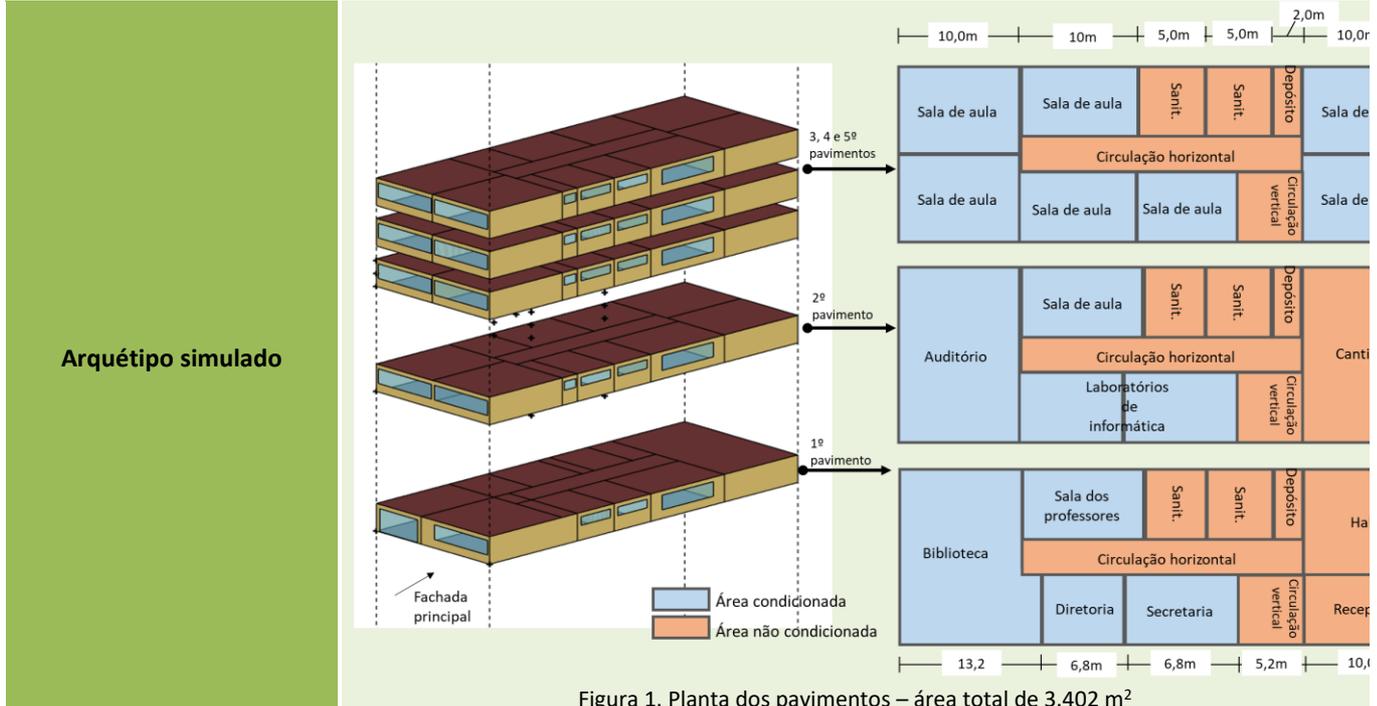


Tipologia	Universidade e Instituição de Ensino Técnico	
Caracterização da tipologia	Universidade e Instituição de ensino técnico em edifício independente com múltiplos andares, cuja função principal é de ensino superior, incluindo faculdades e universidades públicas e privadas. A área bruta da edificação deve incluir todo o espaço dentro do edifício, compreendendo salas de aula, laboratórios de informática, escritórios, cantina, instalações de manutenção, depósitos, banheiros, poços de elevadores e escadas.	
Equações de <i>benchmark</i> – Universidade Geral	<b>Cidades com GHR acima de 54.000</b>	
	$\text{CONSUMO FINAL [kWh/m}^2\text{/ano]} = (((-584,7 + 98,67 \log\text{GHR} + 43,509 \text{AVAC} + 2,662 \text{ILUM} - 11,301 \text{PESS} + 62,218 \text{TURN} + 23,778 \text{RENO}) * \text{ÁREAsalas}) + ((-75,511 + 72,142 \text{TURN} + 11,655 \text{RENO} + 35,450 \text{AVAC}) * \text{ÁREAsalas comp.}) + ((-163,76 - 13,676 \text{TURN} + 70,479 \text{TURN} + 4,784 \text{RENO} + 2,6371 \text{ILUM} + 4,3260 \text{AVAC} + 20,19 \log\text{GHR}) * \text{ÁREAoutros})) / \text{ÁREAtotal}$	
Equações de <i>benchmark</i> – Gabinete dos professores	<b>Cidades com GHR abaixo de 54.000</b>	
	$\text{Consumo\_Gab\_Prof [kWh/m}^2\text{/ano]} = (((-110,90 + 11,82 \log\text{GHR} - 7,049 \log\text{GDA} + 29,290 \text{AVAC} + 51,240 \text{TURN} + 2,6139 \text{ILUM} - 10,421 \text{PESS}) * \text{ÁREAsalas}) + (-75,73 + 6,909 \log\text{GHR} - 3,967 \log\text{GDA} + 27,322 \text{AVAC} + 66,710 \text{TURN} - 0,760 \text{RENO}) * \text{ÁREAsalas comp.}) + ((-70,65 + 2,999 \log\text{GHR} - 1,7428 \log\text{GDA} + 3,9895 \text{AVAC} + 62,598 \text{TURN} + 2,6230 \text{ILUM} - 12,1616 \text{TURN}^2) * \text{ÁREAoutros})) / \text{ÁREAtotal}$	
Equações de <i>benchmark</i> – Gabinete dos professores	<b>Cidades com GHR acima de 54.000</b>	
	$\text{Consumo\_Gab\_Prof [kWh/m}^2\text{/ano]} = -187,13 + 38,94 \log\text{GHR} + 8,229 \text{AVAC} + 1,7137 \text{ILUM} + 1,7256 \text{TURN} + 2,295 \text{SOMB}$	
Equações de <i>benchmark</i> – Gabinete dos professores	<b>Cidades com GHR abaixo de 54.000</b>	
