sup>2</sup>]

Para a utilização da lei de indução em uma máquina rotativa, este fluxo magnético será variante no tempo devido ao movimento relativo entre os condutores no estator e o fluxo magnético constante gerado nos polos, sendo denominado de fluxo magnético cortante,

utilizando como referência um movimento co-senoidal. Para um movimento circular, co-senoidal, tem-se:

$$FEM = -N \times \phi_M \times w \times \sin(wt) \quad (2)$$

onde:

$\Phi_M$  – Fluxo magnético máximo [Weber]

$\Phi$  – fluxo magnético gerado pelo rotor [Weber]

w – frequência angular da máquina [rad/s]

A equação 2 representa a forma de onda da força eletromotriz obtida no gerador, desconsiderando as características construtivas. Para um gerador, as principais características utilizadas para tensão são:

- Quantidade de condutores por fase no enrolamento de armadura;
- Ligação interna das bobinas;
- Utilização da tensão eficaz – [V]

A quantidade de condutores por fase no enrolamento de armadura refere-se ao número de voltas que cada fase do estator possui. Este número deverá ser igual em cada fase. As ligações internas referem-se ao método de ligação do grupo de bobinas por fase no circuito de armadura - estator. Cada fase possui um número de bobinas que podem ser ligadas em série ou paralelo, conforme o objetivo seja uma maior tensão ou corrente.

Para obter a tensão eficaz, o valor da variável faltante é do fluxo magnético gerado nos polos do rotor. Este valor será obtido realizando a simulação do circuito magnético do gerador. No software ainda é observada a relação entre o material magnético empregado e a sua densidade de fluxo magnético **B** em [Weber/m<sup>2</sup>].

Portanto a equação da tensão Eficaz será:

$$E_{RMS} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N \Phi_M}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

onde:

$E_{RMS}$  – Tensão eficaz gerada [V]

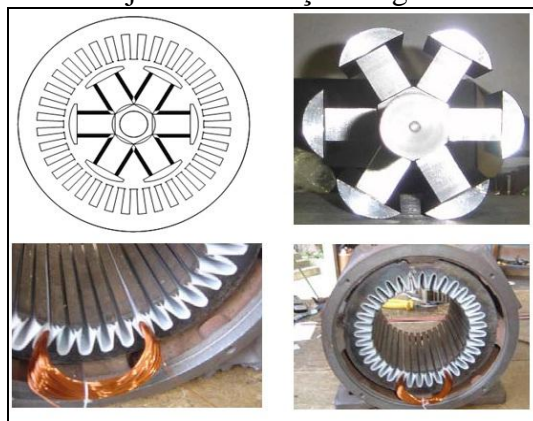
Para determinar se a simulação traz resultados coerentes com relação ao gerador síncrono contruído, será aplicada a formulação matemática da Equação 2 no gerador construído por Martins e Gervasio (2011). Portanto, a partir do ensaio de tensão gerada, calcula-se o fluxo esperado. No sentido contrário, será obtido inserido o fluxo magnético modelado neste gerador e este valor será aplicado na equação e com as características construtivas deste gerador para assim obter o valor de tensão. Os valores de tensão obtidos deste cálculo serão comparados com os valores de tensão medidos na coleta de dados de tensão a vazão do gerador.

## 5. MODELAGEM DO GERADOR CONSTRUÍDO

O estudo de caso é realizado a partir dos dados obtidos de um gerador construído. O gerador síncrono de 6 polos salientes foi descrito e montado por Martins e Gervasio (2011) na Unisociesc. Este gerador foi construído a partir do aproveitamento de peças, sendo suas características construtivas apresentadas durante o estudo de caso.

A Figura 2 apresenta 4 imagens do gerador que construído, mostrando algumas etapas do projeto e construção gerador que está disponível no laboratório da instituição.

Figura 2 – Projeto e construção do gerador síncrono



(fonte: Martins e Gervásio, 2011)

A partir destes dados, é feito o caminho inverso, inserindo as informações na equação.. Com isso, substituindo a equação deste gerador fica:

$$E_{RMS} = \frac{\omega N \Phi_s}{6 \times \sqrt{2}} = \frac{377 \times 1200 \times \Phi_s}{6 \times \sqrt{2}} \quad (3)$$

onde:

$\Phi_s$  – fluxo magnético gerado pelo rotor simulado [Webers]

Assim, é preciso simular o fluxo da máquina modelada para obter os valores correspondentes de tensão. A partir disto os alunos podem inferir o conhecimento. Contudo, existem características que não são obtidas facilmente devido a não-linearidade de materiais ferromagnéticos utilizados e a variação da distância de entreferro e a variação do formato da sapata polar. Este trabalho não trata de todas as variações possíveis.

