Exploração Integrada de Recursos Energéticos: estudo de caso em sala de aula

Diego Berlezi Ramos – diegoramos@unipampa.edu.br
José Wagner Kaehler – josekaehler@unipampa.edu.br
Marnoon Poltozi Vargas – marnoonpv@gmail.com
Vilson de Moura Godoy - vilsondemoura@gmail.com

Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete
Av. Tiarajú, 810 - Bairro: Ibirapuitã
97546-550 – Alegrete – Rio Grande do Sul

Resumo: *A preocupação com a disponibilidade dos recursos energéticos tem sido constante alvo de discussões. Concomitante observa-se a permanente preocupação com a preservação dos recursos ambientais. Neste contexto, com maior frequência os engenheiros têm sido solicitados em seus projetos no sentido de desenvolver dimensionamentos energéticos mais eficientes e adequados, compatíveis com as características regionais do local. Para isso, os profissionais devem saber lidar com diversas áreas do conhecimento. Reconhecendo estas dificuldades na formação profissional, este trabalho propõe um modelo de estrutura curricular para uma disciplina a ser aplicada em um curso de graduação em Engenharia Elétrica. Como resultados deste trabalho, são apresentadas as possibilidades da ementa sugerida, que pode ser construída e adaptada pelos docentes de acordo a disponibilidade de recursos energéticos de cada região. Adicionalmente, o trabalho resultante das atividades dos alunos é mostrado. Os estudantes, ao longo da disciplina, produziram uma metodologia de projeto de exploração integrada de fontes energéticas alternativas, levando em conta a eficiência energética dos processos e serviços de uso final. Esta metodologia é compilada na forma de um conjunto de planilhas de cálculo que podem ser convenientemente usadas em projetos práticos reais.*

Palavras-chave: *geração distribuída, recursos renováveis, eficiência energética, ensino na engenharia.*

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, crescentes preocupações com a demanda energética mundial vieram à tona. No entanto, juntamente com a necessidade de uso dos recursos energéticos disponíveis, suscitam-se questionamentos referentes ao impacto ambiental causado por esta exploração. Neste contexto, a engenharia voltada para a sustentabilidade torna-se um tema para o século XXI. Ainda, a necessidade da instalação de sistemas elétricos de potência ambientalmente amigáveis acabam por virar pré-requisitos para a exploração eficiente de recursos energéticos [1].

As contínuas mudanças na tecnologia demandam dos engenheiros eletricistas níveis de conhecimento cada vez maiores e mais diversificados. De forma geral, este conhecimento é apreendido a partir de cursos regulares de graduação. Historicamente, modificações nos currículos dos cursos de graduação em Engenharia Elétrica sempre se mostraram necessárias [2-4] para preencher as lacunas nas áreas do conhecimento aplicáveis a cada contexto de época. Para permitir estas adaptações em função da expansão do conhecimento e da abrangência multidisciplinar relativa à engenharia elétrica, as grades curriculares tornaram-se largamente flexíveis. No Brasil, as modificações curriculares são avaliadas pelo Ministério da Educação, através de iniciativas como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e Plano Nacional de Educação (PNE) [5]. Através destas iniciativas, o governo brasileiro permite às Instituições de Ensino Superior uma maior flexibilização nas grades curriculares de seus cursos. Com isso, os currículos podem ser adaptados às necessidades regionais nas quais as universidades estão instaladas. Para tanto, são utilizados documentos tais como o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) que norteia as atividades disciplinares a serem conduzidas, regulamentando as disciplinas regulares e as opcionais. As disciplinas optativas, conhecidas como Disciplinas Complementares de Graduação (DCG) e são oferecidas aos alunos periodicamente.

A Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) possui um curso de Engenharia Elétrica em seu campus localizado na cidade de Alegrete, Rio Grande do Sul. Esta localidade, fronteiriça com a Argentina e com o Uruguai, conhecida também como Região da Campanha (ou do Pampa) possui características geoambientais propícias à exploração de recursos energéticos renováveis. Esta região conta com variações de relevo adequadas à instalação de pequenas centrais hidroelétricas e geradores eólicos. Os níveis de insolação viabilizam a instalação de geradores fotovoltaicos e sistemas de aproveitamento termosolar. Adicionalmente, a produção agrícola regional também permite a utilização de biomassa para a produção de energia, seja ela por meio do uso da casca de arroz (principal fonte de renda da região) ou por meio de resíduos agrícolas e animais. Assim, a exploração racional destes recursos torna-se de grande interesse estratégico, tanto para o Brasil, quanto para seus vizinhos de fronteira.

Neste contexto sócio-econômico-cultural, verificou-se a necessidade da formação de profissionais na área de Engenharia Elétrica, aptos a investigar os potenciais de utilização energética da região. Estes engenheiros devem ser capazes de avaliar os recursos disponíveis, delinear propostas adequadas e promover a integração de recursos energéticos em projetos econômica e ambientalmente sustentáveis. Estes conhecimentos requerem um envolvimento multidisciplinar adequado à integração de fontes energéticas alternativas, compatibilizando o atendimento dos requisitos de mercado com eficiência energética associada.

