

# Compromissos entre forma e função na geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas

Ricardo Rüther

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

&

Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina -  
IDEAL



# A REN 482/2012 da ANEEL

“Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.”

- Microgeração  $\leq$  100 kW conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras
  - Deve celebrar “Relacionamento Operacional” com a distribuidora
- Minigeração  $>$  100 kW e  $\leq$  1000 kW conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras
  - Deve celebrar “Acordo Operativo” com a distribuidora

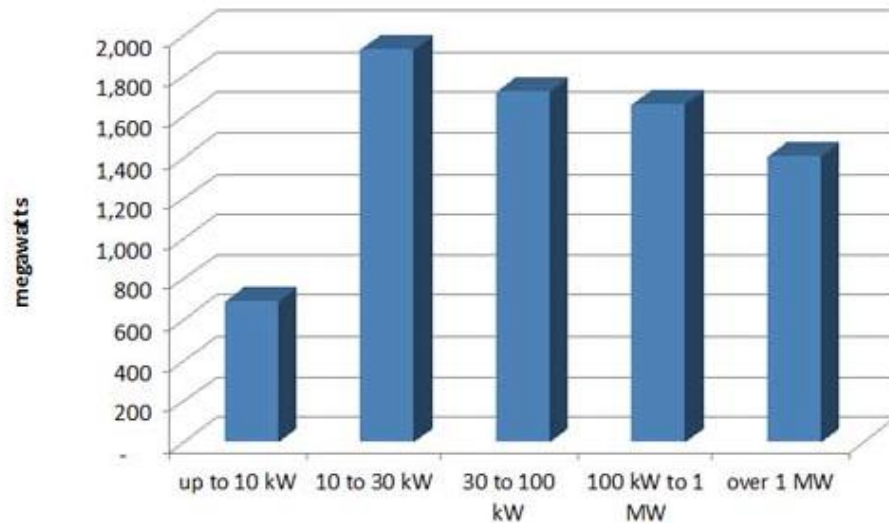
# A primeira etapa da utilização da geração solar fotovoltaica é a integração nas edificações

**A Alemanha já tem mais de 1 milhão de geradores fotovoltaicos distribuídos**

**A maioria deles (80%) é de pequeno porte ( $\leq 1$  MW)**

**A maioria deles está conectada na baixa tensão**

**German Solar PV Capacity Installed in 2010**



**German 2010 Solar PV Installations Size Range**

Size	Capacity MW	Systems	Capacity %
up to 10 kW	688	106,737	9%
10 to 30 kW	1,929	103,020	26%
30 to 100 kW	1,722	32,466	23%
100 kW to 1 MW	1,666	7,088	22%
over 1 MW	1,404	534	19%
<b>Total</b>	<b>7,408</b>	<b>249,845</b>	

# Integração arquitetônica

- Originalmente, módulos fotovoltaicos foram projetados apenas para gerar eletricidade
  - Não eram bem vindos nas edificações
    - Acrescentados na cobertura, sem cuidado estético
    - Custos duplicados: cobertura + módulos
- Em meados dos anos 90:
  - Utilização como elementos construtivos, em coberturas e fachadas

# Integração arquitetônica

- **BAPV** (Building-Applied Photovoltaics)

- Módulos FV instalados sobre a edificação, com características diferentes da edificação (orientação e inclinação)
- Retrofit
- Não substitui o material de vedação
- Coberturas

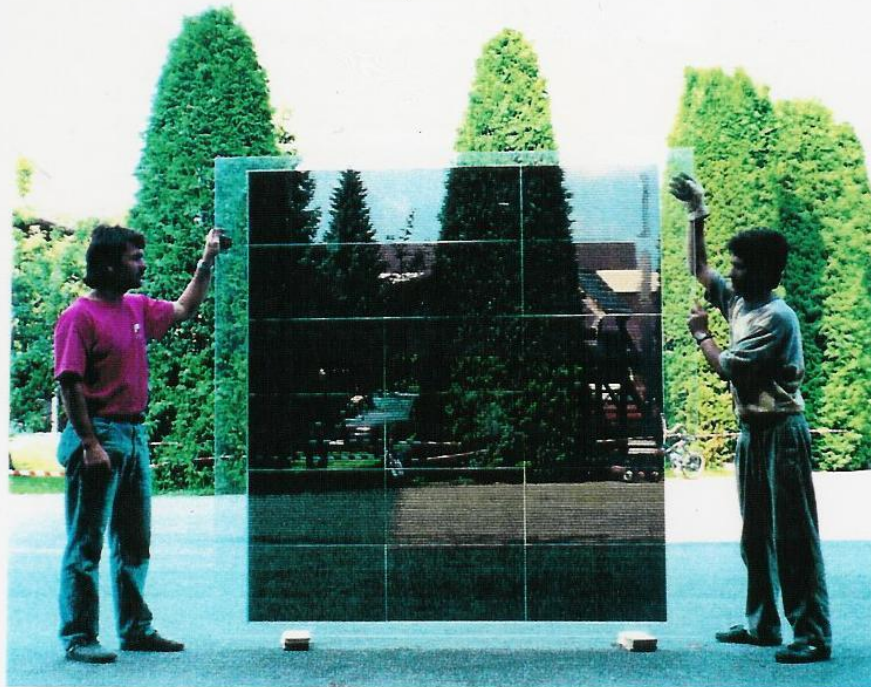
- **BIPV** (Building-Integrated Photovoltaics)

- Módulos FV instalados sobre a edificação, com as mesmas características da edificação (orientação e inclinação)
- Pode substituir o material de vedação
- Coberturas, fachadas, brises e pérgolas

**Arquitetos vetores da disseminação da tecnologia**







Semitransparent ASI®-Glas retains the original colours

ASI®-Glas is produced by Phototronics Solartechnik GmbH at Putzbrunn near Munich, a subsidiary of Deutsche Aerospace AG. Its development was subsidised by the German Federal Ministry for Research and Technology, the European Community, and the French energy authority AFME.





