



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE 26  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

**GRUPO XIV**

**GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIO COMERCIAL NO RIO  
DE JANEIRO**

**João Carlos Rodrigues Aguiar<sup>1</sup> Fernando de Souza Midão<sup>1</sup> Viviane Gomes Almeida<sup>1</sup>  
Alessandra Nogueira Vallim<sup>2</sup> Márcia M. Q. Carvalho<sup>3</sup>**

**1 – CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA  
2 – FPLF – FUNDAÇÃO PADRE LEONEL FRANCA  
3 – UFF – UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**RESUMO**

Simulação e Análise do Desempenho Energético de Edifício Comercial no Rio de Janeiro – Brasil

O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho energético de um edifício comercial localizado na Barra da Tijuca, em condomínio fechado e de arquitetura padronizada, no Rio de Janeiro.

O perfil do consumo de energia elétrica da edificação, resultante de simulação usando o programa Visual DOE versão 2.61, é obtido ao longo de um ano típico e apresentado em base horária e por usos finais. Assim, obtém-se a distribuição do consumo pelos seguintes usos finais: iluminação, equipamentos, ar condicionado e outros.

A análise deste perfil é realizada confrontando-se as tecnologias existentes na edificação, assim como as soluções arquitetônicas e os materiais construtivos utilizados, com os resultados de consumo energético obtidos na simulação. A parcela de consumo relativa ao sistema de ar condicionado foi enfatizada neste trabalho por ser bastante representativa e oferecer grande potencial de adequação, não do ponto de vista de eficiência do equipamento, mas do consumo de energia elétrica em função da carga térmica local.

Após as simulações, comparando-se o modelo atual da edificação com situações de incremento na resistência térmica, ora nas fachadas ora na cobertura, observou-se que o desempenho energético da edificação sofre maior influência da proteção das fachadas. A área envidraçada, mesmo apresentando vidros com boa resistência térmica, é muito extensa e produz grande impacto no consumo global de energia elétrica da edificação.

A partir desta conclusão optou-se por avaliar em detalhe os impactos produzidos por diversas soluções para a proteção das fachadas. Situações com sombreamentos diversificados, alteração tanto dos vidros como da área envidraçada foram simuladas e analisadas, assim como a escolha de soluções mais atuais de mercado.

Finalmente, este trabalho demonstra a importância energética e econômica de se avaliar, ainda em fase de projeto, os impactos no consumo de energia elétrica resultantes da escolha de materiais construtivos e soluções arquitetônicas, que serão empregadas na edificação.

A formação de uma cultura que valorize a eficiência energética e que envolva os agentes deste setor é de extrema importância. A criação de legislação própria e a conscientização do projetista para que este evite a aplicação de tipologias arquitetônicas de fechamento inadequadas ao nosso clima são metas a serem alcançadas.

## PALAVRAS-CHAVE

Eficiência Energética; Arquitetura Bioclimática; Simulação no VisualDOE, Edifícios Comerciais; Brasil

### 1.0 - INTRODUÇÃO

O investimento em pesquisas no setor de eficiência energética vem se expandindo ao longo dos anos em função das crescentes necessidades humanas e das atuais restrições ambientais, econômicas e sociais (La Rovere 2002). A busca pela eficiência energética pode ser encontrada em todas as etapas do ciclo energético: geração, transmissão, distribuição e uso final da energia elétrica.

O consumo de energia elétrica em edificações é bastante representativo no consumo global de um país em desenvolvimento (The Brazilian Energy Balance 2005), e está presente em todos os setores da economia nacional. Sendo assim, torna-se estrategicamente interessante realizar estudos, promovendo a conscientização dos atores envolvidos e viabilizando medidas de boas práticas relacionadas à eficiência energética em edificações - EEE, aumentando a abrangência dos resultados.

Uma edificação energeticamente eficiente deve proporcionar as mesmas condições de conforto ambiental ao usuário com menor consumo de energia elétrica. Assim sendo, o triângulo conceitual clássico de Vitruvius - solidez/beleza/utilidade - pode ser acrescido de um vértice - o da eficiência energética - transformando-se no conceito ideal para a arquitetura contemporânea.