Considerando esta lacuna, o Curso de Engenharia Elétrica ofertou, no segundo semestre letivo de 2011, uma DCG chamada “Fontes Alternativas de Energia”, cujo foco principal visava à integração de múltiplas fontes geradoras, incluindo a avaliação da viabilidade de instalação e análise econômica do sistema elétrico.

Este trabalho descreve a estrutura curricular da disciplina ofertada, as metodologias de trabalho adotadas, os critérios de desenvolvimento do conteúdo programático e os resultados atingidos com os estudos.

Este artigo é estruturado como segue: a seção II apresenta a revisão dos preceitos pedagógicos observados para a criação da disciplina, a seção III mostra a estrutura curricular (ementa) apresentada à coordenação pedagógica do curso, incluindo os critérios de avaliação, a seção IV demostra o desenvolvimento dos projetos conduzidos

pelos alunos, a seção V explicita os principais resultados obtidos e a seção VI apresenta as conclusões obtidas com o trabalho desenvolvido.

2. FUNDAMENTOS PEDAGÓGICOS

Diversas instituições de ensino superior reconhecem a importância da inclusão do ensino relacionado à utilização de fontes renováveis em suas grades curriculares [6-12]. Desta forma, muitas alternativas de ensino tem sido exploradas no sentido de preencher estas solicitações. Entretanto, as necessidades práticas e o conhecimento teórico continuam a desafiar estudantes de engenharia quando é colocada em pauta a análise da eficiência energética e da integração de recursos distribuídos. Neste contexto, observa-se que há uma solicitação permanente por instituições formadoras de indivíduos capazes de atuar na área de energias renováveis [13].

A integração social da aplicação de múltiplas fontes geradoras em comunidades específicas é observada como um dos grandes focos de uso das fontes alternativas [14, 15]. Além disso, o caráter multidisciplinar [16] requer dos professores e, por consequência, dos alunos uma capacidade adicional para lidar com os diversos conceitos relacionados às fontes renováveis [17]. Áreas como fenômenos de transporte, máquinas térmicas e elétricas, economia, administração, dentre outras estão simultaneamente envolvidas com a implementação de um sistema de geração elétrica distribuída.

A. Estrutura curricular da disciplina de fontes alternativas de energia

A disciplina de "Fontes Alternativas de Energia", de 60 horas-aula, possui o conteúdo programático listado na tabela I. De forma a diversificar e maximizar o aspecto didático buscou-se realizar a condução desta matéria com a colaboração de dois docentes. Eventualmente, devido a multidisciplinaridade do conteúdo, outros professores da instituição foram consultados pelos alunos. Por meio de contínuas considerações, a ementa pode ser revisada e adequações às atividades puderam ser feitas, conforme necessário.

TABELA I – CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

Unid.	Conteúdo	Descrição
I	Introdução a fontes alternativas de energia	Fontes renováveis. Fontes renováveis versus energia alternativa.
II	Integração de fontes	Planejamento e desenvolvimento de energia integrada: rede principal, cargas, geração distribuída. Economia da energia renovável: cálculo dos custos de geração. Experiência mundial. Controle de sistemas de potência.
III	Introdução ao RetScreen	Apresentação dos conceitos básicos. Recursos. Documentação. Banco de dados disponíveis. Utilização do RetScreen para gerenciamento e dimensionamento de recursos energéticos.
IV	Geração hidroelétrica	Princípios e Procedimentos de Projeto de Pequenas Centrais Hidrelétricas
V	Usinas eólicas	Princípios e Procedimentos de Projeto de Pequenos e Médios Aerogeradores
VI	Usinas termosolares	Princípios e Procedimentos de Projeto de Sistemas Ativos Solares Térmicos
VII	Geração fotovoltaica	Princípios e Procedimentos de Projeto de Fotovoltaicos
VIII	Sistemas de armazenamento	Princípios e Procedimentos de Projeto de Sistemas de Estocagem: Baterias, supercapacitores, volantes e outros
IX	Integração de fontes alternativas de energia	Princípios, conversão, injeção na rede, ilhamento e interconexão. Geração distribuída
X	Geração com hidrogênio	Células a combustível. Eletrolisadores.

XI	Geração a partir de biomassa	Princípios e Procedimentos de Projeto de Geradores Termelétricos: Gaseificação e Biodigestão Anaeróbica
XII	Microturbinas	Princípios e Procedimentos de Projeto de Microturbinas à gás
XIII	Considerações finais sobre fontes alternativas	Exploração Integrada de Recursos Energéticos Renováveis: Planejamento e Gestão

Foi considerado como objetivo principal da disciplina o desenvolvimento dos conhecimentos pertinentes ao uso racional, eficiente e integrado das fontes alternativas disponíveis com os processos e serviços energéticos de uso final.