# BAPV em cobertura



# BAPV em cobertura



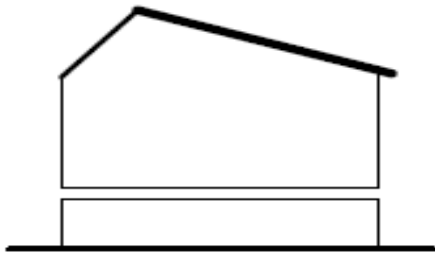
# BAPV em cobertura



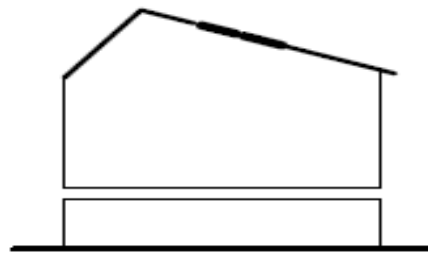
# BAPV em cobertura



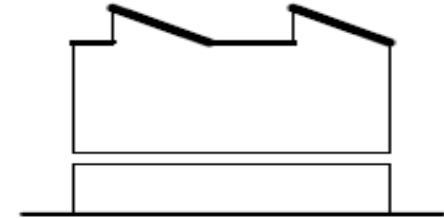
# Integração arquitetônica BIPV



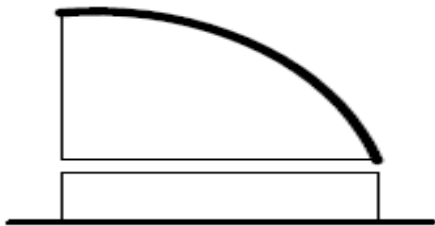
a) Integração no telhado



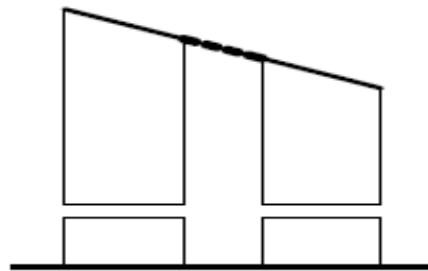
b) Sobreposição no telhado



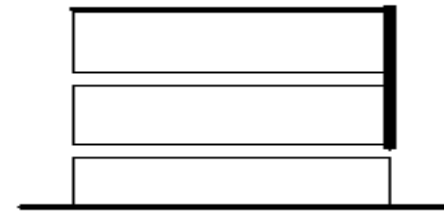
c) Aplicação em sheds



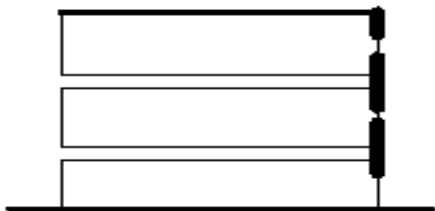
d) Parede/cobertura curva



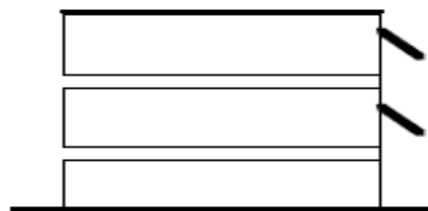
e) Átrio



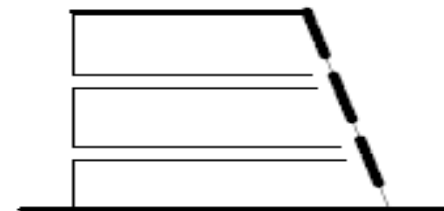
f) Fachada



g) Fachada com janelas



h) brises



i) Fachada inclinada com janelas



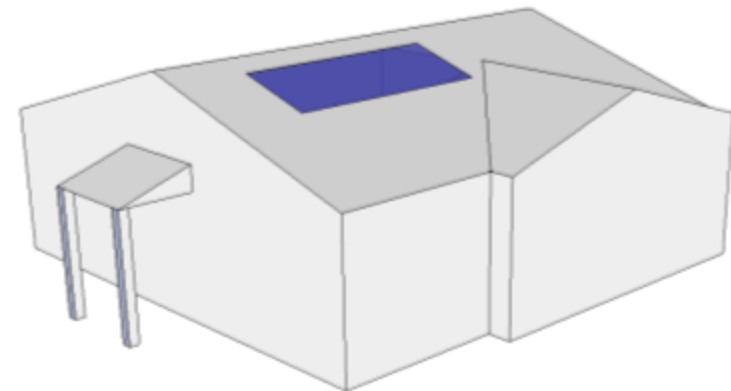
# Integração arquitetônica BIPV



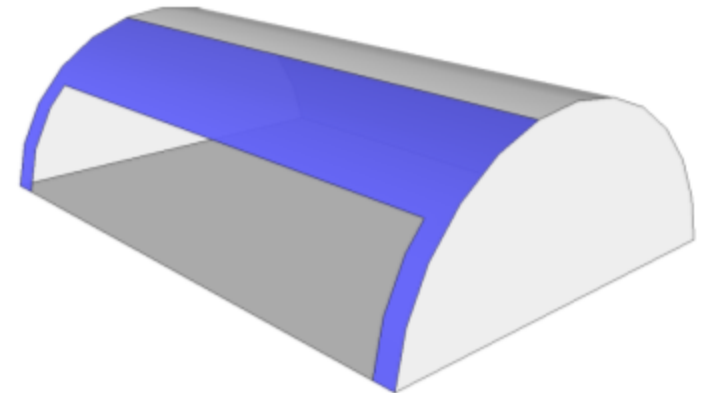
Forma x Função: Liberdade arquitetônica x máxima geração FV ?



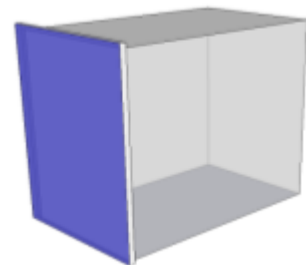
# Integração arquitetônica BIPV



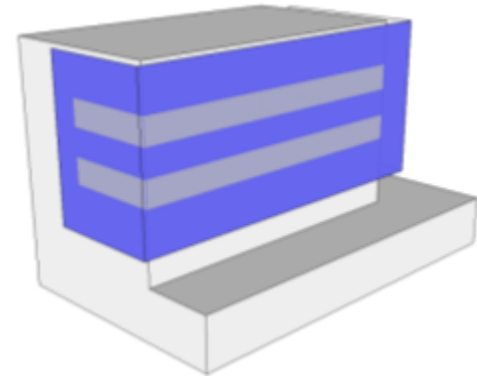
# Integração arquitetônica BIPV



# Integração arquitetônica BIPV



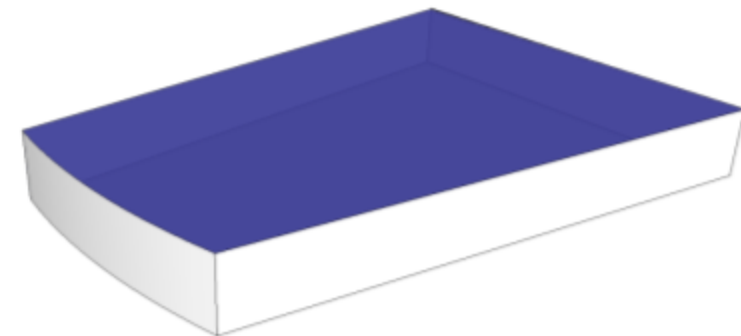
# Integração arquitetônica BIPV



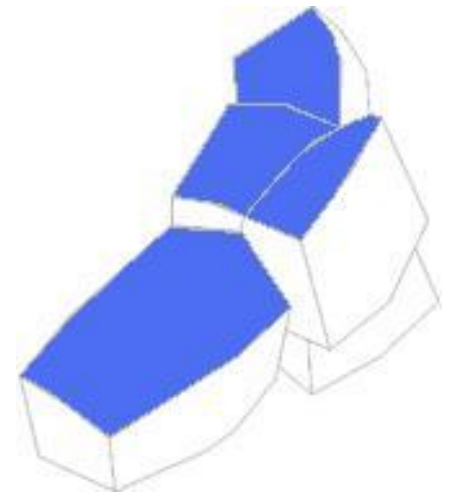
# Integração arquitetônica BIPV



Paolo VI Audience Hall  
Cidade do Vaticano



# Integração arquitetônica BIPV



Edifício Novartis Gehry – Basel, Suíça

# Integração arquitetônica BIPV



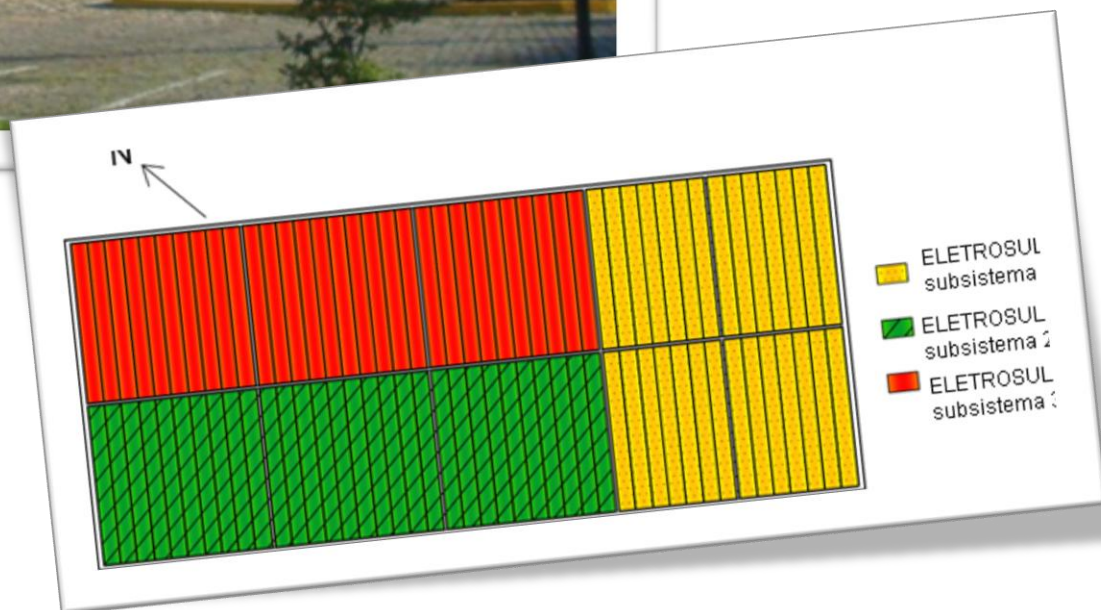
Arq. Rolf Disch projetou o bairro solar  
Vauban, **em Freiburg**, Alemanha.  
1/3 da energia é consumida  
2/3 da energia é vendida



