



DISCIPLINA PROJETOS – SUBESTAÇÕES: UMA PROPOSTA QUE ALIA TEORIA À PRÁTICA NOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UNIFEMM

Cássio Alves Carneiro – cassio@unifemm.edu.br
Flávio Mendonça – flavio.mendonca@unifemm.edu.br
UNIFEMM – Centro Universitário de Sete Lagoas
Av. Marechal Castelo Branco, 2765 – Bairro Santo Antônio,
CEP 35701-242 – Sete Lagoas – MG

Wálmisson Régis de Almeida – walmisson.almeida@ifmg.edu.br
IFMG – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
Av. Primeiro de Junho, 1043 – Centro,
CEP 39705-000 – São João Evangelista – MG

Resumo: *Este artigo representa a síntese de um projeto de disciplina realizado com a turma do 10º período de Engenharia Elétrica da UNIFEMM – Centro Universitário de Sete Lagoas. O trabalho alia teoria e prática dos processos de transmissão de energia elétrica, realizadas em um modelo simulador de subestação da CEMIG, na cidade de Sete Lagoas. No projeto, foram desenvolvidos tanto um referencial teórico sobre o tema quanto a parte prática de visita à estação – localizada dentro das instalações da Univercemig – e manipulação física dos instrumentos de controle e operação desta pelos alunos do 10º período. Um resumo das atividades e consequências didático pedagógicas foram avaliadas no processo.*

Palavras-chave: *Processo ensino-aprendizagem, Integração teoria-prática, Subestações elétricas, Sistema elétrico de potência.*

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas sobre o processo ensino-aprendizado têm se tornado cada vez mais presentes no meio acadêmico, e as propostas de intervenção são as mais variadas, sempre numa perspectiva que coloca o aluno no centro desse processo, um elemento cada vez mais ativo na construção de seu próprio conhecimento. Nessa perspectiva, o Centro Universitário de Sete Lagoas – UNIFEMM, aposta cada vez mais no desenvolvimento de projetos que integrem as disciplinas das Engenharias, e aliem o conhecimento prático às teorias ministradas em aulas teóricas.

O trabalho descrito a seguir foi realizado durante o segundo semestre letivo de 2016, com a turma do 10º período de Engenharia Elétrica do UNIFEMM. O objetivo principal do projeto foi servir de piloto para uma nova metodologia de ensino no centro universitário, que será possivelmente instituída em todos os cursos de Engenharia da referida instituição.

Organização



Promoção





Essa nova metodologia de ensino viria preencher mais uma lacuna entre a sala de aula, com as impreteríveis aulas teóricas, e a atuação profissional, colocando o aluno em um contexto muito próximo de sua futura atuação.

Nesse caso, especificamente, os alunos do curso de Engenharia Elétrica foram colocados em contato com os mais variados equipamentos existentes dentro de uma subestação elétrica de transmissão e distribuição de energia, algo que será parte de seu cotidiano profissional.

2. DESENVOLVIMENTO

Estruturação teórica do projeto

Antes dos alunos irem para a atividade prática, o primeiro mês da disciplina foi aproveitado pelo professor para nivelar os conhecimentos de todos. Após isso, uma primeira reunião foi realizada no final de agosto de 2016, entre o professor da disciplina e os discentes do 10º período de Engenharia Elétrica. Tendo um conhecimento básico acerca de uma subestação, nessa reunião foram definidos os grupos de trabalho, o tema designado a cada um deles (baseado no método da problematização) e os objetivos de cada grupo, conforme descrito a seguir:

1. TPs (Transformadores de potencial), TCs (Transformadores de corrente) e chaves seccionadoras.

Perguntas problema:

- Quais os ensaios necessários para colocar as seccionadoras da SE (Subestação) Univercemig em funcionamento?
- Quais os ensaios necessários para colocar um TC (transformador de corrente) em funcionamento?
- Quais os ensaios necessários para colocar um TP (transformador de potencial) em funcionamento?
- Na SE Univercemig, não há TPs, nem TCs. Onde seria recomendado instalar esses equipamentos pensando num sistema de proteção e medição?