Como objetivos específicos, buscou-se apresentar aos alunos opções adequadas de geração, uso, operação, manutenção e gestão de energia. Além disso, ofertou-se aos alunos conhecimentos acerca de como avaliar, projetar, construir, operar e analisar a manutenção de sistemas que se utilizam de energias renováveis como eólica, solar, de biomassa, do hidrogênio e outras.

B. Metodologia de ensino

Como ferramenta básica de ensino, foram adotadas aulas expositivas e dialogadas com ênfase na compreensão e visualização dos conceitos, construção e interpretação dos resultados.

Foram utilizados recursos audiovisuais e de multimídia. Como ferramenta de suporte, foram usados os programas RetScreen [18, 19] e Homer. Tratam-se de programas livres usados como referência para a análise de viabilidade de aplicação de tecnologias "limpas" de geração de energia. Possuem modelos integrados de cálculo, com referenciamento a produtos, custos, base de dados climáticos e manual de usuário on-line. Encontra-se disponível em http://www.retscreen.net, rodando sobre MSExcel^{TM} e http:/www.homer.com

Para a condução de pesquisas teóricas, foram usados recursos WEB para a busca de artigos científicos (bancos de dados do IEEE, Elsevier, banco de dados CAPES, Web of Knowledge), folhas de especificações de equipamentos, dentre outras referências eletrônicas. A bibliografia disponível na biblioteca local também foi recomendada para estudo, tais como [1, 17, 20], por exemplo. Neste sentido, é importante destacar para os alunos o significado da pesquisa científica como ferramenta de auxílio ao desenvolvimento do projeto de integração de fontes. Por vezes, muitas das dúvidas a respeito do dimensionamento de recursos renováveis integrados puderam ser esclarecidas por meio da pesquisa às referências [21-23].

Para a condução da disciplina, proposição de atividades adicionais e como repositório de referências, foi usado o ambiente Moodle (Modular Object-oriented Dynamic Learning Environment) [24-27].

Como ferramenta complementar de ensino, duas visitas técnicas a usinas geradoras foram conduzidas com a turma de alunos. Uma das visitas realizadas foi a Usina Termoelétrica Presidente Médici, em Bagé e a outra ao Parque Eólico Cerro Chato, em Santana do Livramento, ambas no RS. A primeira gera energia por meio da queima de carvão, possuindo um parque com capacidade instalada de 446 MW. A segunda produz eletricidade por meio de energia eólica, com capacidade instalada de 90 MW.

De forma a permitir a assimilação do conteúdo pelos estudantes, cada unidade foi desenvolvida por meio de uma sequência hierárquica específica, apresentada na figura 1. Como se pode ver, através desta sequencia de etapas, o aluno pode ter uma percepção

ordenada a respeito do estudo de cada fonte de energia, desde os seus princípios até suas aplicações e análise de viabilidade.

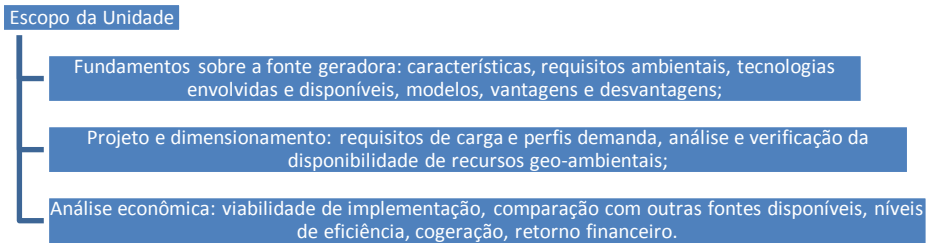

Figura 1 – Estrutura modular das unidades de aprendizado

Procurando seguir os princípios da Unipampa, considerando a região onde a instituição está inserida, optou-se pela prática docente de ensino orientada a projetos. Isso envolve o aluno com situações particulares de sua área de atuação [28]. Neste contexto, no início do semestre letivo, foi proposta aos alunos uma condição-problema na qual os mesmos deveriam propor e avaliar soluções energéticas viáveis para estas situações. Segue o enunciado do problema proposto:

> *"Um conjunto de clientes e comunidades rurais deseja integrar o programa de universalização de uso de energia. Eles se situam em distâncias de 5, 10, 15 e 20 km de distância do ponto mais próximo do sistema de energia elétrico. A tensão de fornecimento da rede é de 23 kV. Estes clientes se caracterizam como:*
> *Clientes individuais:*
> *1 cliente individual residencial rural*
> *3 clientes individuais residenciais rurais por ponto*
> *Comunidades:*
> *5 clientes individuais: quatro residenciais e 1 armazém*
> *10 clientes individuais: oito residenciais, 1 armazém e um Serviço Público (Escola, Administração e posto de saúde)"*

Juntamente, foram fornecidas as características de carga de cada consumidor. Como referenciamento, os consumidores foram alocados regionalmente, próximos a fronteira Oeste do estado do RS, entre o planalto e o Pampa. A partir daí, os alunos deveriam usar dados climatológicos desta região específica. Os potenciais hidráulicos foram definidos previamente e apresentados quando da proposição do problema. Informou-se aos alunos a existência de uma barragem de irrigação de arroz, dois riachos, desníveis de terreno e vazões médias anuais. Também foram fornecidos os dados de produção de biomassa, a partir de floresta de eucalipto manejada (cultura comum na região).