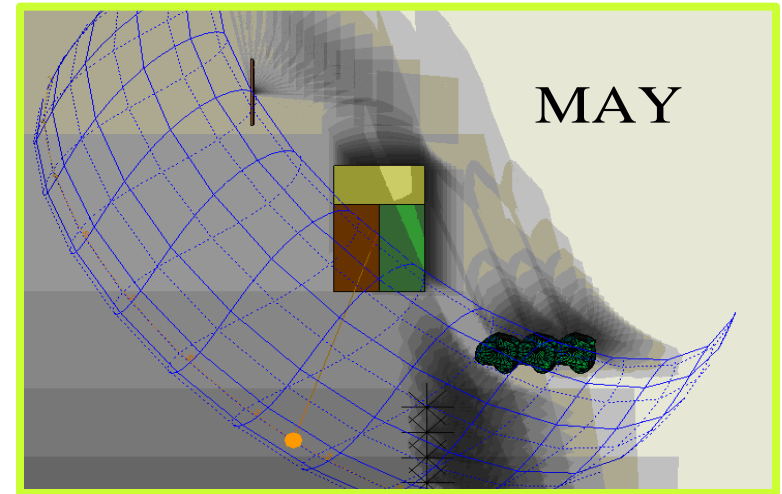
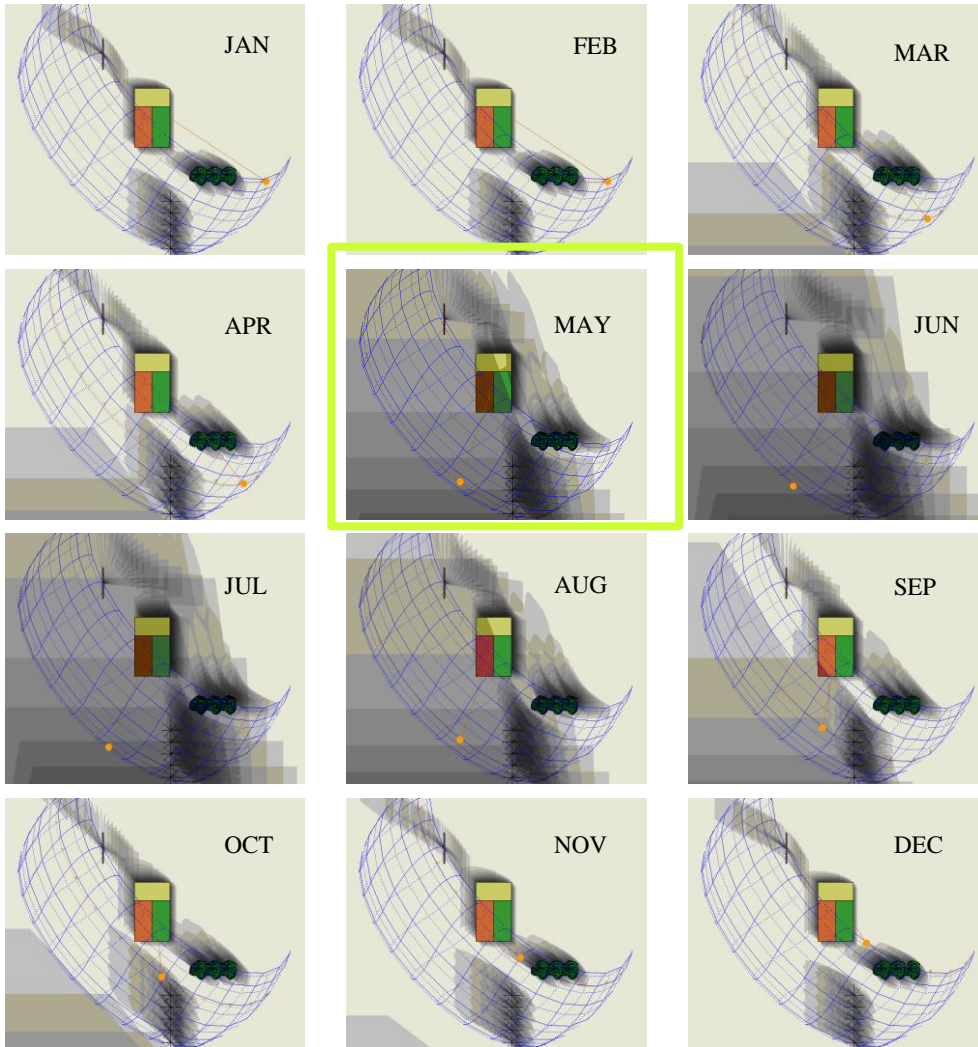
Efeitos da injeção de grandes blocos de energia solar fotovoltaica na rede urbana de distribuição