Historicamente, a arquitetura observou o princípio de aproveitamento das características desejáveis do clima enquanto evitava as indesejáveis. Por muitas décadas, soluções que proporcionavam o aproveitamento de iluminação e ventilação natural assim como outras soluções que geravam maior conforto térmico no interior das edificações foram utilizadas amplamente. O "estilo internacional", que surgiu no período entre guerras, revolucionou por completo os conceitos da arquitetura, pois a replicação indiscriminada deste modelo levou à criação do edifício "estufa", em que toda sua envoltória era composta por cortinas de vidro, desconsiderando as condições climáticas locais (Lamberts, R., Dutra, L., Pereira 1997).

Em função desse novo modelo arquitetônico internacional para edificações comerciais que também foi adotado pelo Brasil, e tendo ainda como agravante o clima tropical brasileiro, o uso contínuo de condicionamento de ar neste tipo de edificações é uma realidade no país. Diante deste fato, em grande parte do Brasil existe a necessidade de se minimizar o ganho solar nas edificações, com o objetivo de reduzir a carga térmica interna à edificação e conseqüentemente a parcela de consumo de ar condicionado. Deve-se considerar o clima e sua integração com a arquitetura desde o estudo inicial de projeto da edificação (A. F. Tzikopoulos, M. C. Karatza, J. A. Paravantis 2005).

Neste trabalho, a modelagem computacional de um edifício típico de escritórios, já existente, foi realizada utilizando uma ferramenta de simulação computacional -o programa VisualDOE - 2.61. Através das simulações foi possível diagnosticar e avaliar o desempenho energético da edificação em função das hipotéticas alterações da sua envoltória relacionadas às condições climáticas locais. Com o uso desta ferramenta foi possível experimentar várias alternativas arquitetônicas, fundamental para a realização de um estudo como este.

Este trabalho tem como objetivo fornecer informações técnicas para arquitetos, engenheiros e demais profissionais envolvidos em projetos de edifícios comerciais e de serviços, especialmente durante a sua fase inicial. É importante ressaltar que, o ganho energético quando o estudo ainda é realizado em fase de projeto é bastante superior pois as possibilidades de alterações ficam mais restritas depois de concluída a construção da edificação. Soluções tais como alteração de orientação e algumas soluções bioclimáticas não poderão mais ser adotadas.

### 2.0 - METODOLOGIA

A ferramenta computacional utilizada nesse trabalho foi o programa VisualDOE 2.61, através do qual foi possível gerar o modelo de uma edificação comercial existente e simular modificações arquitetônicas baseadas nesse modelo.

Inicialmente foram realizadas visitas à edificação para a coleta de dados - plantas com os projetos arquitetônico e complementares, entrevista com os profissionais de manutenção e administração da edificação, medições e observações no local, etc., que em seguida foram trabalhados e organizados e, por fim, inseridos no programa de simulação.

Dentre os dados necessários à criação do modelo da edificação é importante se conhecer:

- As condições climáticas locais;
- as características geométricas da edificação;
- a orientação geográfica da edificação e os elementos externos existentes de sombreamento: árvores, outras edificações, brises, etc;

- os materiais empregados na envoltória assim como suas características térmicas;
- as características do sistema de ar condicionado, assim como locais condicionados e os não condicionados, além dos períodos de utilização deste sistema em cada ambiente;
- as características do sistema de iluminação; a potência instalada, a forma de utilização e distribuição;
- o uso a que se destina a edificação, forma de ocupação e período de permanência nos ambientes;

O VisualDOE utiliza um arquivo próprio de dados climáticos. horários anuais que são, geralmente, obtidos a partir de dados de aeroportos locais tratados estatisticamente. Neste trabalho o arquivo de dados utilizado foi em formato TRY - do inglês, Test Reference Year, se refere a um ano climático completo e real selecionado dentre 10 anos climáticos disponíveis como sendo aquele com os dados melhor distribuídos, sem extremos em termos de máximas e mínimas. Informações relativas ao ar exterior da edificação são caracterizadas através de dados horários de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, pressão atmosférica, entalpia, densidade, umidade, direção e velocidade do vento, radiação direta normal e no plano horizontal, índices de nebulosidade do ar, tipo de nuvem, ocorrência de chuva e de neve. [http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/arquivos\\_climaticos\\_2005](http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/arquivos_climaticos_2005).