Como ferramenta adicional, usando o programa GoogleEarth^{TM}, foi feita a alocação geográfica dos consumidores, conforme mostrado na figura 2.

Com os dados fornecidos, os alunos foram provocados a dimensionar os custos de atendimento das 16 situações de carga considerando os padrões tradicionais de conexão à rede elétrica, dimensionar os custos de atendimento destas situações considerando a instalação de grupos geradores diesel e, utilizando o RETSCREEN, dimensionar sistemas híbridos de atendimento dos diferentes tipos de carga e de clientes em combinações possíveis como por exemplo: Diesel + Eólico, Diesel + Hidro, Eólico + Hidro, Biomassa + Eólico, Biomassa + Hidro + Eólico, Hidro + Eólico + Fotovoltaico. Os estudantes foram orientados a segregar os serviços energéticos de uso final de forma

a reduzir o número de transformações energéticas, buscando a obtenção de elevados níveis de eficiência energética.

Figura 2 – Situação geográfica do exercício proposto

Orientaram-se os estudantes a utilizarem os dados meteorológicos disponíveis na base de dados do próprio RETSCREEN e os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Brasileiro, fornecidos para a cidade de Alegrete – RS e disponíveis em http://www.inmet.gov.br/, incluindo coordenadas geográficas e horários locais.

Uma vez que deveria ser desenvolvido o sistema energético integral, os alunos também foram desafiados ao dimensionar a rede de distribuição de energia elétrica destinada a atender as comunidades em estudo. Assim, os estudantes receberam dados informativos dos custos e procedimentos para implantação da rede elétrica local em média tensão.

O projeto foi desenvolvido em conjunto, professores e alunos, onde o desenvolvimento das atividades decorreu-se com o andamento da disciplina. Assim, de forma gradual, os projetos foram dimensionados.

C. Avaliações

As avaliações se deram por meio de apresentações, sob a forma de seminários, dos projetos desenvolvidos pelos grupos. Dentre os critérios de avaliação, foram ponderadas as justificativas, objetivos, materiais e metodologia de organização dos trabalhos. Também se ponderou sobre as análises dos Perfis de carga, a avaliação e disposição dos recursos energéticos, o dimensionamento do sistema energético, a viabilidade e as relações custos x energia produzida.

3. RESULTADOS ATINGIDOS

Durante o semestre, a turma de alunos conduziu os procedimentos para o desenvolvimento do projeto solicitado. No entanto, um grupo em particular assimilou as requisições do projeto e, por meio do aprofundamento dos estudos na área, explorou de forma mais criteriosa os desafios propostos, e criou uma sistemática completa, em forma de planilha do MSExcel, para acompanhamento e dimensionamento de uma plataforma de investigação de análise de fontes renováveis. O resultado desta atividade é descrita a seguir.

Com o decorrer do semestre e o andamento da disciplina, foi construída uma rotina de procedimentos para o dimensionamento de um sistema integrado de energias renováveis. Esta rotina foi organizada e estruturada de forma que o resultado final é apresentado na forma de uma planilha de dados (em MSExcelTM) que permite o cálculo e verificação da viabilidade da implementação de um sistema energético na Região do Pampa.

O grupo de estudantes, após pesquisa sistemática e estudos avançados, estabeleceram um procedimento passo-a-passo para a criação de um documento com potencial utilização em diversas outras situações que requeiram a análise e exploração de recursos energéticos renováveis. A figura 3 apresenta a hierarquia da ferramenta de análise desenvolvida.

A planilha administradora fornece uma visão hierárquica geral de como as demais planilhas da pasta de trabalho se organizarão.

As planilhas com as estimativas de carga (uma para cada perfil) são construídas com base no comportamento diário de cada consumidor. Nesta planilha são traçados os gráficos com os perfis de consumo demandados por cada consumidor, considerando a energia solicitada por dia. Esta análise é importante em virtude do fato de os recursos energéticos para as fontes geradoras serem estabelecidos, principalmente, em função da capacidade de fornecimento em kWh/dia.

A planilha 4 auxilia a especificação da geração hidráulica com base nas informações geoambientais disponíveis na região. Através das considerações desta planilha, os estudantes estimaram a implementação de uma turbina do tipo Francis Caixa Aberta na horizontal (Rápida Simples) acoplada a um Gerador WEG-síncrono de 200 kW. O sistema possui uma capacidade máxima de geração de 170 kW, aproximadamente. As informações de produtos foram obtidas por meio de pesquisa externa, via WEB.