# Compromissos entre forma e função



# Compromissos entre forma e função



Análise de sombreamento de geradores fotovoltaicos

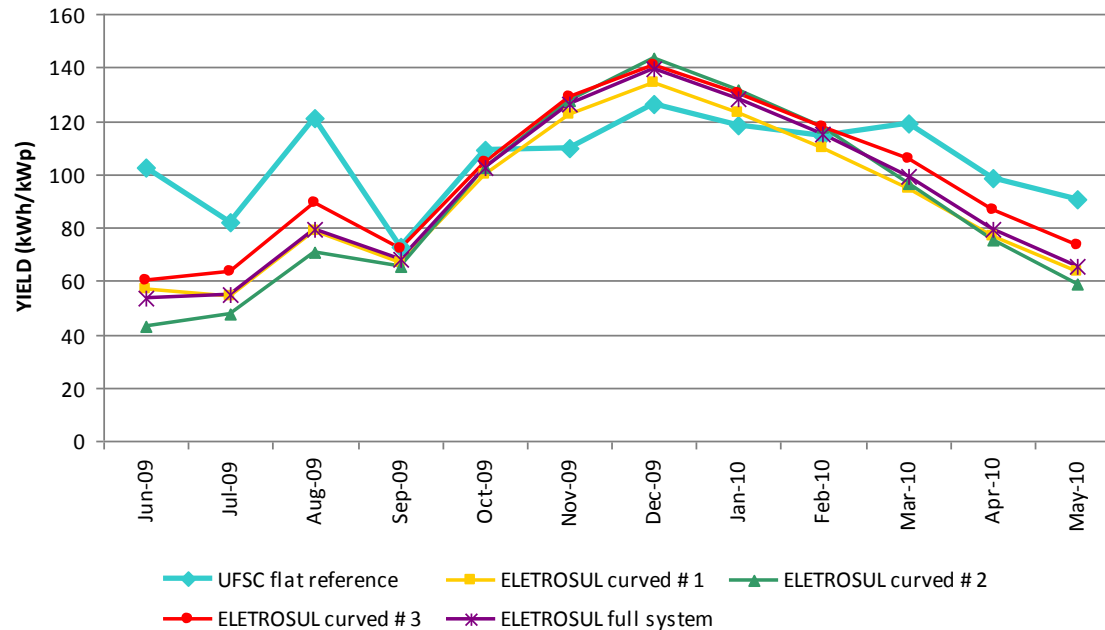
# Compromissos entre forma e função



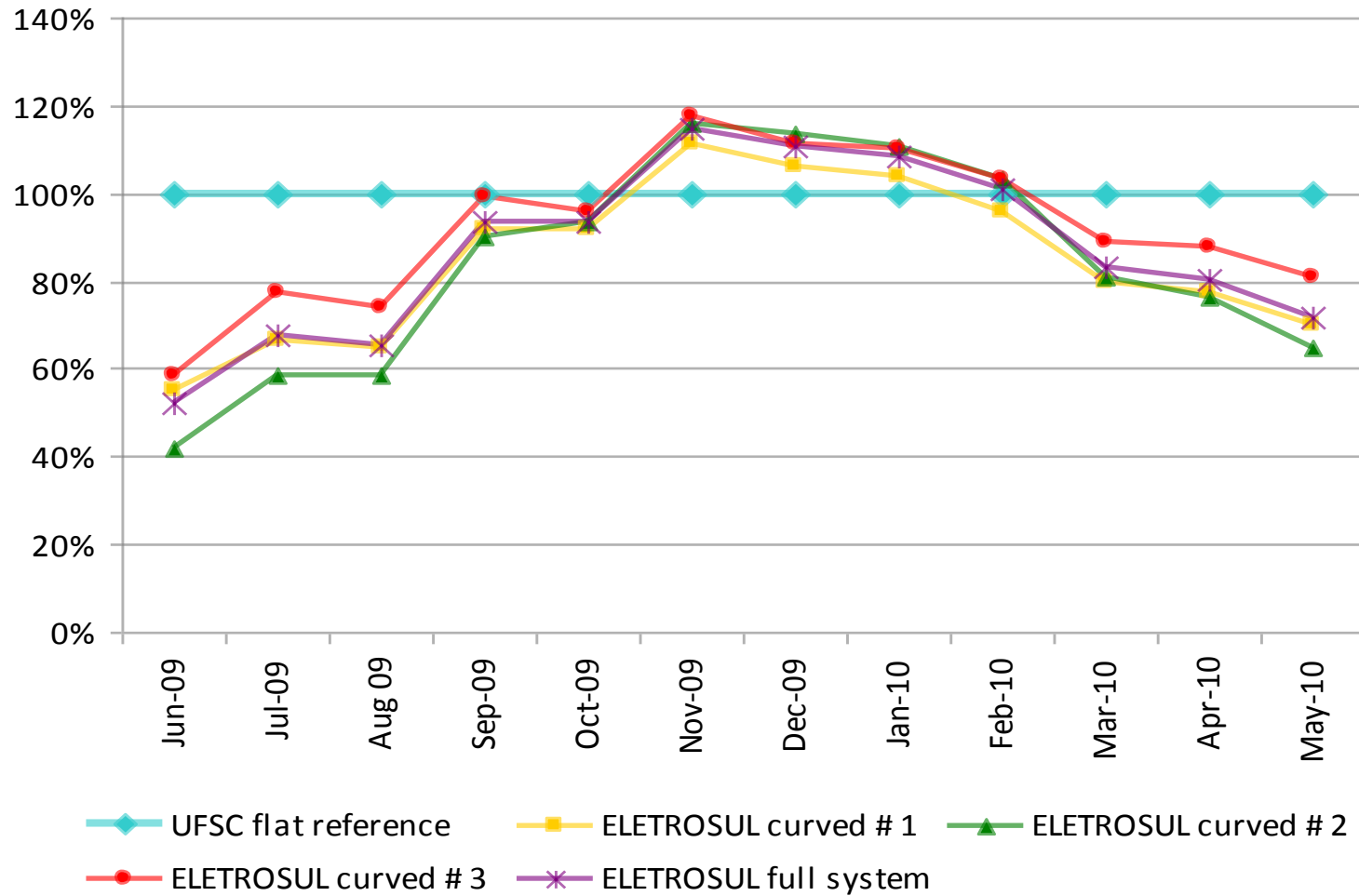
# Compromissos entre forma e função

Rendimento anual do gerador fotovoltaico (kWh/kWp)

	<b>UFSC flat reference</b>	<b>ELETROSUL curved # 1</b>	<b>ELETROSUL curved # 2</b>	<b>ELETROSUL curved # 3</b>	<b>ELETROSUL full system</b>
Yield (kWh/kWp)	1265	1080	1081	1173	1110
%	100	85	85	93	88



# Compromissos entre forma e função



# Ferramenta – BIPV Design

Como aliar liberdade arquitetônica x máxima geração

- Percepção do comprometimento da geração pelas escolhas arquitetônicas.
- Utilizações arquitetônicas satisfatórias a partir da predefinição da posição ótima dos módulos.



- Banco de dados de ábacos de irradiação das capitais brasileiras, possibilidades de integrações arquitetônicas existentes, módulos FV certificados pelo PROCEL

## Seja bem vindo!

O BIPVdesign foi elaborado para auxiliar no projeto de integração fotovoltaica à arquitetura. Este software poderá ser utilizado tanto para instalações em edificações existentes quanto em projetos de futuras edificações.

Com este software você poderá:

- Identificar o potencial de geração do sistema, considerando a cidade e posição de instalação;
- Decidir o local da edificação a ser utilizado para integração, analisando outros exemplares;
- Escolher o módulo fotovoltaico a ser utilizado de acordo com seu projeto;
- Quantificar a energia gerada, CO2 evitado, custos e balanço energético da edificação;
- Gerar relatório com todas informações.



# Área de trabalho

The screenshot displays the BIPV design software interface. At the top, the logo 'BIPV design' is visible. A navigation bar includes 'Início', 'Cadastramento', 'Projeto', and '(admin)'. Below this, a breadcrumb trail reads 'Página inicial » Meus Projetos » Novo'. A 'Meus Projetos' button is present. The main heading is 'Novo Projeto'. A horizontal tabbed interface shows the following steps: 'Início', 'Edificações', 'Área Disponível', 'Tipo de Placa', 'Estimativa de Geração', and 'Estimativa de Custos'. The 'Início' tab is active. A pink rounded rectangle highlights the 'Início' tab. Below the tabs, the form includes: 'Qual o nome do seu Projeto? \*' with an input field; 'Defina sua localização ou cidade mais próxima: \*' with a dropdown menu showing 'Selecione'; and 'Irradiação \*' with a dropdown menu showing 'Selecione' followed by a percentage sign. Blue arrows point from the 'Projeto' tab, the 'Meus Projetos' button, and the 'Início' tab to the corresponding bullet points on the right.

- Criar e armazenar projetos
- Projeto criado por passos representados por abas
- Resumo das etapas realizadas e informações gerais



# 1ª etapa

Início Edificações Área Disponível Tipo de Placa Estimativa de Geração Estimativa de Custos