	$\text{Consumo\_Gab\_Prof [kWh/m}^2\text{/ano]} = -8,527 + 3,796 \log\text{GHR} - 2,9188 \log\text{GDA} + 4,2372 \text{AVAC} + 1,0755 \text{TURN} + 1,67159 \text{ILUM}$	
Escala de Consumo	<p>A faixa de consumo típico tem como limite inferior o consumo mínimo acrescido de um coeficiente “i” e o limite superior o consumo mínimo acrescido de três vezes o fator “i”.</p> <p>Para o cálculo do consumo mínimo, tomam-se como parâmetros fixos para a edificação geral as variáveis GHR, GDA, TURN, PESS e RENO da equação e, como parâmetros variáveis [limite mínimo / limite máximo], as variáveis ILUM [9,9 / 16,32] e AVAC [2 - VRF / 3 - Split] e, para os gabinetes de professores, as variáveis GHR, GDA e TURN e, como parâmetros variáveis [limite mínimo / limite máximo], as variáveis ILUM [10,0 / 19,04], SOMB [0 – com brise / 1 – sem brise] e AVAC [2 - VRF / 3 - Split]. Para as edificações com ventiladores, tanto na edificação geral quando nos gabinetes de professores, esta é uma informação fixa e os limites mínimos são calculados com o adimensional 1 – Ventilador.</p> $i = \frac{\text{consumo máximo da edificação} - \text{consumo mínimo da edificação}}{5}$ <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #28a745; width: 50px; height: 15px; margin: 0 auto;"></div> <p><b>Eficiente</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #6c757d; width: 50px; height: 15px; margin: 0 auto;"></div> <p><b>Típico</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #ffc107; width: 50px; height: 15px; margin: 0 auto;"></div> <p><b>Ineficiente</b></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;">Consumo mínimo + i</div> <div style="text-align: center;">Consumo mínimo + 3i</div> </div>	
Dados de entrada das Equações	<b>GHR</b>	Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação [valor do GHR da cidade]
	<b>GDA</b>	Graus-dia de aquecimento da cidade onde se localiza a edificação [valor do GDA da cidade]
	<b>AVAC</b>	Tipo de sistema de condicionamento de ar [número adimensional: 1- Ventilador, 2 - Central VRF, 3 - Split Individual], sendo em 1. considerados ventiladores em salas de aula e split nas salas administrativas.
	<b>ILUM</b>	Densidade de potência de iluminação instalada