2. Parecer de acesso e autorização da concessionária.

Perguntas problema:

- Quais os documentos devem ser seguidos para colocar em funcionamento qualquer SE no SIN (Sistema Interligado Nacional)?
- No caso da SE Univercemig, quais os trâmites para colocar em funcionamento a SE?
- Quem são os funcionários autorizados pela concessionária para colocar uma SE em funcionamento?
- Quais documentos devem ser aprovados antes do início da operação comercial de qualquer SE?

3. Manobras dentro da SE (subestação).

Perguntas problema:

- Quais são as manobras que podemos realizar dentro da SE Univercemig?
- Quais os cuidados devem-se ter para fazer manobras dentro de quaisquer SE?



- São necessários documentos para entregar uma determinada parte da SE para equipe de manutenção trabalhar. Quais documentos são esses?
- E qual a sequência cronológica para fazer qualquer manobra dentro da SE?
- Explicar qual a diferença entre manobras realizadas de forma programada e aquelas realizadas emergencialmente.

4. Disjuntor e religador.

Perguntas problema:

- Quais são os ensaios necessários para colocar um disjuntor ou um religador em serviço?
- No caso da SE Univercemig, o que deve ser checado com relação aos disjuntores existentes no pátio da subestação?
- Detalhar as partes internas de um disjuntor e um religador, mostrando as diferenças existentes entre esses dois equipamentos. É possível instalar um religador em substituição a um disjuntor ou vice-versa?

5. Automação e comando remoto.

Perguntas problema:

- Quais são os testes que devem ser feitos dentro de uma subestação antes de colocá-la em funcionamento?
- No caso da SE Univercemig, quais são os entraves para a automação e o comando remoto?
- É necessário prover um sistema de segurança visando proteger as redes de comunicação internas de uma SE?
- Quais são os equipamentos imprescindíveis hoje para uma automação completa de uma SE?

6. Transformador de potência.

Perguntas problema:

- Quais são os ensaios que devem ser realizados para colocar um transformador de potência em serviço?
- No caso da SE Univercemig, quais os ensaios a serem realizados, já que o transformador e o regulador de tensão já estão instalados?
- Quais são os principais pontos a serem verificados durante um comissionamento de transformadores de potência?

7. Para-raios e SPDA (Sistema de proteção contra descargas atmosféricas).

Perguntas problema:

- A SE Univercemig não tem para-raios e SPDA. O que deveria ser feito para implantarmos esse sistema na SE?
- Quais os locais de instalação de para-raios e quais os tipos de para-raios existentes?
- Diante do estudo realizado, fazer um projeto de SPDA e instalação de para-raios para a SE Univercemig.

8. Sistemas de proteção.

Perguntas problema:

- Quais ensaios devem ser realizados nos diversos relés de proteção antes de colocar o sistema de proteção em funcionamento?

Organização



Promoção





- No caso da SE Univercemig, quais ensaios devem ser feitos?
- Como se dá o teste do sistema de proteção em qualquer SE interligada ao SIN?
- No caso da SE Univercemig, é necessário algum documento de calibração de relés e demais equipamentos do sistema de proteção?
- E com relação ao SIN?

9. Serviços auxiliares.

Perguntas problema:

- Quais os testes que devem ser realizados nos serviços auxiliares de subestações?
- Como se dá o projeto desses serviços auxiliares?
- No caso da SE Univercemig, mostrar quais os serviços auxiliares existentes e se vocês acreditam ser interessante acrescentar mais algum outro tipo de serviço auxiliar.
- Explicar a importância do serviço auxiliar para qualquer SE citando como exemplo o caso da SE Univercemig e outra do SIN.

10. Entrada e saída de linhas.

Perguntas problema:

- Quais testes devem ser realizados nos pórticos de entrada e saída de linhas de transmissão?
- Quais testes devem ser realizados nas cargas e no sistema de entrada da SE Univercemig?
- Quais os cuidados que devemos ter no projeto de SE's levando em consideração as linhas de transmissão de entrada e saída?
- Quais documentos norteiam esses estudos no SIN?

Em posse das atribuições, os grupos iniciaram a busca pelas referências teóricas de seus respectivos temas, e fizeram a primeira visita à Univercemig. Lá, juntamente com o professor da disciplina, tiveram o primeiro contato físico com as estruturas da subestação. Seguem agora fotos da SE Univercemig (figuras 1 e 2), local utilizado para desenvolver o projeto e que os alunos tiveram contato nessa primeira parte.