Com os dados preenchidos na planilha de reconhecimento dos recursos eólicos (etapa 4), é avaliado o potencial de geração eólica local. A figura 4 apresenta o gráfico da intensidade de vento predominante no local com as velocidades médias anuais, traçados com a planilha desenvolvida. Com este recurso é possível dimensionar as turbinas eólicas mais adequadas à região. Para o caso deste local, os alunos definiram a utilização de unidades de geração eólica de 1 kW, 48V. Os estudantes observaram que, nesta área específica, o potencial eólico é bastante reduzido, dada a baixa velocidade dos ventos incidentes.

A planilha referente à análise dos recursos fotovoltaicos (etapa 5) reúne dados de insolação obtidos a partir de referências como o Atlas Solarimétrico Brasileiro [29]. Com o recurso desenvolvido pelos alunos é possível avaliar as condições de geração de eletricidade fotovoltaica para três condições dos painéis: fixo, 1-eixo, 2-eixos. Os alunos consideraram a instalação dos painéis no telhado das construções, conforme indicado na figura 5. A figura 7 apresenta a análise da energia total gerada por mês, para as condições de cálculo.

Em decorrência da exiguidade de tempo e por ter sido apresentado nos últimos dias do curso não foram abordadas na planilha de cálculo final as possibilidades de propor alternativas de geração com base na biomassa residual da exploração florestal. Alternativas de geração com base na gaseificação dos resíduos florestais aportariam soluções competitivas com a geração diesel, complementar à produção hidráulica e eólica. Entretanto, com as correções na administração da ementa, esta abordagem pode ser incluída. Por exemplo, pode-se optar por abordar de forma simplificada o dimensionamento da exploração do hidrogênio, uma vez que esta tecnologia ainda não está completamente estabelecida na região em que foi abordado o trabalho.

A etapa 7 trata da especificação do grupo gerador Diesel. Aqui, os alunos definiram a necessidade de um gerador de 45 kVA. Este é usado como unidade de backup em caso de faltas das outras fontes.

Etapa 0
• Criação da planilha adm - administradora

Etapa 1
• Estimativa das cargas por tipo e grupo - criação de planilhas separadas

Etapa 2
• Criação da planilha recursos hidráulicos

Etapa 3
• Criação da planilha recursos hidráulicos

Etapa 4
• Reconhecimento das alternativas eólicas

Etapa 5
• Reconhecimento das alternativas fotovoltáicas

Etapa 6
• Reconhecimento das alternativas de biomassa

Etapa 7
• Geração Diesel

Etapa 8
• Criação de planilha consolidadora

Etapa 9
• Criação da planilha RD - recursos distribuídos

Etapa 10
• Criação da planilha econômica 1

Etapa 11
• Criação da planilha econômica 2

Etapa 12
• Criação da planilha de rede de distribuição

Etapa 13
• Criação da planilha diversos visando geração não renovável diesel + equipamentos diversos

Figura 3 – Estruturação do desenvolvimento do projeto

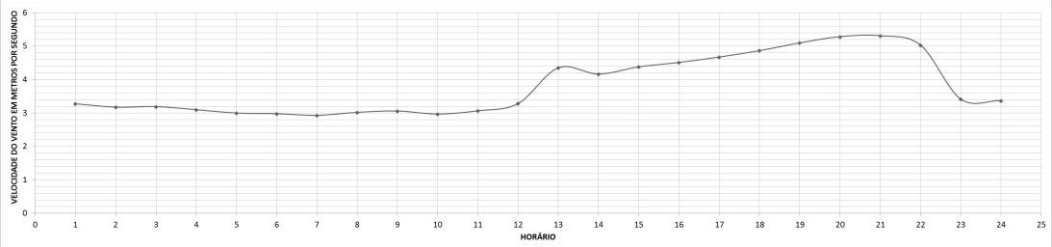

Figura 4 – Velocidade média horária anual

]

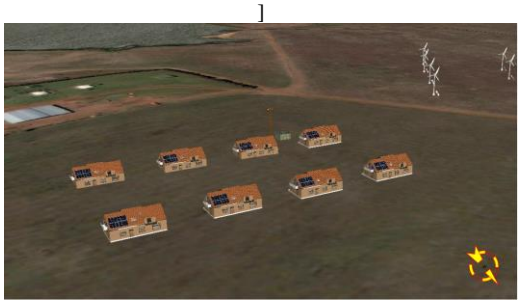

Figura 5 – Disposição dos painéis fotovoltaicos nas construções

A etapa 8, chamada de planilha consolidadora, consiste em uma área para análise e confrontação dos resultados técnicos obtidos das fontes geradoras disponíveis. Nesta fase do cálculo, os estudantes realizaram estudos comparativos da distribuição das cargas entre as fontes, em função dos perfis dos consumidores (residencial, comercial e público). Nesta planilha, por meio de iterações, os estudantes traçam a melhor forma de distribuição de energia na rede local, em função da demanda total prevista, visualizada na figura 6.

A figura 7 apresenta a análise do potencial de geração através das fontes hidráulica, solar e eólica. Estes dados são obtidos pela consideração do potencial mensal de produção de energia pelas fontes.