## 6. SIMULAÇÃO DO GERADOR SÍNCRONO

As simulações feitas utilizam equações referentes ao domínio da magnetostática, ou seja, problemas em que os campos são estáticos no tempo. Para a inclusão dos dados no software, será utilizado o desenho mecânico com as dimensões reais do gerador. Os materiais aplicados na sua construção e valores utilizados na simulação. Estes valores estão na Tabela 1.

Tabela 1: dados necessários a serem inseridos pelo aluno no FEMM

Material Estator:	M-36 Steel
Material Rotor:	1020 Steel
Material Entreferro:	Ar
Espiras Rotor:	110
Corrente de Excitação	5,7 Amperes

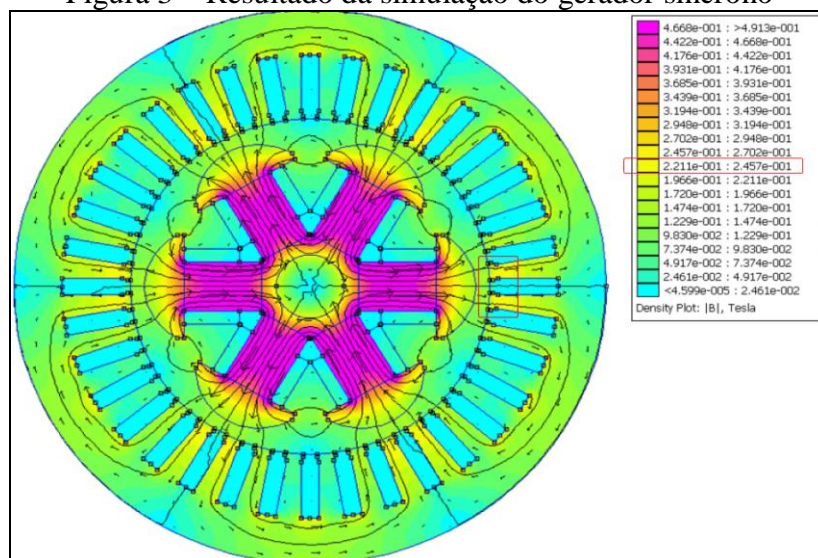
A tabela 1 mostra que o número de espiras, a corrente de excitação, bem como o material empregado na construção a ser inserido no *software*. Isto é necessário para relacionar a intensidade de fluxo magnético envolvido e o material.

Com isso tem-se como resultado a densidade de fluxo que será apresentada ao final da simulação. O material permite o *software* selecionar a curva de magnetização já inserida nos dados. Outra informação relevante é a condição de contorno no limite do gerador. O fluxo magnético não deve sair do contorno do gerador e para isso deve-se configurar o sistema sobre os coeficientes da condição de contorno iguais a zero. Acrescentado estas informações e simulando obtém-se os resultados. A figura 3 mostra o resultado da densidade de fluxo, apresentando também o sentido do fluxo magnético na máquina.

Neste momento uma questão levantada é: qual a relação entre a densidade de fluxo e como ele foi calculado e simulado? Este questionamento é muitas vezes percebido apenas neste momento, pelo aluno e sua equipe, porque até então não há conhecimento do gráfico a ser gerado. Como mostra a figura, o resultado é apresentado em 2 dimensões. Neste ponto em geral há um discernimento da relação entre a corrente aplicada e sua influência no resultado, como o número de espiras envolvidas interfere, mas não se sabe como o software obteve o resultado da densidade de fluxo.

Outro ponto importante a ser observado neste momento é a visualização do fluxo por parte dos alunos, ou seja, o *software* facilita o entendimento da regra da mão direita, pois é possível apresentar o sentido do fluxo gerado.

Figura 3 – Resultado da simulação do gerador síncrono



A figura 3 mostra a interação do fluxo, a partir da seleção no software para apresentar as linhas equipotenciais. Isso significa que do fluxo magnético total gerado no rotor, uma parte



vai para o estator e outra vai de uma sapata polar a outra sem passar pelo estator - fluxo de dispersão.