Figura 1 – Entrada da subestação. Fonte: os autores.



Organização



Promoção





Figura 2 – detalhes da subestação utilizada para a pesquisa. Fonte: os autores.



Ao passo, uma reunião foi realizada com os coordenadores do projeto, definindo as primeiras datas para entrega dos resumos teóricos dos temas de cada grupo. Esse referencial teórico foi entregue ao professor antes da execução das atividades práticas de cada grupo na Univercemig.

Dessa forma, o responsável pelo treinamento poderia se dedicar exclusivamente à parte prática, sem necessidade de maiores explicações sobre nomenclaturas e funcionamento de equipamentos. A fim de padronizar a entrega de documentos, foi encaminhado aos grupos o modelo que já é utilizado pela instituição na execução dos TCC's (Trabalhos de Conclusão de Curso).

A seguir (figuras 3 e 4), verifica-se a qualidade do referencial teórico apresentado por um dos grupos de trabalho, grupo que ficou responsável pelo item 10 dos temas elencados anteriormente. Percebe-se, no referencial teórico apresentado pelo grupo, a presença de algumas fotos da própria subestação, estas obtidas no momento da primeira visita ao local. Nesse caso, os alunos já mostraram alguns dos elementos do seu referencial na prática, o que mostra a validade da primeira visita da turma ao local.



Figura 3: Referencial teórico do projeto apresentado pelo grupo 10. Fonte: o autor

2 APECTOS GERAIS DO ESTUDO DE ENTRADA E SAÍDA DE SE'S

2.1 Conhecimento do Tipo de SE

A citar, as SE's podem ser classificadas das seguintes formas:

- Quanto a função: SE de manobra, SE de transformação (elevadora ou abaixadora), SE de distribuição, SE de regulação de tensão, SE conservadoras;
- Quanto ao nível de tensão: SE de Alta Tensão (AT-230kV), SE de Extra Alta Tensão (EAT-230kV);
- Quanto ao tipo de instalação: SE desabrigada (ou ao ar livre), SE abrigada (locais interiores abrigados), SE blindada (equipamentos protegidos e isolados em óleo ou gás);
- Quanto à forma de operação: SE com operador, SE semiautomática, SE automatizada (através de sistema supervisorio, por exemplo, o SCADA - *Supervisor Control and Data Acquisition*).

A SE da Univercemig é uma SE que atualmente está desativada, mas se caracteriza como SE conservadora (1:1), desabrigada e com operador, o qual realizava as manobras através da sala de controle e proteção localizada no prédio 4. Ela é totalmente distática cujo nível de tensão RMS para operação é 220V.

2.2 Localização da SE

Quanto a escolha do local para instalação de SE é importante levar em consideração no projeto:

- Localização ideal: centro de carga;
- Facilidade de acesso para linhas de subtransmissão (entradas) e linhas de distribuição (saídas) existentes e futuras;
- Espaço para expansão;
- Regras de uso e ocupação do solo;
- Minimização do número de consumidores afetados por descontinuidade de serviço; etc.

A SE da Univercemig está localizada no prédio 7, onde possui uma área britada com os equipamentos de manobra, transformação e regulação.

3 DISPOSITIVOS DE ENTRADA E SAÍDA DE LINHA

No estudo de dispositivos de entrada de uma linha de transmissão em uma SE, é levado em consideração todos os equipamentos existentes até o ponto de transformação do nível de tensão, ou seja, até o transformador de potência. A citar:

- Pórtico de entrada com seus respectivos isoladores de linha;
- Linhas de transmissão;
- Barramentos;
- Equipamentos de manobra: disjuntores e chaves seccionadoras;
- Para-raios e malha de terra;
- Equipamentos para medição e monitoração: transformadores de instrumentos (TP - transformador de potencial indutivo ou capacitivo, TC - transformador de corrente).

A FIG.01 apresenta o pórtico de entrada (concreto com cruzeta de madeira) da SE da Univercemig com seus respectivos isoladores e chegada de linha (220V).