Após a criação do modelo, a calibração é realizada tendo como base algumas medições realizadas na edificação existente e na observação das contas de energia elétrica obtidas junto à administração. Neste trabalho, já de posse do modelo calibrado, algumas simulações iniciais foram realizadas somente para avaliar a sensibilidade da edificação quanto a alterações do envelope especificamente relacionadas às fachadas e a cobertura.

Após a análise inicial já descrita, foram simuladas diversas situações, tais como, troca de vidros, utilização de proteções externas, troca da cortina de vidro por alvenaria com janelas, etc, avaliando-se então o comportamento energético da edificação, objetivo deste trabalho.

### 3.0 - SIMULAÇÃO

#### 3.1 Descrição da edificação simulada

A simulação foi realizada em prédio comercial de serviços, com climatização artificial permanente, em condomínio comercial na Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro, na latitude 22°49'S, 43°15' clima tropical, com temperaturas médias variando de 21,1 °C a 27,3 °C. A fachada frontal tem a orientação de 5° em relação ao norte geográfico no sentido leste, correspondendo ao azimute de 175°. As fachadas possuem panos de vidros laminados refletidos na cor verde, com alguma proteção externa devido ao sombreamento das árvores existentes e de uma edificação vizinha (figura 1). Há no interior de cada bloco da edificação um átrio central descoberto onde se localiza uma das escadas.

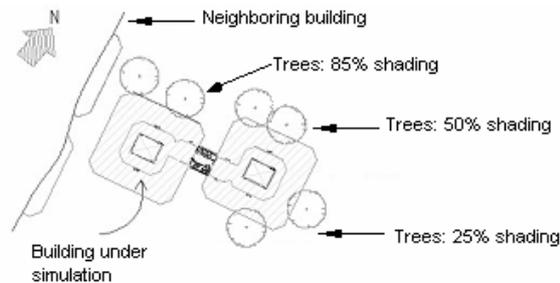


FIGURA 1 – Planta baixa do edifício simulado com sombreamentos existentes

A edificação possui altura relativamente baixa, em torno de 15m, com 5 andares, altura de piso a piso 2,90m e área total construída de 6.627m<sup>2</sup> (figura 1). Seu horário de funcionamento é o padrão para edificações comerciais de serviço: segunda a sexta de 8h às 17h.



FIGURA 2 – Vista externa das fachadas

A edificação possui climatização artificial permanente, cujo principal sistema de condicionamento de ar é composto por *fancoils* providos por uma central de água gelada compartilhada pelo condomínio, com o horário de funcionamento descrito anteriormente. Como o Centro de Processamento de Dados - CPD - opera 24 horas por dia, é empregado mais um *self-contained* com condensação a ar. Observa-se que o sistema de condicionamento de ar representa uma parcela significativa do consumo total de energia elétrica da edificação: aproximadamente 63%.

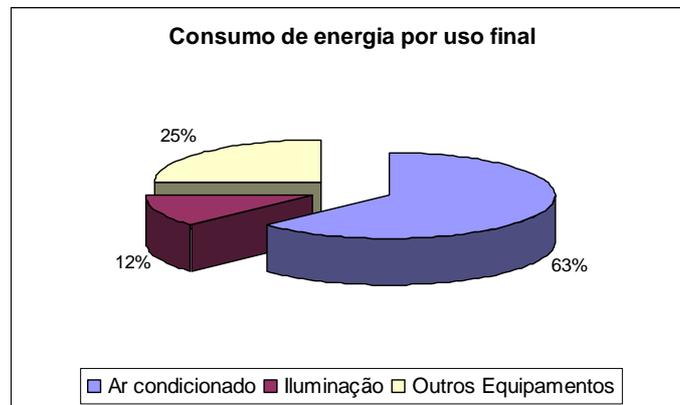


FIGURA 3 – Distribuição do consumo de energia por uso final

### 3.2 Estudo de casos

A partir do caso modelo foram realizadas simulações com o intuito de identificar a sensibilidade da edificação estudada quanto a alterações de fachada e de cobertura.