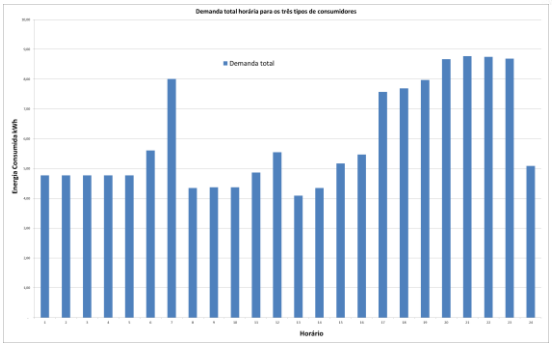

Figura 6 – Demanda total prevista

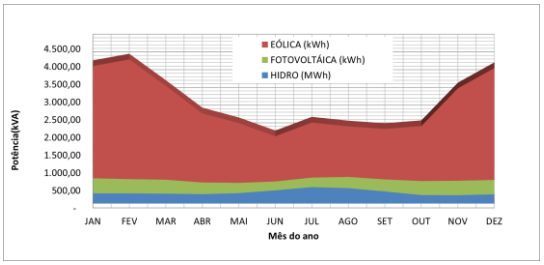

Figura 7 – Energia total gerada pelas fontes

As planilhas de análise econômica, desenvolvidas pelos estudantes, são usadas para estabelecer os custos de aquisição, manutenção e operação e os valores de retorno dos investimentos obtidos. A figura 8 apresenta o gráfico com as previsões de retorno dos investimentos para duas propostas avaliadas na planilha, pelos alunos: proposta 1 com taxa de desconto de 0,0% e proposta 2, com taxa de 11,56%. Os custos de geração demonstram os resultados considerando o uso de três fontes combinadas alimentando cargas e com venda de excedentes para a concessionária.

A figura 9 mostra o croqui da rede de distribuição, interligada com a rede da concessionária, em layout proposto pelos estudantes. Esta etapa foi conduzida com o auxílio dos professores das disciplinas de “Linhas de Transmissão” e “Distribuição de Energia Elétrica”, constantes do currículo regular do curso de Engenharia Elétrica da Unipampa.

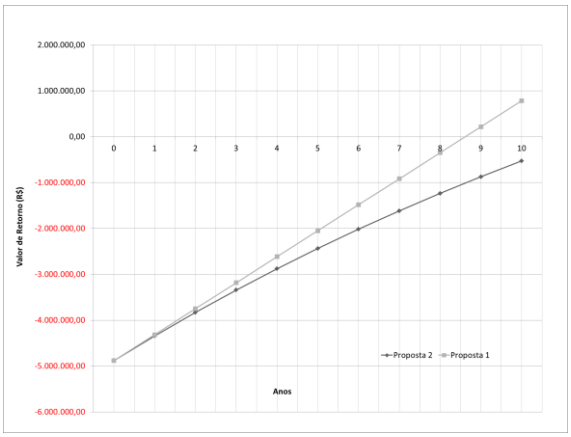

Figura 8 – Período de retorno dos investimentos

A tabela II apresenta um sumário dos resultados obtidos com as análises das planilhas anteriores. Observa-se que, com os cálculos executados pelos alunos, a geração hidráulica contribui com a maior parcela da energia produzida. Os alunos

concluíram, com esta análise que, para o caso dado, a melhor combinação de geração energética resultaria da combinação de recursos hidráulicos e fotovoltaicos. A energia eólica, neste caso, torna-se desvantajosa pela baixa incidência de ventos no local.

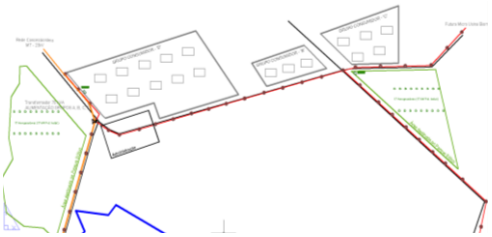

Figura 9 – Layout de disposição da rede de distribuição

TABELA II – SUMÁRIO DAS ANÁLISES ECONÔMICAS

	Fonte geradora			
	Hidráulica	Eólica	Solar	Combinada
Investimento (R%)	4.355.239,40	469.239,00	59.396,20	4.883.874,5
Pot. Instalada (kW)	900	36	16	952
Energia gerada (MWh/ano)	3.778,67	25,83	4,23	3.957,8
FC (%)	68	64	82	68
Preço venda (R$/MWh)	150,00	335,00	350	150,00
Preço de recuperação (R$/MWh)	115,26	908,20	701,50	123,4
Retorno (anos com taxa 0%)	7,7	> 20	> 20	8,7

Ao final da disciplina, considerou-se que a proposta resultante das atividades dos alunos ofereceu uma metodologia de cálculo de sistemas distribuídos completa. Os recursos computacionais resultantes do trabalho permitem uma análise verossímil dos requisitos energéticos. Esta análise pode ser aplicável a casos reais, uma vez que, todo o desenvolvimento do projeto considerou condições existentes na região do Pampa. O estudo, portanto, pode ser usado como referência para futuros projetos de eficiência energética a serem conduzidos na região.