Qual o nome do seu Projeto? \*

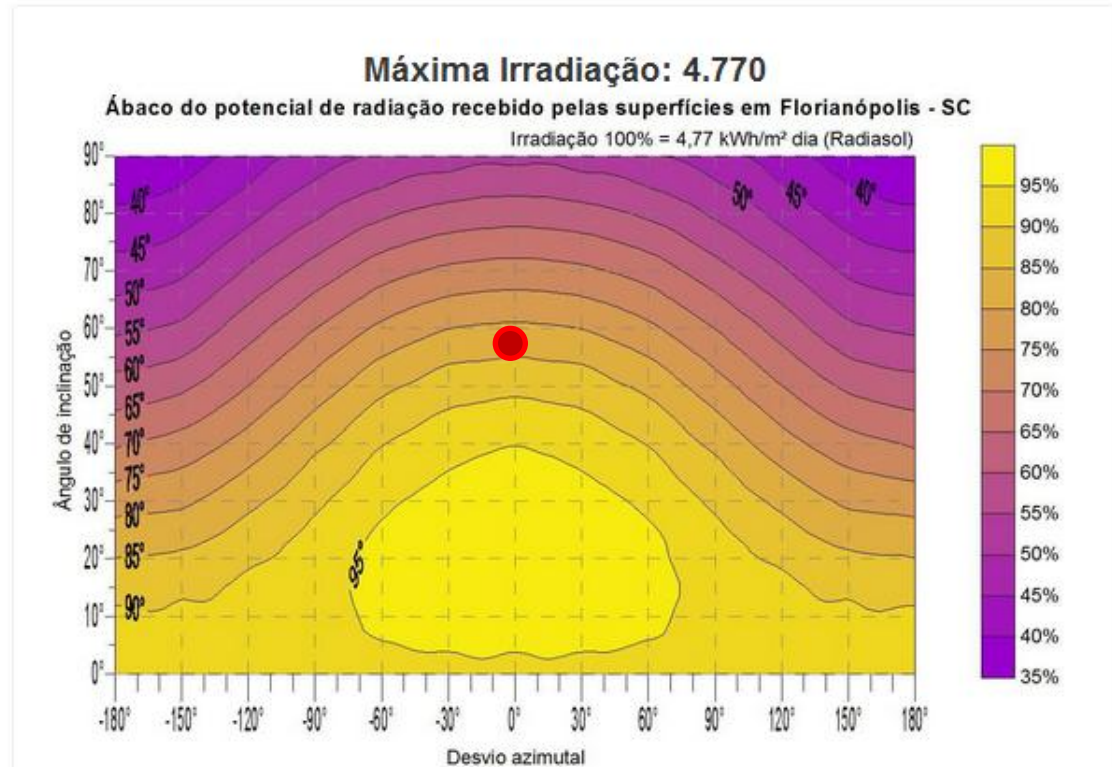
Teste

Defina sua localização ou cidade mais próxima: \*

Florianópolis

Irradiação \*

80 %

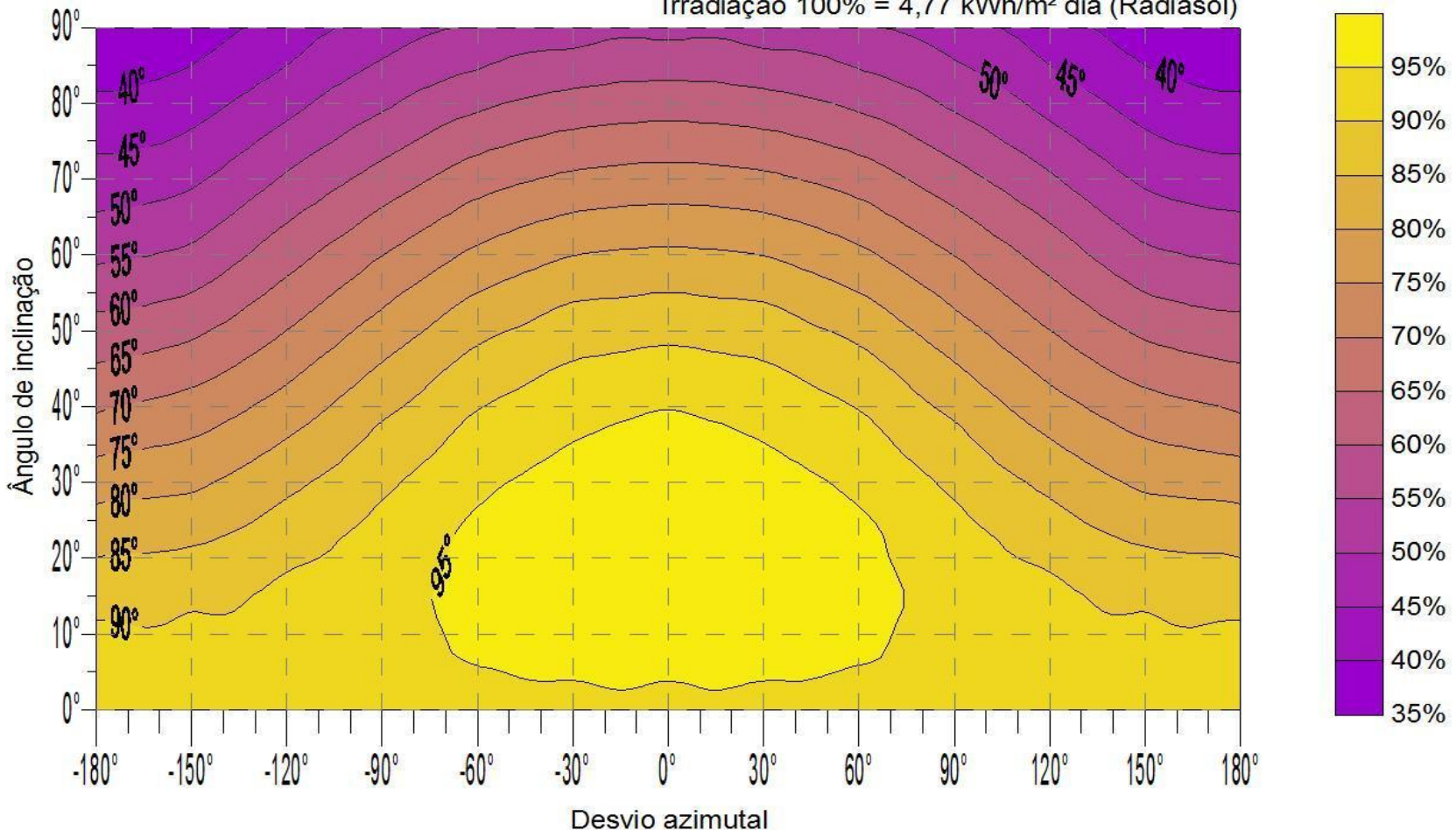


- Definição da cidade do projeto e análise do ábaco de posicionamento. Após análise, o projetista opta pela localização e indica o % de radiação que receberá na superfície

# Florianópolis

## Ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em Florianópolis - SC

Irradiação 100% = 4,77 kWh/m<sup>2</sup> dia (Radiasol)



- Inclinações até 20° permitem desvio azimutal de 60° a Leste ou Oeste.
- Mantendo azimute norte é possível inclinações até 40°

# 2ª etapa

Inicio Edificações Área Disponível Tipo de Planta Estimativa de Geração Estimativa de Custos

Fonte \*

www.bipv.ch  Todov

www.pvdatabase.org

Localização \*

Europa  Todov

Ásia

Oceania

África

América

Uso da edificação \*

Residencial  Todov

Comercial

Industrial

Serviços

Institucional

Tipo de integração \*

Nova edificação (BIPV)  Todov

Integração em telhado

Integração aplicada sobre edificação (SAPV)

Características arquitetônicas \*

Edificação histórica  Todov

Arquitetos experientes no meio arquitetônico

Edificações comerciais

115 resultado(s) no total.

Nome	Projetista	Foto	Visualizar	Adicionar
Erni House	Arquiteto Urs Felix Bislin			
Rakusa House	Arquiteto Massimo Collura			
Schmölzer House	Arquiteto Reto Miloni			
Kraftwerk	Grab Architekten			
Dauwalder House	Arquiteto Reto Miloni			
Schillerberg Sun Ships	Arquiteto Rolf Disch			
Sunny Woods	Arquiteto Beat Kämpfen			



Projetista: **Arquiteto Beat Kämpfen**

**Fonte:**

- www.bipv.ch

**Localização**

- Europa

**Uso da edificação**

- Residencial

**Tipo de integração**

- Nova edificação (BIPV)

- Busca em banco de dados de BIPVs existentes para análise das possibilidades construtivas da tecnologia e referenciais arquitetônicos. Seleção de exemplares para o relatório final

# 3ª etapa

## Novo Projeto

Início Edificações **Área Disponível** Tipo de Placa Estimativa de Geração Estimativa de Custos

Área Disponível \*

m<sup>2</sup>

Qual o nome do seu Projeto? \*

FV

Defina sua localização ou cidade mais próxima: \*

São Paulo

Irradiação \*

80 %

Cancelar

**Máxima Irradiação: 5.067**  
Ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em São Paulo - SP  
Irradiação 100% = 5,067 kWh/m<sup>2</sup> dia

Ângulo de inclinação (°)	-180°	-150°	-120°	-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°	90°
0°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
10°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
20°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
30°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
40°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
50°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
60°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
70°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
80°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
90°	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%

- Indicação da área disponível e definição final da posição de instalação dos módulos

# 4ª etapa

Início Edificações Área Disponível Tipo de Placa Estimativa de Geração Estimativa de Custos

Tecnologia \*  Todos

Silício multicristalino

Silício amorfo

Silício monocristalino

Silício policristalino

Potência nominal \*  
Em Wp

Comprimento \*  
maior dimensão em m

Largura \*  
menor dimensão em m

Área  
em kg

Visualização do substrato \*  Todos

Opaco

Enxameado

Enxameado

Estrutura do substrato \*  Todos

Rígido

29 resultado(s) no total.

Nome	Fabricante	Foto	Visualizar	Adicionar
AM-48KSM	Kyocera			
KD135GX-LFBS	Kyocera			
KD135GX-LPU	Kyocera			
KD135SX-UPU	Kyocera			
KD140GX-LFBS	Kyocera			
KD140GX-LPU	Kyocera			
KD210GX-LPU	Kyocera			
KD215GX-LFBS	Kyocera			
KD215GX-LPU	Kyocera			

Potência da Placa \*

220

Área da Placa \*

1.485

Número de Placas \*

53

Potência Instalada \*

11.660000

- Escolha do módulo fotovoltaico a ser utilizado (PROCEL). Seleção do módulo, cálculo da potência instalada.

# 5ª etapa

Início

Edificações

Área Disponível

Tipo de Placa

Estimativa de Geração

Estimativa de Custos

Rendimento do Sistema \*

0.80

Estimativa de Geração \*

1361231.3

CO2 Evitado \*

739799.62

- Estimativa de geração de acordo com o rendimento do sistema, potência instalada, posição de instalação e cidade do projeto.