Os dispositivos de saída são reconhecidos pelo lado da SE que irá atender a carga. Como por exemplo:

- Pórtico de saída com seus respectivos isoladores;
- Disjuntores;
- Relgadores;
- Alimentadores;
- Cargas Resistivas, Indutivas e Capacitivas.

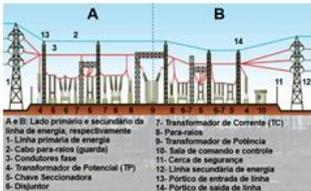
Assim como o pórtico de entrada, a saída de linha também apresenta as mesmas características construtivas, como pode ser visto na FIG.02. Nesta também é apresentado o regulador de tensão que tem a finalidade de controlar o nível de tensão.

Figura 4: Referencial teórico do projeto apresentado pelo grupo 10. Fonte: o autor

Alguns equipamentos, apesar de não estarem diretamente ligados a periferia da SE, são complementares ao seu funcionamento adequado e confiável:

- Equipamentos de proteção localizados na sala de comando e controle: relés (primário, retardado e auxiliar), fusíveis, para-raios e malha de terra;
- Equipamentos de compensação: reatores, capacitores, compensadores síncronos, compensadores estáticos.

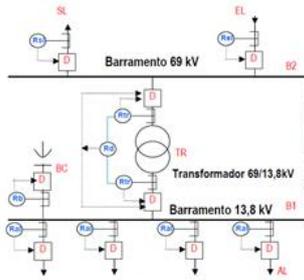
A FIG. 01 a seguir apresenta alguns desses equipamentos apresentados:



1- Linha primária de energia
 2- Cabo para-raios (parafusos)
 3- Condutores fase
 4- Transformador de Potencial (TP)
 5- Chave Seccionadora
 6- Disjuntor
 7- Transformador de Corrente (TC)
 8- Reator
 9- Transformador de Potência
 10- Sala de comando e controle
 11- Cerca de segurança
 12- Linha secundária de energia
 13- Pórtico de entrada de linha
 14- Pórtico de saída de linha

As SE distribuidoras, usualmente, são compostas pelos seguintes vãos: entrada de linha (EL); saída de linha (SL); barramentos de alta e média tensão (B2 e B1); vão de transformação (TR); banco de capacitor ou vão de regulação (BC) e saída de alimentador (AL).

Cada vão da subestação deve possuir dispositivos de proteção (relés) e equipamento de disjunção com a finalidade de limitar os impactos proporcionados por ocorrências no sistema elétrico tais como: descargas atmosféricas, colisão, falhas de equipamentos, curtos-circuitos, etc. A FIG. 02 apresenta um diagrama típico e simplificado de uma SE distribuidora de 69/13,8kV.



LEGENDA
 LT – Linha de Transmissão
 EL – Vão de entrada de linha
 SL – Vão de saída de linha
 B1 – Barramento média tensão
 B2 – Barramento alta tensão
 TR – Vão de transformador
 BC – Vão de regulação
 AL – Vão de alimentação
 D – Disjuntor
 Rd – Relé diferencial

A prática na Univercemig

Durante a execução do referencial teórico, indicou-se aos alunos que já se organizassem para as visitas técnicas à Univercemig para a parte prática do projeto. Essas

Organização



Promoção





visitas deveriam ser organizadas e agendadas pelos grupos. De acordo com o professor da disciplina, seria uma boa maneira de incentivar a autonomia dos próprios discentes.

Nesse momento, uma das dificuldades do projeto se apresentou. A instituição recebe alunos de várias cidades da região de Sete Lagoas, algumas a mais de 100 quilômetros de distância. A maioria destes alunos já inseridos no mercado, o que dificulta a compatibilidade de horários. Dessa forma, não foram possíveis mais do que três visitas técnicas à Univercemig por cada grupo, mas isso não invalida a eficiência do projeto. Em uma situação de menor dispersão dos alunos com relação à distância, poderiam ser agendadas mais visitas.

Nessas visitas, cada grupo recebeu orientações práticas relativas ao seu tema. Todos os resultados de pesquisa e levantamentos de práticas que poderiam ser desenvolvidas pelos grupos deveriam ser registrados no trabalho final a ser entregue ao professor.