A estrutura da disciplina proposta mostrou-se adequada, correspondendo às necessidades do projeto desenvolvido. No entanto, a grade curricular pode ser adaptada de acordo com as especificidades de cada região. Neste sentido, a disciplina pode ser portada, em caso de interesse para outras regiões, tanto do Brasil, quanto para outros países. Uma vez que a estrutura modular da disciplina pode ser modificada, os conteúdos podem ser adaptados às características geoambientais da localidade em estudo. Por exemplo, se a localidade conta com recursos energéticos provenientes de energia geotérmica, este tópico pode ser incluído na ementa e, assim salientado. De forma geral, caberá aos docentes envolvidos a discussão a respeito dos principais tópicos a serem salientados. Isso permite à instituição que oferta esta modalidade de disciplina uma formação complementar de seus profissionais. Os egressos se familiarizam com os recursos disponíveis na localidade e tornam-se aptos a desenvolver projetos reais voltados ao atendimento das necessidades locais.

Salienta-se, também, como sugestão, a identificação dos recursos agrícolas existentes nas proximidades. Os alunos podem identificar estes recursos e realizar adequações em seus projetos. Por exemplo, processos de aproveitamento da biomassa gerada podem ser propostos na planilha de cálculo gerada, tanto para a produção de energia elétrica quanto calor.

É significativo salientar que os alunos são desafiados constantemente ao longo do desenvolvimento do projeto. Uma vez que a atividade é largamente multidisciplinar, a permanente atualização dos discentes é requerida. Como o trabalho é consideravelmente

amplo, atenção permanente e envolvimento são requeridos. Neste momento, o estabelecimento de cronogramas de metas deve ser trabalhado com os alunos.

Quanto às visitas técnicas, por meio do contato com as equipes técnicas responsáveis das usinas e através de observações, os alunos puderam aferir a respeito dos potenciais, vantagens e desvantagens de cada forma de geração de energia. Através disso, e de forma imparcial, cada estudante pode verificar de forma crítica sua posição a respeito das metodologias de geração e gerenciamento de energia transmitida, impactos e consequências. Estas visitas auxiliaram os alunos a aprimorar a avaliação críticas dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto.

4. CONCLUSÕES

Este artigo propôs, implementou e avaliou um modelo de estrutura disciplinar a ser aplicada ao ensino do dimensionamento de recursos distribuídos de forma integrada em instituições de ensino superior. Este modelo foi aplicado e testado no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete.

A técnica aplicada busca contextualizar os alunos com a problemática sociocultural da região, os requisitos do trabalho solicitado foram adaptados às condições locais, fazendo com que os estudantes buscassem soluções às carências energéticas. Eles foram orientados no sentido de desenvolver um projeto de integração de fontes alternativas, considerando uma comunidade teórica, consistindo de diferentes perfis de carga. Os estudantes avaliaram os recursos energéticos disponíveis na região e estipularam quais as melhores alternativas de fornecimento para os consumidores considerados.

Avalia-se que esta metodologia exercitou várias habilidades na direção da resolução de um problema específico da disciplina em questão.

Considera-se que a abordagem com que a disciplina foi construída e desenvolvida é bastante efetiva. Isto se dá em virtude do alto nível de solicitação e engajamento demandado dos estudantes. Uma vez que o conteúdo tratado é altamente multidisciplinar, a consonância com os conhecimentos apreendidos nas outras cadeiras dos cursos é altamente requerida dos alunos. Como motivação extra, os estudantes puderam visualizar, gradualmente, o encadeamento dos estudos desenvolvidos ao longo do projeto proposto com os outros tópicos relativos ao curso de Engenharia Elétrica.

Como resultado adicional, obteve-se uma metodologia bastante abrangente para o cálculo e dimensionamento de recursos energéticos distribuídos. O resultado foi compilado pelos estudantes na forma de uma planilha de cálculo sistematizada. Os resultados computacionais podem ser estendidos à análise de situações reais, com potencial aplicação em condições profissionais de uso.

Trabalhos futuros podem se valer desta estrutura computacional metodologicamente construída para o desenvolvimento de novas atividades de pesquisa e ensino.