# 6ª etapa

Início

Edificações

Área Disponível

Tipo de Placa

Estimativa de Geração

Estimativa de Custos

Custo Wp \*

US\$

Estimativa de Custo de Aquisição \*

Gasto Médio Mensal \*

R\$

Tarifa de Retorno \*

R\$/kWh

Balanço \*

- Previsão do custo de aquisição e balanço financeiro da instalação fotovoltaica x consumo energético

# Relatório final

- Discriminação de todas informações utilizadas / calculadas durante as etapas do software.
- Possibilidade de exportar em pdf e visualização em versão móvel.
- Projeto arquivado on-line que permite

Página inicial > Meus Projetos > Projeto Teste > Visualizar

[Novo Projeto](#) [Editar Projeto](#) [Exportar PDF](#) [Meus Projetos](#)

### Projeto Teste

Localização	Porto Alegre	Área Disponível	40,00 m <sup>2</sup>
Imediateza	60 %		

Área de potencial de radiação incidente sobre superfície em Porto Alegre - RS  
Inclinação: 100% x 10 (08 graus de declinação)



Placa: PVL-136

Potência da Placa: 136,00 Wp

Área da Placa: 2,16 m<sup>2</sup>

Número de Módulos: 14

Potência Instalada: 1,90 kWp

[Visualizar Placa](#)

Edificações relacionadas com o projeto:



Filtros utilizados na busca das edificações:

- Localização
- Uso da edificação
- Tipo de integração
- Características arquitetônicas
- Visualização da integração
- Local de integração
- Superfície de integração
- Visualização através da superfície
- Substrato do módulo PV
- Moldura do módulo PV
- Tecnologia do módulo
- Materiais construtivos da edificação

Filtros utilizados na busca das placas:

- Tecnologia
- Potência nominal
- Comprimento
- Visualização do substrato
- Estrutura do substrato
- Cor / tonalidade



# BIPV Design

- Auxílio na tomada de decisão na forma x função da instalação fotovoltaica
- Banco de dados de exemplares existentes (análise inicial com sugestões de modos de integração)
- Cálculos:
  - Estimativa de potência instalada / área necessária
  - Estimativa de geração considerando a posição e a localização
  - Estimativa de custos e balanço energético anual
  - Estimativas de valores ambientais (CO<sup>2</sup>)

Arquitetos interessados em participar da validação do software:  
favor enviar e-mail de cadastro para:

[isisporto@gmail.com](mailto:isisporto@gmail.com)

# Compromissos entre forma e função na geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas

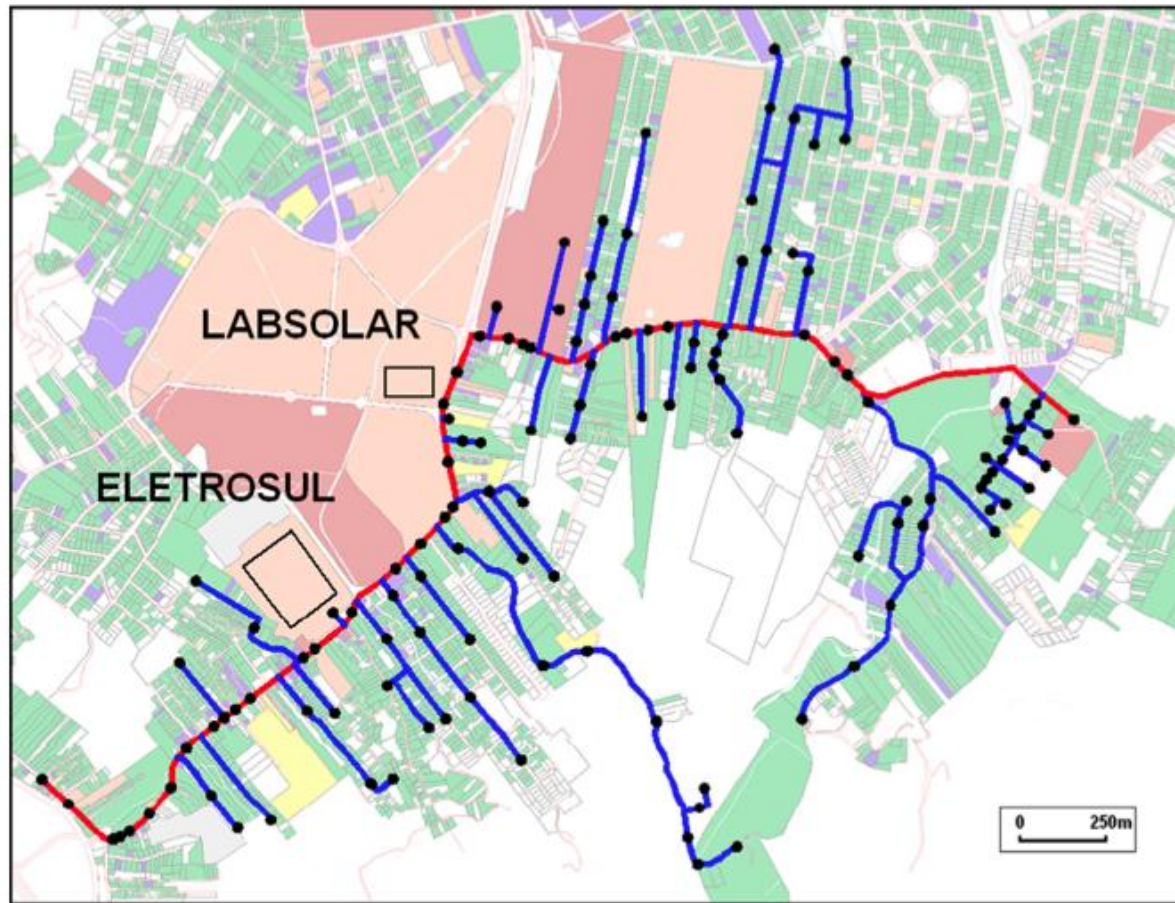
Ricardo Rüther

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

&

Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina -  
IDEAL

# Efeitos da injeção de grandes blocos de energia solar fotovoltaica na rede urbana de distribuição



**Fig. 1.** Layout of the distribution feeder TDE-07, which supplies the ELETROSUL building in Florianópolis, Brazil (27°S, 48°W), showing the main (red) line, a number of ramification nodes (blue) and transformers (dark dots). The BIPV solar generator from which the performance data used in this work was obtained is in close proximity, operating at the LABSOLAR building at Universidade Federal de Santa Catarina since 1997. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