#### 3.2.1 Alterações de cobertura no edifício existente (tabela 1)

Foram realizadas duas simulações substituindo o piso da cobertura. O terraço da cobertura está exposto à radiação solar direta, pois originalmente não possui nenhum tipo de proteção. Ocupa todo o perímetro da cobertura, com largura de 5,40m e 6,00m. O piso existente é composto de contrapiso de 5cm revestido com cerâmica antiderrapante, laje estrutural de concreto armado com 10cm cor clara e internamente teto com *plenum* para retorno do ar condicionado.

Uma das modificações propostas acrescenta em sua composição, uma placa de isopor acima e uma abaixo da laje, com argamassa de cimento de 2cm em ambos os lados e a outra consistiu na substituição do piso pela cobertura naturada.

Já no telhado, optou-se por substituir o telhado existente de telha sanduíche de alumínio preenchido internamente com poliuretano expandido pela cobertura naturada.

TABELA 1 - Resultados das alternativas de coberturas simuladas no VisualDOE

Caso Base		
Alternativas	Redução/Acréscimo	
	% Ar Cond.	% Total
Inclusão de duas placas de isopor na laje de piso de cobertura	-0,87%	-0,54%
Substituição do piso da cobertura por cobertura naturada	-0,83%	-0,51%
Colocação de pérgulas de 2,5m no terraço da cobertura	-4,27%	-2,65%
Colocação de pérgulas de 4m no terraço da cobertura	-6,40%	-3,98%
Substituição da telha do telhado da cobertura por cobertura naturada	-0,01%	0,00%
Proteção externa com toldo horizontal dos prismas centrais	-3,59%	-2,23%

### 3.2.2 Alterações de fachada no edifício existente (tabela 2)

Optou-se por fazer duas simulações com sombreamentos externos, são elas: a inclusão de árvores para sombreamento das fachadas nordeste e noroeste, que foram escolhidas por apresentarem grande incidência solar direta e por serem pouco protegidas por árvores ou edificações vizinhas; uso de brises com fator solar de 0,14 em todas as fachadas.

Mais três simulações foram realizadas substituindo o pano de vidro existente por diferentes tipos de vidros tendo como objetivo comparar as economias geradas em função das características térmicas dos mesmos. Desta forma, simulou-se a substituição do vidro existente pelos vidros laminados de 6mm transparente e verde e por vidro transparente duplo, cujas características técnicas estão descritas na tabela 3.

TABELA 2 - Indica as alternativas de fachadas simuladas no VisualDOE bem como seus resultados

CASO BASE		
Alternativas	Redução/Acréscimo	
	% Ar Cond.	% Total
Proteção das fachadas nordeste e noroeste por árvores	-2.97%	-1.85%
Utilização de brises em todas as fachadas	-3.92%	-2.42%
Utilização de brises nas fachadas mais ensoladas (NO e NE)	-6.35%	-3.93%
Substituição do vidro existente por vidro laminado transparente de 6mm	18.97%	11.79%
Substituição do vidro existente por vidro laminado verde de 6mm	13.96%	8.68%
Substituição do vidro existente por vidro duplo	-2.49%	-1.55%
Substituição do pano de vidro por alvenaria c/ 40% do vidro existente	-4.99%	-3.10%
Substituição do pano de vidro por alvenaria c/ 40% de vidro laminado transparente de 6mm	3.26%	2.03%
Substituição do pano de vidro por alvenaria c/ 40% de vidro laminado verde de 6mm	0.21%	0.13%

TABELA 3 - Dados Técnicos dos vidros simulados

Vidro	Coefficiente de Sombreamento	Transmissão Luminosa	Transmitância Térmica (Ufactor-W/m²)
Vidro incolor de 6mm	0,95	0,881	6,17
Vidro verde de 6mm	0,71	0,749	6,17
Vidro incolor SS08 (base case) de 6mm	0,23	0,08	4,9
Vidro incolor duplo SS08 6mm+ar+6mm	0,15	0,073	2,26