Retornando ao equacionamento, pode-se observar que há uma relação entre a densidade de fluxo e o fluxo que penetra no circuito de armadura. Então, se o fluxo magnético em uma determinada área for constante, a obtenção deste valor pode ser obtido a partir da equação 4.

$$\Phi = B \times A \quad (4)$$

onde:

$\Phi$  – Fluxo magnético gerado pelo rotor simulado [Webers]

$B$  – Densidade de fluxo simulado [Webers/m<sup>2</sup>]

$A$  – Área de seção transversal do entreferro (m<sup>2</sup>)

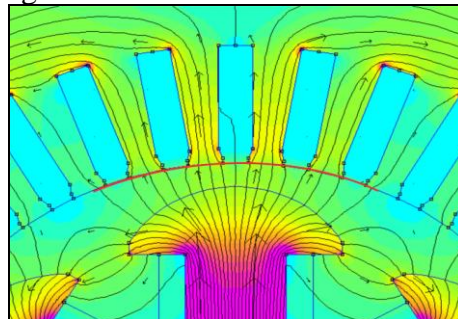
Com base na equação 4 e sabendo que parte do fluxo é disperso, busca-se saber o valor de fluxo útil gerado, que é aquele que efetivamente vai para o estator. Com este valor, será possível avaliar o quanto do fluxo magnético útil induz a tensão nos terminais do gerador.

Com o auxílio da ferramenta de contorno do *software* FEMM, criou-se um caminho em torno das linhas de campo no limite entre o entreferro e o estator. Esta linha foi criada somente onde as linhas equipotenciais saem do polo norte e tem como direção o estator, conforme destaque na Figura 4.

A linha vermelha em destaque representa o limite entre o entreferro e o estator e pode ser interpretada como o contorno para o cálculo da integral de superfície que determina o fluxo, tendo como profundidade o comprimento do estator. Utilizando a ferramenta *Line Integrals*, o fluxo magnético constante e que percorre o estator obtido pelo software é  $817,072 \times 10^{-6}$  Webers. O fluxo magnético de projeto apresentado é de  $1,1 \times 10^{-3}$  Webers.

Comparando os valores de fluxo obtidos no projeto e na simulação, o fluxo magnético simulado apresenta uma diferença de aproximadamente -25%. Assim, se o valor de fluxo magnético calculado em projeto for considerado como total e isso representa que somente 75% deste valor pode ser considerado como útil para a geração de tensão induzida (FEM).

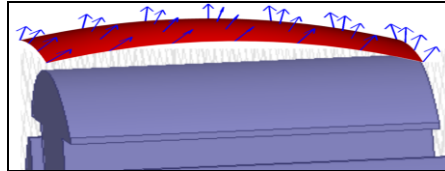
Figura 4 – Análise das linhas de fluxo



O cálculo do fluxo magnético é um ponto que merece destaque. O fluxo magnético depende da área em que é calculado, porém, até este momento, não é possível entender a área de fluxo a ser calculada, pois o FEMM não apresenta uma visualização completa da estrutura

que está sendo calculada. A linha, destacada em vermelho obtida pelo usuário no FEMM, representa o arco em que o fluxo será calculado, como mostra a figura 5.

Figura 5 – Análise das linhas equipotenciais



A figura 6 mostra o que de fato o *software* calcula a partir da sua ferramenta *Line Integrals*, possibilitando um entendimento mais aprimorado dos conceitos de fluxo e densidade de fluxo magnético.

## 7. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Com o valor do fluxo magnético obtido na simulação, é possível obter os valores de tensão eficaz induzida nos terminais do gerador. Acrescentando o valor de fluxo magnético da simulação na equação 3, tem-se as tensões de linha e de fase conforme a tabela 2. Os valores calculados na metodologia de projeto e os valores obtidos nas medições do gerador de Martins e Gervasio (2011), podem ser avaliados conforme a tabela 2. Observa-se uma diferença de 32,5% de erro, enquanto que com o uso do software de simulação, o erro de projeto pode ser minimizado para aproximadamente 6,2%. Deste modo, verifica-se que o uso da ferramenta aproxima o aluno da realidade, sem a necessidade de construir a máquina e ainda permite uma visualização do comportamento do fluxo magnético.

Tabela 2: dados analisados pelo aluno no FEMM

	Valores Medidos	Cálculo de projeto	Simulação FEMM
Tensão eficaz de linha	70,8	104,9	75,45
Tensão eficaz de fase	40,9	60,6	43,56

A figura 6 mostra a foto de um teste em bancada realizado no gerador construído.