O modelo da disciplina apresentada é bastante maleável. Dessa forma, outras instituições interessadas, podem utilizar o recurso proposto para a inclusão da mesma em seus currículos. Com o objetivo de motivar os estudantes, é recomendável aos professores a adequação da ementa proposta ao contexto regional. Isto permite aos envolvidos uma identificação mais intensa com a situação local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] F. A. Farret and M. G. Simões, *Integration of alternative sources of energy*: IEEE Press, 2006.
[2] F. E. Terman, "A brief history of electrical engineering education," *Proceedings of the IEEE,* vol. 64, pp. 1399-1407, 1976.
[3] F. E. Terman, "Electrical Engineering Education Today," *Proceedings of the IRE,* vol. 50, pp. 955-956, 1962.
[4] F. C. Berry, *et al.*, "The future of electrical and computer engineering education," *Education, IEEE Transactions on,* vol. 46, pp. 467-476, 2003.
[5] W. Bank, *Higher education in Brazil: challenges and opportunities*: World Bank, 2002.
[6] C. Stone, "Renewable energy education at the Colorado School of Mines: A survey of development," in *Frontiers in Education Conference (FIE), 2011*, 2011, pp. S2H-1-S2H-7.
[7] C. Zhang, *et al.*, "Broaden the knowledge of college students for general education purpose in the context of climate change and renewable energy development," in *Communication Software and Networks (ICCSN), 2011 IEEE 3rd International Conference on*, 2011, pp. 28-31.
[8] J. Bush, *et al.*, "An interactive approach to renewable energy research and education," in *Frontiers in Education Conference (FIE), 2011*, 2011, pp. S3F-1-S3F-5.
[9] M. Crow, *et al.*, "Education for renewable electric energy delivery and management systems," in *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, 2010, pp. 1-3.
[10] A. Q. Huang, "Renewable energy system research and education at the NSF FREEDM systems center," in *Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE*, 2009, pp. 1-6.
[11] B. S.C, "Renewable energy education at the university level," *Renewable Energy,* vol. 22, pp. 91-97, 2001.
[12] B. Lars, "On the didactics of renewable energy education — drawing on twenty years experience," *Renewable Energy,* vol. 5, pp. 1398-1405, 1994.
[13] J. Philip, "New directions in renewable energy education," *Renewable Energy,* vol. 34, pp. 435-439, 2009.
[14] S. Arafa, "Renewable energy solutions for development of rural villages and desert communities," in *Clean Electrical Power (ICCEP), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 451-454.
[15] A. H. M. Shamsuzzoha, *et al.*, "Implementation of renewable energy in Scottish rural area: A social study," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 16, pp. 185-191, 2012.
[16] P. Singh, *et al.*, "Work in progress - an innovative sustainable energy engineering graduate curriculum," in *Frontiers in Education Conference, 2008. FIE 2008. 38th Annual*, 2008, pp. S1E-1-S1E-2.
[17] G. M. Masters, *Renewable and efficient electric power systems*: John Wiley & Sons, 2004.
[18] M. o. N. R. Canada, "Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook," 2001-2005 2005.
[19] D. Thevenard, *et al.*, "The RETScreen model for assessing potential PV projects," in *Photovoltaic Specialists Conference, 2000. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE*, 2000, pp. 1626-1629.
[20] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*: Wiley, 2006.
[21] E. S. Sreeraj, *et al.*, "Design of isolated renewable hybrid power systems," *Solar Energy,* vol. 84, pp. 1124-1136, 2010.
[22] J. K. Kaldellis, *et al.*, "Sizing a hybrid wind-diesel stand-alone system on the basis of minimum long-term electricity production cost," *Applied Energy,* vol. 83, pp. 1384-1403, 2006.
[23] E.-H. Said H, "Photovoltaic diesel-generator hybrid power system sizing," *Renewable Energy,* vol. 13, pp. 33-40, 1998.
[24] S. Kumar, *et al.*, "A comparative study of moodle with other e-learning systems," in *Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on*, 2011, pp. 414-418.
[25] C. Lei, "Instructors' Adoption and Implementation of Moodle in Higher Education," in *Business Computing and Global Informatization (BCGIN), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 561-564.
[26] F. Martinez, *et al.*, "Project-Based Learning and Rubrics in the Teaching of Power Supplies and Photovoltaic Electricity," *Education, IEEE Transactions on,* vol. 54, pp. 87-96, 2011.
[27] J. Mattar, *Tutoria e interação em educação a distância*. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
[28] J. C. Thomassian and Y. Amani, "Renewable Energy: Senior design project experience," in *Frontiers in Education Conference (FIE), 2010 IEEE*, 2010, pp. S3H-1-S3H-3.
[29] C. TIBA, *Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres*: UFPE, 2000.

INTEGRATED EXPLOITATION OF ENERGY RESOURCES:A CLASSROOM STUDY CASE

Abstract: *The preoccupation with the availability of energy resources has always been a matter of discussion. Engineers have been frequently requested to develop more efficient and appropriate energy projects, compatible with local features and have to learn to deal with several knowledge fields. This paper proposes a curriculum structure model for a subject to be applied in an Electrical Engineering course. The results present the possibilities for the subject, which may be built and adapted by professors according to the availability of natural resources in each region. Throughout the subject, students produced the methodology for a project of integrated exploitation of renewable energy sources, taking into account the energy efficiency of the processes and final usage services. The methodology is compiled on a set of spreadsheets that can be conveniently used in practical projects.*

Keywords*: distributed generation, renewable resources, energy efficiency, engineering teaching.*