		[valor em W/m <sup>2</sup> ]
	<b>RENO</b>	Renovação de ar [número adimensional: 0 – não tem, 1 – tem renovação de acordo com nível 2 da NBR 16401-3]. Embora a renovação de ar em ambientes condicionados artificialmente no Brasil seja obrigatória por lei e norma técnica, ainda é comum encontrar edificações que não possuem um sistema de renovação de ar.
	<b>TURN</b>	Para a equação da edificação geral, Turno [número adimensional: 1- noite, 2- manhã/noite, 3- manhã/tarde/noite];  Para as equações do Gabinete de Professores, Turno [número adimensional: 1- noite, 2- manhã, 3- tarde]
	<b>SOMB</b>	Uso de elemento de sombreamento nas aberturas [número adimensional: 0- Com brise, 1- Sem brise]
	<b>PESS</b>	Densidade de alunos em sala de aula [valor de área em m <sup>2</sup> por aluno]
	<b>ÁREA<sub>salas</sub></b>	Área total dos ambientes de sala de aula
	<b>ÁREA<sub>salas comp.</sub></b>	Área total das salas de ensino e pesquisa com computadores
	<b>ÁREA<sub>outros</sub></b>	Demais áreas da universidade, exceto as áreas de gabinetes de professores
	<b>ÁREA<sub>total</sub></b>	Somatória das três áreas citadas anteriormente (salas de aulas, salas de ensino e pesquisa com computadores e outros, exceto áreas de gabinetes de professores).

**Amostra utilizada para o desenvolvimento das equações**

Banco de dados de consumo: 606 edifícios (amostra bruta), 359 (amostra tratada, cobrindo 15 Estados brasileiros) e 270 edifícios (amostra tratada com dados completo).  
 Dados de auditorias: 05 auditorias realizadas a partir de visitas *in loco*.



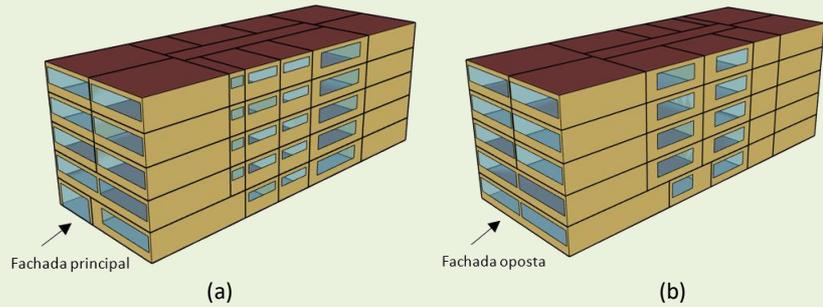


Figura 2. Perspectiva da volumetria



Figura 3. Planta do arquétipo para o pavimento contendo os gabinetes de professores – área do conjunto de gabinetes 120 m<sup>2</sup>

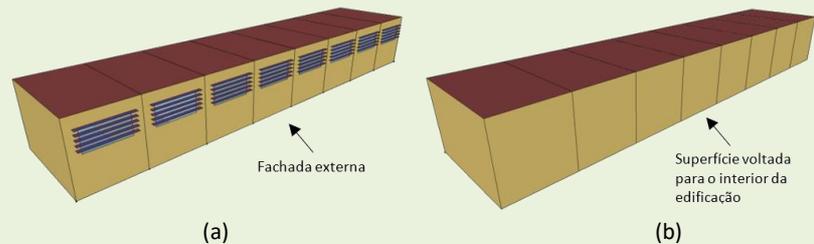


Figura 4. Perspectiva da volumetria dos gabinetes de professores – (a) Fachada externa e cobertura expostas; (b) Laterais e piso adiabáticos.