#### 4.0 - DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observando-se as tabelas 1 e 2 é possível identificar que o consumo da edificação sofre mais influência quanto às alterações de fachada

##### 4.1 Soluções de cobertura (Tabela 1):

Quando se simula a inclusão de placas de isopor na laje de piso da cobertura ou a substituição do piso por laje com cobertura naturada a redução é de apenas 0,54% e 0,51%, respectivamente, do consumo de energia elétrica total da edificação. Tal situação se explica pois além do piso ser claro (absortividade baixa – 40%) e possuir algum sombreamento gerado pela própria cobertura, reduzindo o calor que chega à superfície do piso, o ambiente condicionado existente abaixo possui rebaixo em gesso, ou seja, ainda possui uma baixa transmitância térmica. Assim, soluções que gerem redução de transmitância térmica neste local tendem a não apresentar tão bons resultados.

Porém soluções de sombreamento, já apresentam melhores resultados: Simulações utilizando-se pergolado no terraço da cobertura apresentaram reduções de 2,65% e 3,98% no consumo de energia elétrica total da edificação, para pérgulas de 2,5m e 4m respectivamente. Os resultados obtidos são mais expressivos pois nestes casos há redução da radiação solar direta que atinge o terraço da cobertura. Vale ressaltar que não permitir que a radiação chegue ao fechamento (opaco ou transparente) é muito mais eficiente, uma vez que inicialmente a superfície externa recebe calor por convecção e radiação, quando ocorre então incremento de temperatura na superfície (ou seja, ideal é evitar esse aumento de temperatura) e em uma segunda fase por condução, inicia-se o fluxo de calor, pelo qual só nesse momento o aumento da resistência térmica do fechamento reduz a entrada de calor no interior da edificação.

Outra alternativa testada foi a substituição da telha da cobertura por cobertura naturada, cuja redução foi insignificante. Tal fato pode ser explicado pois o telhado existente de telha sanduíche de alumínio preenchido internamente com poliuretano expandido permite bom isolamento logo outra boa solução como a cobertura naturada obteve resultado quase que semelhante.

Naturalmente, além da capacidade térmica, a cobertura vegetal tem vários outros aspectos positivos associadas a sua fabricação e uso, pode-se destacar entre outros: melhora na estética da edificação, fator diretamente relacionado ao conforto do usuário; diminuição de problemas acústicos; melhoria no microclima local; não utiliza materiais energointensivos em sua fabricação.

##### 4.2 Soluções de fachada (Tabela 2):

Ao simular árvores sombreando principalmente as fachadas NE e NO, obteve-se redução de 1,85% do consumo de energia elétrica total da edificação, mais uma vez apresentando a importância do sombreamento exterior da envoltória. Observa-se que esta solução é possível uma vez que a edificação em estudo não ultrapassa 15m.

Já a inclusão de *brises* nas fachadas é possível tanto em prédios baixos como altos. No edifício estudado, *brises* com fator solar de 0,14 (somente 14% da radiação solar direta que incide no *brise* o transpassa e atinge o fechamento) permite uma redução de 2,42% e 3,93% do consumo de energia elétrica total da edificação quando utilizadas em todas as fachadas e somente nas fachadas noroeste e nordeste, respectivamente. Na prática esse *brise* poderá ser horizontal ou vertical, porém dimensionado para o atendimento do fator solar especificado assim como também é possível utilizar uma estrutura metálica com tecido absorvente no fator solar solicitado.

Um conjunto de simulações foi realizado com o objetivo de avaliar o impacto causado pela escolha do vidro, assim como de maior ou menor área envidraçada. Inicialmente manteve-se o pano de vidro e o vidro existente foi substituído por outros três tipos de vidro, obtendo-se os seguintes resultados: acréscimo de 11,79% e 8,68% do consumo de energia elétrica total da edificação com o uso de vidros transparentes de 6mm e vidros verdes de 6mm, respectivamente, e redução de 1,55% do consumo de energia elétrica total da edificação com o uso de vidros duplos semelhantes ao existente. A interpretação de tais resultados está embasada nas características térmicas de cada um dos vidros, apresentadas na tabela 2.