Após um levantamento dos testes necessários, foi solicitado aos alunos um detalhamento com relação aos equipamentos necessários para a realização desses testes, tanto para a própria segurança pessoal quanto para a integridade dos equipamentos. Além disso, um resumo da normatização que rege os ensaios que poderiam ser aplicados e uma conclusão do grupo com relação ao trabalho. Os registros do grupo 10 estão apresentados nas figuras 5 e 6.

Figura 5: Relatório de equipamentos e normas técnicas utilizadas. Fonte: o autor

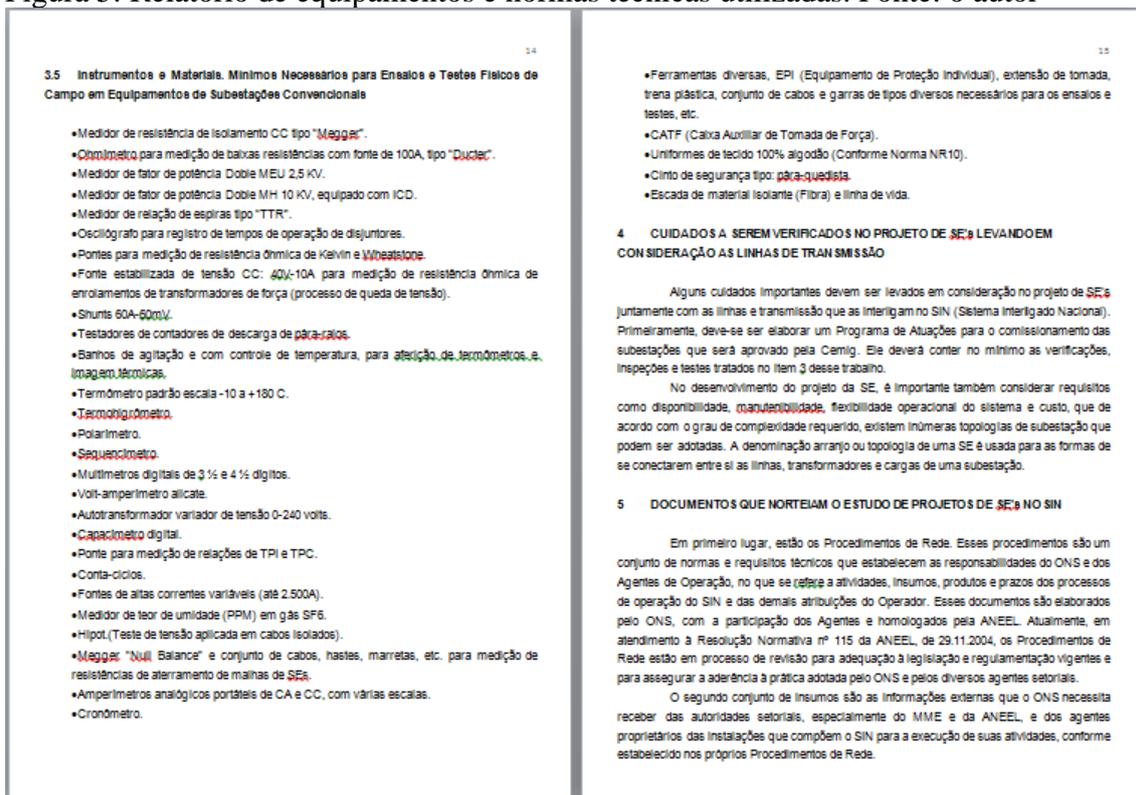
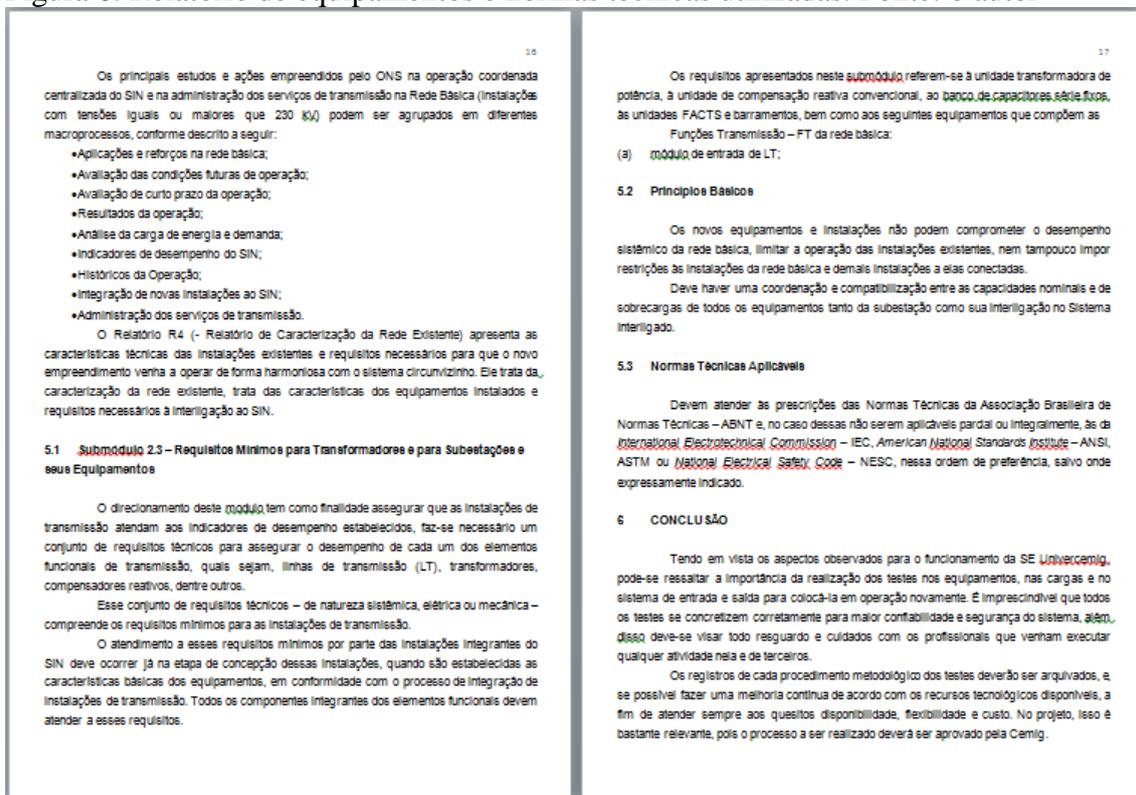