# Efeitos da injeção de grandes blocos de energia solar fotovoltaica na rede urbana de distribuição

2460

P. Braun, R. Rüther/*Energy Conversion and Management* 51 (2010) 2457–2466

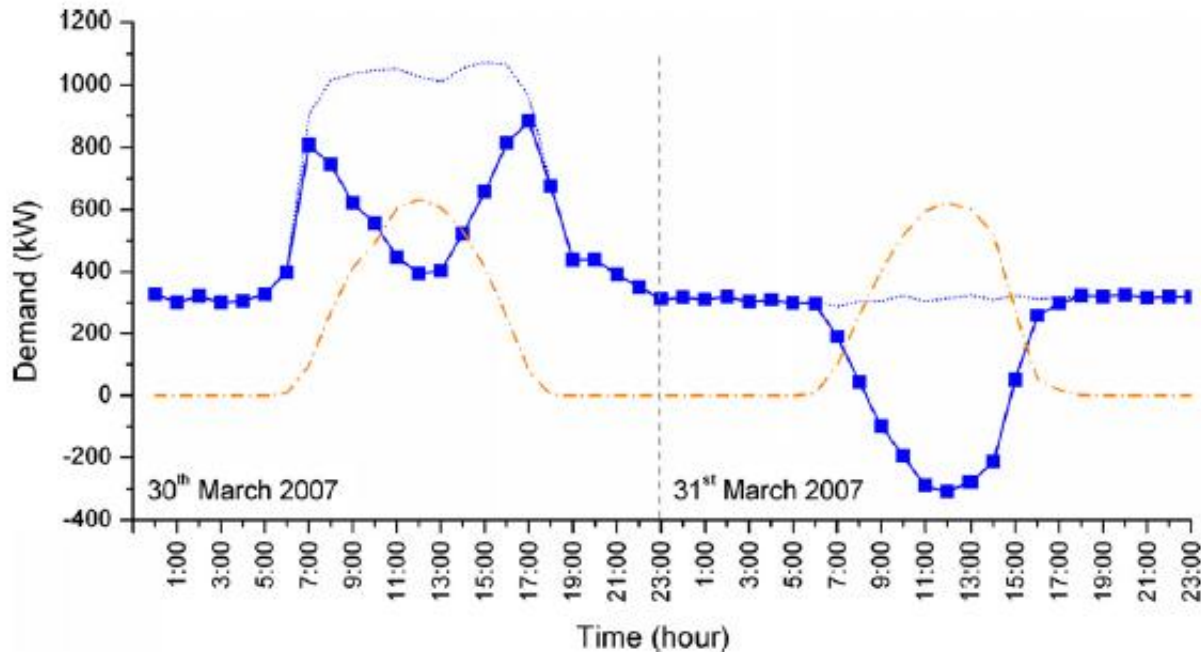
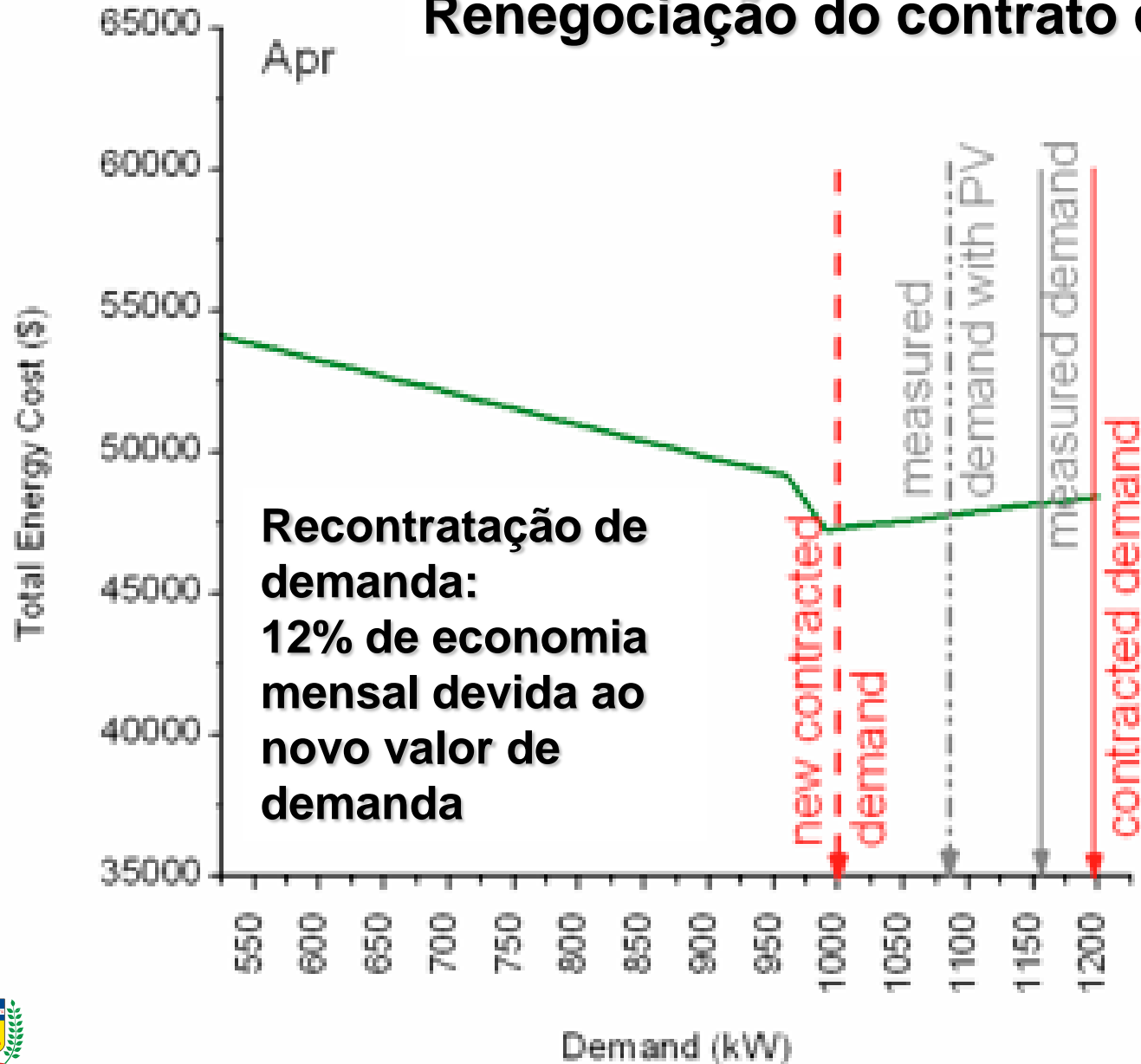


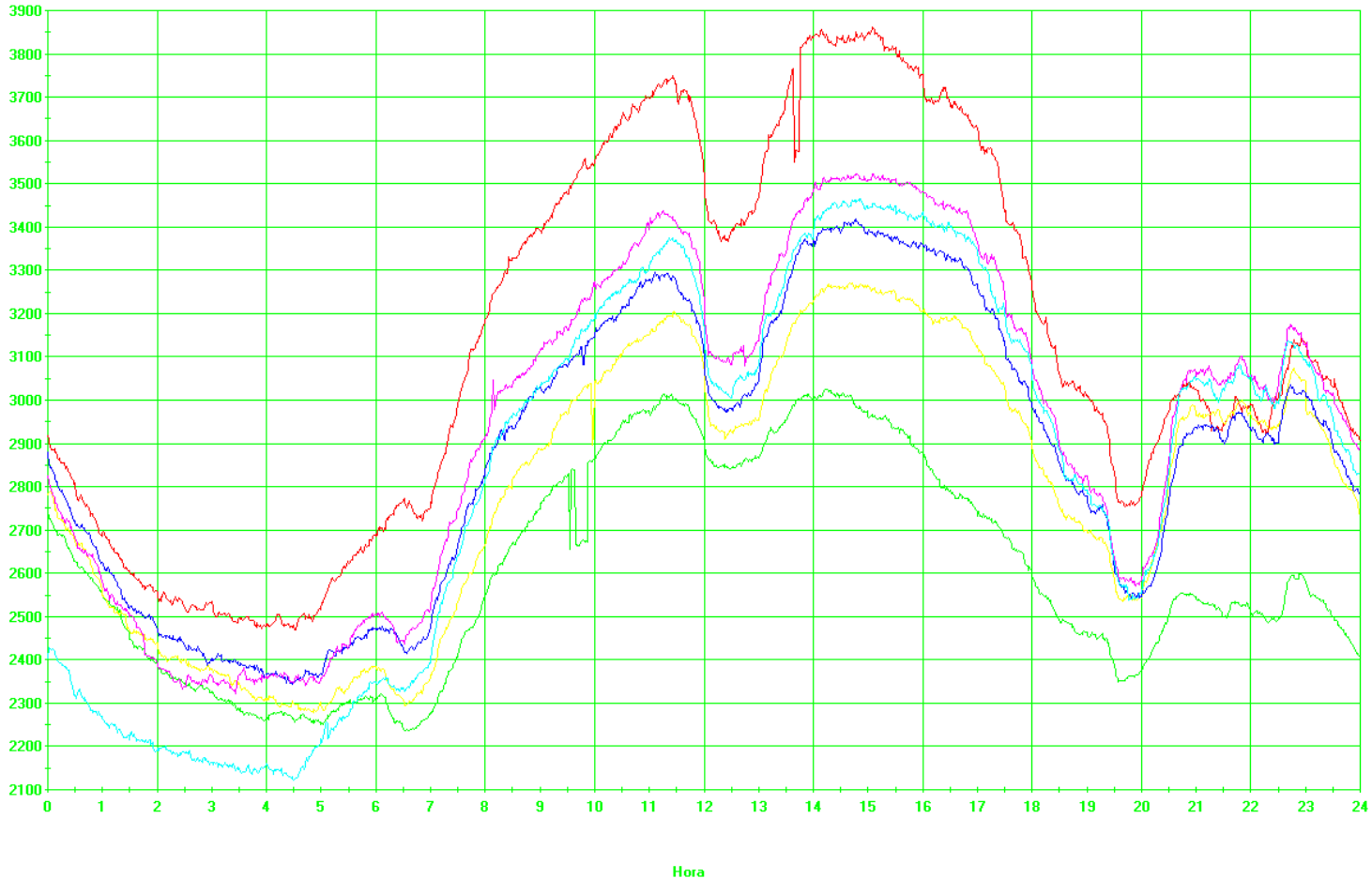
Fig. 2. Effect of the solar contribution to the ELETROSUL's building load curve with typical examples of a sunny workday and a sunny weekend day. The light-blue dotted line shows the real building's load curve on 30th and 31st March 2007, typical late summer, consecutive sunny days in Florianópolis; the orange dashed line shows the 1 MWp solar generator output on those same sunny days; and the blue squares line represents the resulting load curve, as seen by the distribution utility feeder.