Assim, ao substituir o vidro existente por um vidro transparente ou verde de mesma espessura, há acréscimo bastante significativo no consumo da edificação.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Analisando os resultados apresentados nas simulações pode-se mais uma vez ressaltar a importância de sombrear, ou seja, evitar que a radiação solar direta atinja a envoltória da edificação. Deve-se portanto desenvolver soluções que minimizem os efeitos da radiação solar, seja, através do sombreamento, baixa transmitância térmica ou qualquer outra opção que tenha este objetivo.

Conclui-se a importância de escolha de um vidro adequado, principalmente em edificações que possuam pano de vidro, onde a área envidraçada é muito extensa, pois o impacto no consumo de energia elétrica total é bastante elevado. Deve-se evitar o efeito estufa, impedindo que a radiação solar direta incida sobre o vidro.

É importante lembrar que os melhores resultados certamente encontram-se na fase inicial de projeto, onde a forma de expressão na arquitetura é definida, uma vez que neste momento elementos de sombreamento poderão ser inseridos de forma harmoniosa resultando em um melhor desempenho energético da edificação.

Sugere-se que sejam desenvolvidos trabalhos sobre aplicação de vegetação na arquitetura. Principalmente aqueles visando a obtenção de uma análise quantitativa relativa a dados de reflexão e absorção da radiação solar pelos materiais de construção quando empregada vegetação em suas superfícies externas.

REFERÊNCIA(1) [http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/arquivos\\_climaticos\\_2005](http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/arquivos_climaticos_2005)

(2) TZIKOPOULOS, A. F., KARATZA M. C., PARAVANTIS, J. A. - Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings, Energy and Buildings vol.37 529-544, 2005.

(3) LAMBERTS R., DUTRA, L., PEREIRA, F.- “Eficiência Energética na Arquitetura” PROCEL -ELETROBRAS, São Paulo, 1997.

(4) La ROVERE E. L. - “Política Ambiental e Planejamento Energético,” Rio de Janeiro, UFRJ, COPPE, PPE, LIMA, 2002.

6.0 - (5) BEN - BALANÇO ENERGÉTICO BRASILEIRO. 2003. [HTTP://WWW S BIBLIOGRÁFICAS .mme.gov.br/site/search.do?query=benBalan%E7o+energetico+nacional](http://WWW.SBIBLIOGRÁFICAS.mme.gov.br/site/search.do?query=benBalan%E7o+energetico+nacional).

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

João Carlos Aguiar

Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 1959.

Mestrado (1996) em Engenharia Elétrica na COPPE UFRJ e Graduação (1982) em Engenharia Eletrônica - UFRJ - Rio de Janeiro - RJ

Empresa: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, desde 1986

Pesquisador do Departamento de Tecnologias Especiais - DTE

Alessandra Nogueira Vallim

Nascida no Rio de Janeiro, RJ em 1974.

Mestrado em andamento: PPE/COPPE, Graduação (1999) em Engenharia Civil: UFRJ

Empresa: FPLF - Fundação Padre Leonel Franca, desde 1997

Fernando de Souza Midão

Nascido no Rio de Janeiro, RJ em 1955

Graduação (1981) em Engenharia Civil: UGF

Empresa: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, desde 1979

Pesquisador do Departamento de Instalações e Equipamentos - DIE

Viviane Gomes Almeida

Nascida no Rio de Janeiro, RJ em 1971.

Mestrado (2001) e Graduação (1995) em Arquitetura e Urbanismo: UFRJ

Empresa: CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, desde 2005

Pesquisadora do Departamento de Tecnologias Especiais – DTE

Márcia M. Q. Carvalho

Nascida no Rio de Janeiro, RJ em 1966.

Doutorado em andamento no PPE/COPPE/UFRJ, Mestrado (2001) em Conforto Ambiental e Eficiência Energética na FAU/UFRJ e Graduação (1981) em Arquitetura e Urbanismo – FAUSS

Empresa: UFF - Universidade Federal Fluminense