### Simulação Realizada

Simulações Energéticas: 7680 simulações.

Para representar a variedade de condições climáticas e o seu impacto no consumo energético das edificações, especialmente nos sistemas de condicionamento de ar, utilizou-se uma análise do grau-hora de resfriamento (GHR) para um grupo de 413 cidades. O GHR é um indicador de desempenho térmico que representa a somatória total anual da diferença entre a temperatura operativa horária e uma temperatura de base (RTQ, 2017). Foi adotada a temperatura de base de 15°C para cálculo do GHR. A partir da análise do GHR para as 413 cidades, foram determinadas oito faixas de GHR que variam de 10.000 em 10.000 graus-hora. Então, uma cidade populosa, e com arquivo climático disponível, foi selecionada como representativa de cada faixa.

### Parâmetros da simulação

#### Fixos

Envoltória: transmitância térmica de paredes  $U_{parede} = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$  e da cobertura de  $U_{cobertura} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Vinte e quatro zonas térmicas de salas de aula e salas de ensino e pesquisa com computadores.

Duração da ocupação dos diferentes ambientes:

- Salas de aula – Turno manhã: 7h30 às 12h00
  - Turno tarde: 13h00 às 17h30
  - Turno noite: 18h00 às 22h30
- Biblioteca e áreas administrativas: 7h30 às 22h30 (para turno manhã/tarde/noite) e 15:00 às 22:30 (para somente noturno)
- Sala de ensino e pesquisa com computadores: 2 horas por dia por turno.
- Auditório: 1 hora por semana por turno.

Cenários de ocupação e cargas de tomada:

- Salas de aula: ocupação variável no cenário e equipadas com um computador e um projetor;
- Diretoria: duas pessoas, dois computadores e uma impressora;
- Secretaria: seis pessoas, seis computadores, uma impressora e uma cafeteira;
- Sala dos professores: uma pessoa, quatro computadores, uma impressora e uma cafeteira;

- Biblioteca: três funcionários, frequência média de um aluno a cada 10m<sup>2</sup>, totalizando 18 alunos, e seis computadores;
- Salas de ensino e pesquisa com computadores: ocupação de 1,5m<sup>2</sup> por pessoa (totalizando 36 pessoas em cada sala), com 36 computadores e um projetor.
- Auditório: ocupação de 1m<sup>2</sup> por pessoa (totalizando 160 pessoas), um projetor e um computador.