# Benefícios para o operador da edificação Renegociação do contrato de demanda



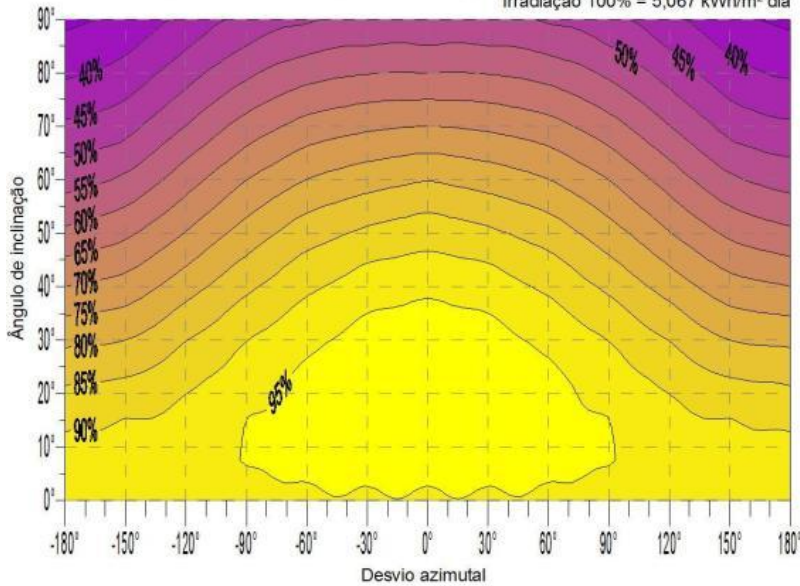
# Maximização dos benefícios da geração fotovoltaica

— 24/01/2012 - (PI) ESTD\_SC\$TOT\$CARGA\_SC\_CALC\$MW - VALUE  
— 23/12/2011 - (PI) ESTD\_SC\$TOT\$CARGA\_SC\_CALC\$MW - VALUE  
— 22/12/2011 - (PI) ESTD\_SC\$TOT\$CARGA\_SC\_CALC\$MW - VALUE  
— 21/12/2011 - (PI) ESTD\_SC\$TOT\$CARGA\_SC\_CALC\$MW - VALUE  
— 20/12/2011 - (PI) ESTD\_SC\$TOT\$CARGA\_SC\_CALC\$MW - VALUE  
— 19/12/2011 - (PI) ESTD\_SC\$TOT\$CARGA\_SC\_CALC\$MW - VALUE

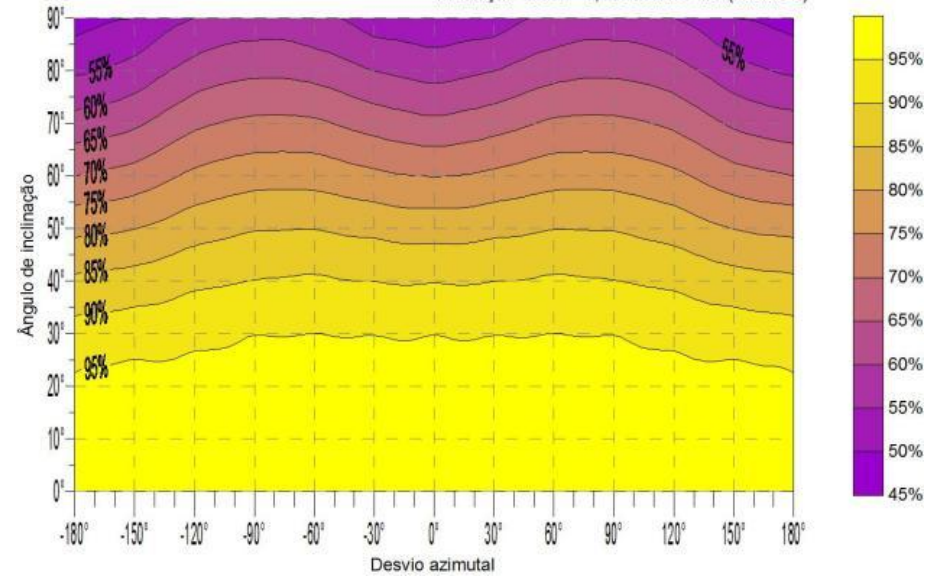


# Sensibilidade a variações de azimute e inclinação

**Âbaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em São Paulo - SP**  
Irradiação 100% = 5,067 kWh/m<sup>2</sup> dia



**Âbaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies em Belém - PA**  
Irradiação 100% = 5,466 kWh/m<sup>2</sup> dia (Radasol)



# Solar Decathlon Europe 2012



<http://monitoring.sdeurope.org/>



What is SDE? Competition Villa Solar News Downloads Multimedia Virtual SDE Press Previous Editions Volunteers blog



Teams SDE2012 10 Contests Rules Juries 2012 Monitoring FAQ

## Monitoring



### SCORINGS

- 1 - Architecture
- 2 - Engineering & Construction
- 3 - Energy Efficiency
- 4 - Electrical Energy Balance
- 5 - Comfort Conditions
- 6 - House Functioning
- 7 - Communication and Social Awareness
- 8 - Industrialization & Market Viability
- 9 - Innovation
- 10 - Sustainability
- Total Scoring (Accumulated)
- Total Scoring (Historical)

### COMPARE

- Power (W)
- Rooms Temp (°C)
- Humidity (%)
- Air Quality (ppm)
- Lighting (lux)
- Fridge/Freezer Temp (°C)
- Dishwasher/Washing Machine Temp (°C)
- Oven temperature (°C)
- Home Electronics Consumption (W)



# Solar Decathlon Europe 2012

Monitoring > Ekó House





Rank	Abbreviation	Team	Country	House	Score
1	TRA	Rhone-Alpes		Canopea	354.93
2	ROME	Med in Italy		Med in Italy	338.15
3	AND	Andalucia Team		Patio 2.12	338.02
4	HTWG	Ecolar		Ecolar Home	304.94
5	BME	Odooproject		Odoo	300.27
6	RWTH	RWTH Aachen University		Counter Entropy House	298.11
7	UPC	(e)co Team		(e)co	291.48
8	EHU	EHU Team		Ekihouse	290.97
9	TJU	Tongji Team		Para Eco-House	284.45
10	CEU	CEU Team Valencia		SMLsystem	282.57
11	BUC	Prispa		Prispa	278.10
12	CUJ	Chiba University		Omotenashi House	266.46
13	BRA	Team Brasil		Ekó House	257.79
14	FAUP	cem+nem-		cem' casas em movimento	235.42
15	DTU	Team DTU		Fold	229.50
16	ABC	Aquitaine Bordeaux Campus		Sumbiosi	223.06
17	UDZ	Grupo pi Unizar		Casa pi Unizar	124.62
18	STSH	Astonyshine		astonyshine	122.00

## **A EQUIPE FOTOVOLTAICA UFSC:**

*Alexandre Montenegro, Eng. Mecânico*

*Alice Bittencourt, Eng. Eletricista*

*André Nobre, M. Sc. Eng. Mec.*

*Andrigo Filippo, Eng. Civil*

*Bernardo Hickel, Eng. Eletricista*

*Carolina Brandão Pereira de Souza, Dr. Eng. Civil*

*Clarissa Debiazi Zomer, Arquiteta, Msc. Eng. Civil*

*Eduardo Deschamps, Acad.Eng. Elétrica*

*Ernesto Moscardini Jr. Eng. Eletricista*

*Giovani Davi, Eng. Eletricista*

*Helena Napolini, Dr. Eng. Eletricista*

*Isis Portolan dos Santos, Arquiteta, Msc. Eng. Civil*

*Julio Dal Bem, Acad. Eng. Elétrica*

*Lucas Nascimento, Eng. Eletricista*

*Luis Ribeiro, Eng. Eletricista*

*Luiz Carlos Pereira Junior, M.Sc.. Matemático*

*Manfred Kratzenberg, Msc. Eng. Mecânica*

*Marcela dos Reis Costa, Acad. Arquitetura*

*Marcos Ribas, Dr. Eng. Química*

*Maurício Guarnieri, Eng. San. & Ambiental*

*Ricardo Rütther, Ph.D. Electr. & Electronic Engineering*

*Renan Ganassini, Acad. Eng. Elétrica*

*Trajano Viana, Dr. Eng. Industrial Elétrico/Eletrônico*