Figura 6: Relatório de equipamentos e normas técnicas utilizadas. Fonte: o autor



Auto avaliação do projeto

Como foi feito um projeto piloto, houve consenso entre a coordenação e o professor responsável da necessidade de realizar um questionário de avaliação do projeto entre os discentes. Nesse questionário, eles descreveriam o que achavam do projeto e quais foram as maiores dificuldades encontradas na realização do mesmo.

O professor da disciplina se encarregou de ler os questionários e resumir as percepções dos alunos e sua própria percepção das atividades. Uma síntese foi realizada sobre algumas questões básicas, como apresentado a seguir:

1. Percepção geral sobre o projeto/processo visão docente:

“No início, fiquei um pouco confuso pois nunca tinha trabalhado com uma disciplina projeto. Isso refletiu um pouco no desenvolvimento da disciplina na sua fase introdutória. Com isso, os alunos chegaram a pensar que essa seria uma disciplina como as outras que eles normalmente cursam durante o período de graduação. Com o passar do tempo, entendi melhor a proposta. Mas esse tempo perdido foi muito precioso porque como a disciplina tem 35 horas, perdi muitas horas até entender melhor a proposta. Para esse semestre será muito melhor.”

2. Pontos positivos e negativos visão docente:

Pontos positivos: fazer com que os alunos trabalhem mais. Como a sala foi dividida em várias equipes, cada uma delas se preparou sobre um determinado assunto e apresentou para a turma. Gostei muito dessa forma, pois os alunos se interagem mais e também têm a



oportunidade de falar para a sala inteira, sendo eles os responsáveis pela transmissão do conhecimento. Essa forma de trabalho foi excelente!

Pontos negativos: perdi muito tempo no início da disciplina passando conteúdo. Creio que eu não deveria iniciar dessa forma. Acho que o ideal seria os alunos já começarem desde o início da disciplina se interagindo e participando de forma mais efetiva.

