



INFORMAÇÕES

I. DADOS

Professores: **Giovanni Manassero Junior**
Eduardo Lorenzetti Pellini
Email: **manassero@usp.br**
elpellini@usp.br
Tel: **3091-5768**
Início: **07/06/2017**
Término: **30/08/2017**
Nº de aulas: **13 aulas**
Moodle: **<http://disciplinas.stoa.usp.br>**

| Dias da disciplina | Conteúdo (indicativo) |
|--------------------|--------------------------------------|
| 01 - 07/06/2017 | Aula introdutória e histórico |
| 02 - 14/06/2017 | Princípios de automação |
| 03 - 21/06/2017 | Tecnologias de comunicação |
| 04 - 28/06/2017 | Introdução às smartgrids |
| 05 - 05/07/2017 | Características das smartgrids |
| 06 - 12/07/2017 | Prova |
| 07 - 19/07/2017 | Comunicações das smartgrids |
| 08 - 26/07/2017 | Sensoreamento, medição e componentes |
| 09 - 02/08/2017 | Controle e interfaces |
| 10 - 09/08/2017 | Tecnologias das smartgrids |
| 11 - 16/08/2017 | Visita ao LPROT |
| 12 - 23/08/2017 | Apresentação de trabalhos |
| 13 - 30/08/2017 | Apresentação de trabalhos |

II. OBJETIVO DA DISCIPLINA

O objetivo da disciplina em questão é apresentar aos alunos os fundamentos das redes elétricas inteligentes e microrredes (Smart Grids e Micro Grids), bem como o impacto dessa nova concepção de redes elétricas nos tradicionais sistemas de automação e proteção. Além disso, pretende-se discutir as iniciativas nacional, europeia e americana nesse sentido.

III. JUSTIFICATIVA

Os requisitos empregados historicamente no processo de especificação, projeto e construção das redes de distribuição e transmissão de energia elétrica foram concebidos para garantir o atendimento aos consumidores, respeitando limites de tolerância com relação aos níveis de tensão e interrupção do fornecimento. Com a desregulamentação do setor elétrico as concessionárias de energia viram-se obrigadas a operar em um ambiente

de competição, que resultou na necessidade de redução de custos, no aumento da confiabilidade do sistema e na melhoria dos índices de qualidade do serviço prestado ao consumidor. Atualmente, o crescimento na demanda de energia e, em particular, o aumento da demanda por energia proveniente de fontes limpas e renováveis impuseram novos desafios às concessionárias de distribuição e transmissão.

Estas constantes mudanças de cenário têm impulsionado de maneira significativa o crescimento de estudos e pesquisas no campo dos sistemas de transmissão e distribuição. Inicialmente, o objetivo destes estudos e pesquisas era restrito às melhorias nos índices de continuidade de serviço da rede e na qualidade da energia entregue aos consumidores, para atender às necessidades impostas pela desregulamentação do setor. Atualmente, os esforços têm se concentrado no aumento da aplicação da tecnologia digital, no que se refere ao monitoramento, supervisão, proteção, medição e controle dos sistemas, bem como no estudo de novas topologias que possam acomodar, de maneira adequada, autoprodutores de energia elétrica, de forma a suprir a crescente demanda.

Neste contexto, parte dos estudos no campo dos sistemas de transmissão e distribuição foi direcionada à elaboração de novos requisitos para o processo de especificação, projeto e construção de redes de transmissão e distribuição. Estes requisitos foram definidos de forma a aprimorar as redes, para que seja possível otimizar o fluxo da energia de acordo com a demanda individual dos consumidores e para que seja possível o estabelecimento de novos negócios.

A mudança nos requisitos para o processo de especificação, projeto e construção das redes elétricas, bem como a presença de autoprodutores alteram de maneira significativa as práticas atualmente empregadas nos projetos de automação e nos sistemas de proteção das redes elétricas, e é neste cenário que se justifica esta disciplina de pós-graduação.

IV. CONTEÚDO DA DISCIPLINA

O conteúdo da disciplina de Redes Elétricas Inteligentes e Microrredes aborda os seguintes tópicos:

- a) Histórico sobre a evolução dos sistemas elétricos de potência; Sistemas de automação e proteção convencionais.
- b) Redes Elétricas Inteligentes – Smart grids; Conceitos e características (automação e controle da rede elétrica, medição inteligente, integração de fontes de geração e armazenamento de energia); Automação das subestações (dispositivos eletrônicos inteligentes); Automação da distribuição (detecção, isolamento e localização automática de faltas para restauração do serviço de distribuição, controle do fluxo de potência e integração da geração distribuída); Automação da transmissão (esquemas de proteção, controle e monitoração sistêmicos – wide area protection, control and monitoring).
- c) Microrredes – Micro grids; Conceitos e características; Estruturas típicas das microrredes; Controle do fluxo de potência e estratégias de controle; Fontes de energia e dispositivos de armazenamento de energia.
- d) Cenários internacional e nacional para o desenvolvimento de Redes Elétricas Inteligentes e Microrredes; Europa (Smart Grid Europe); Estados Unidos (GridWise, Modern Grid Initiative e IntelliGrid); Brasil (iniciativas das concessionárias de geração, transmissão e distribuição).

V. MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O processo de avaliação será composto por três ferramentas da avaliação distintas: prova individual, trabalho em grupo e apresentação de seminário.

- a) *Prova*: a prova será realizada individualmente no dia 12/07/2017 **pelo MOODLE** e o seu conteúdo será composto por questões objetivas e/ou dissertativas, acerca dos temas tratados durante as aulas. A prova tem valor máximo de dez pontos (10,0);
- b) *Trabalho*: os trabalhos serão elaborados em grupo e deverão ser entregues até o dia 22/08/2017 também **pelo MOODLE**. O trabalho tem valor máximo de dez pontos (10,0) .
- c) *Seminário*: os seminários serão apresentados pelos mesmos grupos que elaboraram os trabalhos e deverão ser apresentados nos dias 23/08/2017 e 30/08/2017, porém os arquivos com as apresentações devem ser entregues até o dia 22/08/2017 também **pelo MOODLE**. O seminário tem valor máximo de dez pontos (10,0).

ATENÇÃO: A prova estará disponível para visualização no MOODLE, na segunda-feira (12/07/2017), das **14:00** horas às **16:00** horas.

A média do aluno será composta da seguinte maneira:

$$M = 0,3P + 0,4T + 0,3S$$

Onde: M - Média do aluno; P - Nota da prova; T - Nota do trabalho; e S - Nota do seminário.

A média tem valor máximo de dez pontos e os conceitos serão atribuídos conforme a seguir:

| Média | Conceito |
|----------------|----------|
| 8,5 a 10,0 | A |
| 7,5 a 8,4 | B |
| 6,5 a 7,4 | C |
| Inferior a 6,5 | R |

Onde: A - Excelente, com direito a crédito; B - Bom, com direito a crédito; C - Regular, com direito a crédito; R - Reprovado.

VI. Trabalhos

O trabalho da disciplina tem por objetivo ampliar o conhecimento dos alunos com relação ao tema *Redes Elétricas Inteligentes e Microrredes*, uma vez que o assunto é bastante amplo e ainda está em fase de consolidação pela comunidade técnica e científica.

Esse trabalho consiste na análise de artigos técnicos que abordam os diversos tópicos da disciplina e, para seu desenvolvimento, os alunos devem se distribuir em grupos e escolher um dos temas/artigos apresentados. Dentre os artigos sobre Redes Elétricas Inteligentes pode-se destacar os seguintes:

- (1) *Protection & Automation*: TRINDADE, F. C. L., FREITAS, W. *Low Voltage Zones to Support Fault Location in Distribution Systems With Smart Meters*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-10.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7440854&isnumber=5446437>.
- (2) *Operation tools*: MOLINA-GARCÍA, Á., MASTROMAURO, R. A., GARCÍA-SÁNCHEZ, T. , PUGLIESE, S., LISERRE, M., STASI, S. *Reactive Power Flow Control for PV Inverters Voltage Support in LV Distribution Networks*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 1, pp. 447-456, Jan. 2017.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7736082&isnumber=7792759>.
- (3) *Maintenance management*: H. PENG, H., WANG, J., MING, J., SHI, P., PEREZ-JIMENEZ, M. J., YU, W., TAO, C. *Fault Diagnosis of Power Systems Using Intuitionistic Fuzzy Spiking Neural P Systems*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7857789&isnumber=5446437>.
- (4) *WAMPACS*: MEHTA, R., SRINIVASAN, D., KHAMBADKONE, A. M., YANG, J., TRIVEDI, A. *Smart Charging Strategies for Optimal Integration of Plug-in Electric Vehicles within Existing Distribution System Infrastructure*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7448958&isnumber=5446437>.
- (5) *Electricity market*: LUJANO-ROJAS, J. M., DUFO-LÓPEZ, R., BERNAL-AGUSTÍN, J. L., CATALÃO, J. P. S. *Optimizing Daily Operation of Battery Energy Storage Systems Under Real-Time Pricing Schemes*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 1, pp. 316-330, Jan. 2017.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7551145&isnumber=7792759>.
- (6) *WAMPACS*: ALMAS, M. S., VANFRETTI, L., SINGH, R. S., JONSDOTTIR, G. M. *Vulnerability of Synchrophasor-based WAMPAC Applications' to Time Synchronization Spoofing*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7845713&isnumber=5446437>.