Figura 6 – Teste em bancada do gerador síncrono



(fonte: Martins e Gervásio, 2011)

Na metodologia de construção do gerador foi apresentado que: o gerador possuiria um entreferro de 5 mm; os materiais utilizados no rotor e no estator possuiriam permeabilidade relativa igual a 2000; a densidade de fluxo magnético (B) para o cálculo de circuito magnético foi de 0,5 tesla. Fazendo essas respectivas verificações no gerador construído: o entreferro do gerador não é constante, pois o eixo não está balanceado corretamente, produzindo entreferros de valores maiores e menores que o valor de 5 mm entre estator e rotor; não é possível afirmar que ambos os materiais possuam permeabilidade relativa igual a 2000; observando a simulação apresentada, a densidade de fluxo magnético igual a 0,5 Tesla é obtida apenas no corpo do rotor, sendo representado pela cor roxa, e a densidade de fluxo magnético obtida na maior parte do estator está entre a 0,1 e 0,2 Tesla com o valor típico de penetração inicial é de 0,22 Tesla, representadas pelas cores verde e amarela, respectivamente.

Deve-se destacar neste ponto, que tanto a construção de um gerador síncrono, quanto sua modelagem em um software de simulação magnética não é uma tarefa trivial, especialmente quando se trata de acadêmicos que estão iniciando seus estudos neste tema.

## 8. CONCLUSÕES

A interação do aluno com a solução de um problema possibilita uma forma de aprendizado conhecida por aprendizagem baseada em problema. O problema neste caso consiste em interpretar as leis do eletromagnetismo aplicado ao gerador síncrono de polos salientes. O processo simulação da máquina elétrica exige do acadêmico a convergência do conhecimento obtido em: sala de aula através de equações e conceitos, em práticas de laboratório através de ensaios e testes, a mobilização do conhecimento para solucionar um problema com aplicação de uma ferramenta computacional.

A solução de um problema pode ser observada num projeto de construção de um gerador síncrono, mas também na sua modelagem e simulação. Pode-se observar que na simulação do projeto o aluno interage de forma global com outros alunos, com o professor, com a ferramenta computacional e a interpretação dos resultados. Ainda verifica-se, neste caso, que o aluno pratica e aplica as leis do eletromagnetismo na modelagem e simulação.

A simulação computacional facilitou o entendimento dos alunos sobre o tema e pode ser considerado um estudo de caso da aplicação da metodologia baseada em problemas. A simulação computacional acelera a possibilidade dos alunos inferirem conhecimentos sobre um tema, sendo esta a principal conclusão, onde o aluno aprende a fazer e aprende a conhecer. O planejamento do processo é fundamental para o sucesso, evidenciando a importância do plano de ensino e as estratégias aplicadas em sala de aula no processo de ensino e aprendizagem de uma disciplina.

## 9. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Resolução CNE/CES 11/2002. Diário Oficial da União, Brasília, 9 abr. 2002.

DELORS, Jacques. **Educação: um tesouro a descobrir**. Relatório para UNESCO da comissão Internacional sobre educação no século XXI. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2001.



DEL TORO, V. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 574 p.

MARTINS, S.; GERVASIO, T. D. UNISOCIESC, Centro Universitário Tupy. **Construção de um Gerador Síncrono de VI Pólos com Excitação por Escovas**, 2011. 109p, il. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação).

MEEKER, D. **Manual Finite Element Method Magnetics, Version 4.2**. <http://www.femm.info/>: (03Dec2006 Build), 2012.

PAIXÃO, E. L., LAUDARES, J. B., VIGGIANO, A. R. **O Ensino de Engenharia e Formação do Engenheiro**: Contribuição do Programa de Mestrado em Tecnologia do CEFET-MG – Educação Tecnológica. **Anais: XXXIV - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**. Passo Fundo: Universidade de passo Fundo, 2006.

PEREIRA, Marco A. C. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola Politécnica. **Competências para o Ensino e a Pesquisa: Um Survey com Docentes de Engenharia Química**, 2007. 288p, il. Tese (Doutorado).

VALLIM, Marcos Banheti Rabello. **Um modelo reflexivo para formação de engenheiros**. 2008.169 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.

## **PROBLEM-BASED LEARNING AND THE ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERSION: A CASE STUDY IN THE ELECTRICAL ENGINEERING COURSE AT UNISOCIESC**

**Abstract:** *This paper presents the relation between the discipline of electromechanical energy conversion and the problem-based learning, used in the course of electrical engineering. The discipline of energy conversion works among other subjects, the concepts associated with synchronous machines. These machines can be constructed to generate electrical energy or be used like electrical motors. The use of a tool of simulation in the classes facilitates the process of teaching and learning, however there are many ways to apply this simulation in the classes. In this paper the student is the main actor while the teacher leads the process of inference of knowledge, doing mediations, considerations and at times interfering in the conclusions about the knowledge to be acquired. As a final result, one realizes that the complexity of the art of teaching involves many variables and this task is responsibility of the teacher.*

**Key-words:** *problem-based learning, electromechanical conversion, engineering education*