3. Identificar um grupo que alcançou os melhores avanços:

“O grupo que alcançou os melhores resultados foi o grupo que ficou com a parte de entrada e saída de subestações do 10B. E por sinal é um dos temas mais difíceis porque eles precisam de uma visão ampla da subestação. Mesmo assim, os alunos trabalharam muito bem.”

4. Dar detalhes do trabalho deste grupo:

“Gostei muito do trabalho. Deixaram uma parte escrita perfeita, além de contribuir com a elaboração do desenho em Autocad® do diagrama unifilar da SE Univercemig. Eles juntaram três desenhos que estavam manuscritos e passaram para o formato de Autocad®.”

5. Percepção geral sobre o projeto/processo visão discente:

- É necessário redistribuir a ementa para que disciplinas projeto não fiquem juntas com o Trabalho de Conclusão de Curso;
- São necessárias regras mais claras desde o início da disciplina projeto, e mudanças devem ser feitas com um intervalo maior de tempo entre a proposição da mudança e a data na qual ela ocorrerá. Isso se deve ao fato de que os cronogramas de aula tiveram que ser alterados devido às apresentações do trabalho teórico feito pelos alunos. Com isso, os alunos poderiam se adaptar melhor;
- É necessário aproveitar mais as instalações da Univercemig. Como a empresa oferece essa abertura para a UNIFEMM, todos os testes sugeridos pelos alunos e mostrados nesse artigo poderiam ser executados, trazendo um ganho enorme no processo ensino-aprendizagem dos alunos.

6. Pontos positivos e negativos visão discente:

Pontos positivos: no geral, gostaram muito de trabalhar em conjunto com os colegas. Creio que isso se deve ao fato de estarem bem entrosados e já no último período da faculdade. Gostaram da experiência de ter a oportunidade de passar o conhecimento para os colegas. No geral isso foi muito bom. Fizeram um bom trabalho porque a responsabilidade pelo ensino da disciplina ficou por conta dos alunos. Eu estava apenas intermediando. E eles gostaram muito dessa forma de trabalho.

Pontos negativos: Elenquei alguns, que seguem abaixo:

- Falta de suporte para as disciplinas projeto;
- É necessária uma preparação maior para fazer essas disciplinas (acho que sentiram o peso da responsabilidade de serem eles os transmissores do conhecimento para os demais colegas);
- Faltou definição e metodologia para a disciplina (essa realmente foi uma falha minha. Pelo fato exposto no primeiro item, demorou algumas aulas para que eu tivesse a real dimensão sobre o que fazer em uma disciplina projeto);
- Não sentiram diferença entre a disciplina projeto e as outras disciplinas (creio que se deve ao fato de eu ter começado a disciplina da mesma forma que começo qualquer outra, ou seja, com aula expositiva).



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, tanto do ponto de vista da coordenação, dos professores e do corpo discente envolvido, o projeto foi considerado como de grande importância para a formação profissional dos futuros engenheiros. A concepção do trabalho foi colocar os estudantes em contato com o que será a sua vivência profissional, algo que as aulas teóricas jamais poderão oferecer.

Em virtude das inúmeras parcerias que a UNIFEMM possui com empresas de grande, médio e pequeno porte na região, a percepção é que o modelo do projeto pode ser aplicado em todos os cursos de Engenharia da universidade, sempre focando a interação dos discentes com processos e profissionais de sua futura área de atuação. Claro que respeitando as especificidades de cada curso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACORDO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA ANEEL / ELETROBRÁS. **Diretrizes para elaboração de orçamento de subestações.** 2005. 189 f.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS - CEMIG. **Especificação para ensaios e testes físicos de campo em equipamentos de subestações convencionais.** Ref. Doc.22000-ER/GE-1001a. Belo Horizonte, 2007. 23 p.

FONSECA, C. S. **Apostila da Disciplina Subestações.** Centro Federal de Educação Tecnológica. Rio de Janeiro, 1990.

LEÃO, R. **Capítulo 4: Distribuição de Energia Elétrica.** Disponível em: https://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/130060/mod_resource/content/1/Substacoes-texto.pdf. Acessado em: 17 out 2016.

MUZY, G. L. C. de O. **Subestações Elétricas.** 2012. 122 f. Projeto (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Procedimentos de Rede.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/procedimentos/index.aspx>. Acessado em: 17 out 2016.