- (7) *Operation tools*: MALBASA, V., ZHENG, C., CHEN, P. C., POPOVIC, T., KEZUNOVIC, M. *Voltage Stability Prediction Using Active Machine Learning*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7898513&isnumber=5446437>.
- (8) *Operation tools*: BORGHETTI, A., BOTTURA, R., BARBIROLI, M., NUCCI, C. A. *Synchrophasors-Based Distributed Secondary Voltage/VAR Control via Cellular Network*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 1, pp. 262-274, Jan. 2017.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7562471&isnumber=7792759>.
- (9) *Electricity market*: CHEN, S., CHEN, Q., XU, Y. *Strategic Bidding and Compensation Mechanism for a Load Aggregator with Direct Thermostat Control Capabilities*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7572057&isnumber=5446437>.
- (10) *Communications*: TSAI, S. C., TSENG, Y. H., CHANG, T. H. *Communication-Efficient Distributed Demand Response: A Randomized ADMM Approach*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 3, pp. 1085-1095, May 2017.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7274768&isnumber=7904756>.
- (11) *Resilient grids*: BROWN, H. E., DEMARCO, C. L. *Risk of cyber-physical attack via load with emulated inertia control*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7911324&isnumber=5446437>.
- (12) *Distributed energy resources*: MALEKPOUR, A. R., PAHWA, A., MALEKPOUR, A., NATARAJAN, B. *Hierarchical Architecture for Integration of Rooftop PV in Smart Distribution Systems*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7558110&isnumber=5446437>.
- (13) *Electric vehicles*: XIE, D., CHU, H., GU, C., LI, F., ZHANG, Y. *A Novel Dispatching Control Strategy for EVs Intelligent Integrated Stations*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 2, pp. 802-811, March 2017.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7208867&isnumber=7857818>.
- (14) *Demand response*: DONG, Y., XIE, X., SHI, W., ZHOU, B., JIANG, Q. *Demand-Response Based Distributed Preventive Control to Improve Short-term Voltage Stability*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7858775&isnumber=5446437>.
- (15) *Protection & Automation*: SUN, Q., GUERRERO, J. M., JING, T., VASQUEZ, J. C., YANG, R. *An Islanding Detection Method by Using Frequency Positive Feedback Based on FLL for Single-Phase Microgrid*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-10.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7364288&isnumber=5446437>.
- (16) *Resilient grids*: LEITE, J. B., MANTOVANI, J. R. S. *Development of a Self-Healing Strategy With Multiagent Systems for Distribution Networks*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-9.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7394193&isnumber=5446437>.
- (17) *Demand response*: CELIK, B., ROCHE, R., BOUQUAIN, D., MIRAOUI, A. *Decentralized neighborhood energy management with coordinated smart home energy sharing*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
- <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7937821&isnumber=5446437>.

- (18) *Operation tools*: JU, Y., WU, W., GE, F., MA, K., LIN, Y., YE, L. *Fast Decoupled State Estimation for Distribution Networks Considering Branch Ampere Measurements*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7937901&isnumber=5446437>.
- (19) *Distributed energy resources*: ASKARIAN, I., EREN, S., PALEVANI, M., KNIGHT, A. *Digital Real-Time Harmonic Estimator for Power Converters in Future Micro-Grids*. IEEE Transactions on Smart Grid , vol.PP, no.99, pp.1-1.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7937826&isnumber=5446437>.
- (20) *Distributed energy resources*: AFFIJULLA, S., TRIPATHY, P. *A Robust Fault Detection and Discrimination Technique for Transmission Lines*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol.PP, no.99, pp.1-1.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7935455&isnumber=5446437>.

A avaliação dos trabalhos considera sua forma e seu conteúdo. A forma do trabalho será avaliada a partir da conformidade com as *Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses da EPUSP* e o conteúdo será analisado confrontando o artigo técnico e os documentos utilizados pelos grupos na confecção do trabalho.

VII. Seminários

Os seminários serão apresentados pelos mesmos grupos de alunos definidos para a elaboração do trabalho. Esses seminários tem por objetivo apresentar para toda a turma, de forma sucinta, a análise descrita em cada trabalho.

As apresentações não deverão exceder **10 minutos** e após cada apresentação haverá um período de **5 minutos** para perguntas e discussões.

VIII. Bibliografia

- (1) Galvin , R. Yeager, K. Perfect Power: How the Microgrid Revolution Will Unleash Cleaner, Greener, and More Abundant Energy. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2009.
- (2) Gellings , C. W. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. CRC Press, 2014.
- (3) Chowdhury, S. P. Crossley, P. Chowdhury, S. Microgrids and Active Distribution Networks. IET, 2009.
- (4) Artigos técnicos e científicos das publicações do IEEE e IET.