#### Variáveis

- **Iluminação:**
  - o Edifício geral: Cenário mais eficiente com DPI média de 9,9 W/m<sup>2</sup> e cenário menos eficiente com DPI média de 16,32 W/m<sup>2</sup>; correspondendo, respectivamente, às classes A e D do PBE.
  - o Gabinete dos professores: Cenário mais eficiente com DPI média de 10,00 W/m<sup>2</sup> e cenário menos eficiente com DPI média de 19,40 W/m<sup>2</sup>;
- **Ocupação:** Dois cenários de ocupação das salas de aula, sendo um cenário com alta ocupação (1,2 m<sup>2</sup> por aluno) e outro cenário com baixa ocupação (3,0 m<sup>2</sup> por aluno);
- **Turno:** Três cenários contemplando todos os períodos do dia (manhã, tarde e noite), outro cenário contemplando os períodos da manhã e noite e outro cenário apenas o período noturno.
- **Sombreamento:** Dois cenários, um cenário com brises horizontais de 20 cm de projeção e 20 cm de espaçamento entre as aletas por toda a extensão e outro cenário sem brises.
- **Orientação solar:**
  - o Edifício geral: Um cenário com fachada principal voltada para Leste e outro cenário com fachada voltada para Sul;
  - o Gabinete dos professores: Um cenário para cada uma das 4 orientações solares;
- **Cor da envoltória:** Cenário mais eficiente com fachadas em cores mais claras (absortância 0,3) e cenário menos eficiente com fachadas em cores mais escuras (absortância 0,7).
- **Tipo de vidro:** Um cenário com vidro simples (fator solar 0,87) e outro cenário com vidro laminado (fator solar 0,5).
- **Renovação de ar:** Dois cenários, um sem renovação de ar e outro com renovação de ar com a vazão apropriada de acordo com o tipo de ambiente, conforme Nível 2 da norma ABNT NBR 16401-3.
- **AVAC:** Dois cenários para a edificação geral, sendo um com splits (EER = 3,25W/W) e outro central tipo VRF (EER = 4,07W/W). E, para o gabinete de professores, também dois cenários, sendo um com splits (EER = 3,40 W/W) e outro central VRF (EER = 5,23 W/W). Também foi considerado para a edificação geral um terceiro cenário em que as salas de aula possuem ventiladores de parede e a administração, biblioteca e auditório possuem split com EER = 3,25W/W e, um terceiro cenário para o gabinete de professores com apenas ventilador de parede ligado durante o período de ocupação.

#### Limitações da equação de benchmark

O arquétipo desenvolvido visou abranger grande parte do perfil de consumo de energia desta tipologia, que são as salas de aula e as salas administrativas. Entretanto, a equação não considera os laboratórios específicos e nem as cargas de tomada dos equipamentos da cozinha, refeitórios, centros esportivos e central de processamento de dados. Também não é considerado o consumo dos sistemas de iluminação de quadras externas, ginásios de esportes e estacionamentos. Caso sejam conhecidos, deve-se subtrair este consumo do consumo total medido que está sendo comparado com o consumo calculado pela equação de *benchmark*.

Outro aspecto a considerar é a diferença entre universidades públicas e particulares em termos de relação entre sala de aula e área total e, também, na quantidade de salas de professores e laboratórios voltados para pesquisa. Estes laboratórios podem apresentar diferentes perfis de consumo de energia, variando em intensidade e em tempo de utilização, podendo ter impacto significativo no consumo total da universidade.

#### Data de publicação

01/07/2021

#### Futuros trabalhos

Aprofundar o estudo da tipologia, incluindo a realização de auditorias energéticas com a finalidade de identificar padrões nacionais para os tipos de equipamento e sistemas consumidores de energia

	elétrica utilizados em universidades e instituições de ensino técnico, especialmente para as cargas de laboratórios específicos.
<b>Referências</b>	RT2A.12: Relatório de Auditorias Energéticas – Tipologia de Universidade e Instituição de Ensino Técnico e RT2B.12: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de <i>benchmark</i> para a tipologia de Universidade e Instituição de Ensino Técnico.
<b>Equipe Técnica CBCS (2018 – 2021)</b>	Coordenador Técnico: Roberto Lamberts; Pesquisadores: Ana Carolina Veloso, Ana Paula Melo, Anderson Letti, Arthur Cursino, Camila Suizu, Daniel Amaral, Eduardo Kanashiro, Matheus Geraldi e Kleber Moura; Coordenador CBCS: Clarice Degani.
<b>Coordenação Eletrobras/Procel</b>	Elisete Cunha
<b>Realização</b>	CBCS Conselho Brasileiro de Construção Sustentável Eletrobras / PROCEL Plataforma de cálculo: <a href="http://plataformadeo.cbcs.org.br">plataformadeo.cbcs.org.br</a> Contato: <a href="mailto:energia.benchmarking@cbcs.org.br">energia.benchmarking@cbcs.org.br</a>