



PROJETO DE PESQUISA **LEQAI – USP:** ESTUDOS DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM SALAS DE AULA

ANTONIO LUÍS DE CAMPOS MARIANI
LEQAI – Laboratório de Estudos da Qualidade do Ar Interior
Escola Politécnica da USP
ASHRAE Fellow

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO





APRESENTAÇÃO

• ANTONIO LUÍS DE CAMPOS MARIANI

- Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP
- Área de Pesquisa:
 - MECÂNICA DOS FLUIDOS; QAI; INSTRUMENTAÇÃO APLICADA A SISTEMAS DE AR CONDICIONADO E VENTILAÇÃO
- Membro Fellow da ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*;
- Membro de Comissões de Estudo da ABNT: atual C.E. Sistemas de ar condicionado central
- Coordenador do **LEQAI** – Laboratório de Estudos da Qualidade do Ar Interior
- Coordenador Programa POLI Cidadã: Tecnologia e desenvolvimento social

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO





INTRODUÇÃO

- **BREVE HISTÓRIA da QAI - BRASIL: 25 anos (1998-2023)**
 - Morte do Ministro Comunicações = erroneamente atribuída ao ar condicionado
 - Ministério da Saúde: Portaria 3523 de agosto de 1998
 - Resultados positivos e negativos !
 - Inicialmente (1998 a 2008):
 - Bons avanços em pequenos incrementos: até NBR16401:2008
 - Última década (2013 a 2023):
 - Evolução acelerada; Doenças graves, Gripe Aviária, Covid19; Mortes em grande nº;
 - Transmissão de doenças confirmadas por via aérea !!
 - Valorização da QAI
 - No mundo e no Brasil
 - QAI => SAÚDE; CONFORTO; PRODUTIVIDADE

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



LEQAI: Lab. Estudos Qualidade do Ar Interior



- **Início 2015**
- **Primeiros resultados em 2016/2017**
- **Novas instalações de ar condicionado e ventilação nas Salas de aula da Eng. Mecânica + Mecatrônica + Naval (POLI)**
 - Instalação de custo limitado;
 - Projeto simples elaborado pelo LEQAI => Foco na QAI (Renovação de ar + Filtragem)
 - Pré requisitos:
 - Projeto das **instalações elétricas** (segurança, praticidade, confiabilidade) – **Independente para Ar Condicionado e Ventilação; se necessário renovar;**
 - Integração com arquitetura do edifício: Locais para equipamentos + “Caminhos para o ar”
 - Fatores a controlar:
 - Físicos + Químicos + Microbiológicos

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



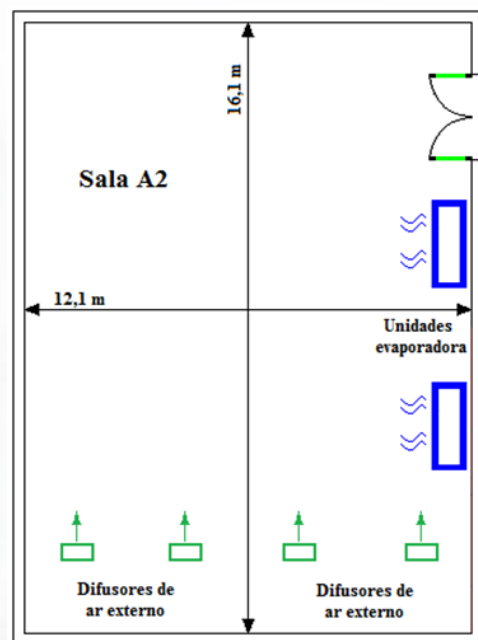
PATROCÍNIO



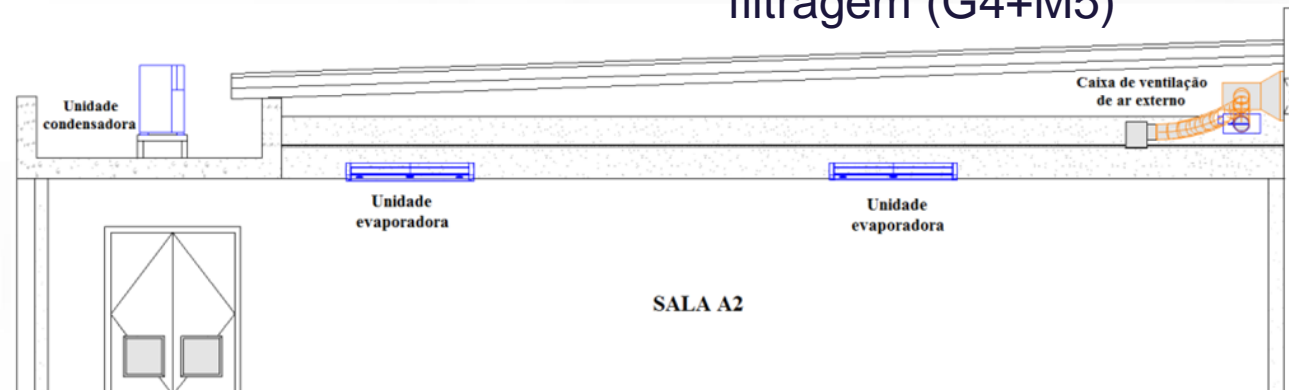
SALA DE AULA: ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Pontos críticos:

- Controle simples e prático
- Ar Condicionado: Quente + Frio
- Garante verão e inverno (ventilação)
- Controle parâmetros: só supervisor
- Usuário só interruptor Liga/Deslig
- Intertravamento: liga dois sistemas juntos



Unidade Renovação de ar
(Caixa ventilação) com dupla
filtragem (G4+M5)



Esquema da sala de aula. Depto. Eng. Mecânica da Escola Politécnica USP.



SALA DE AULA: ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Dois arranjos:

- Sala de aula expositiva
- Laboratório de projeto e fabricação de protótipos



REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



UNIDADE DE RENOVAÇÃO DE AR: VENTILAÇÃO



Dupla filtragem (G4+M5)



Medição da vazão de ar exterior de renovação

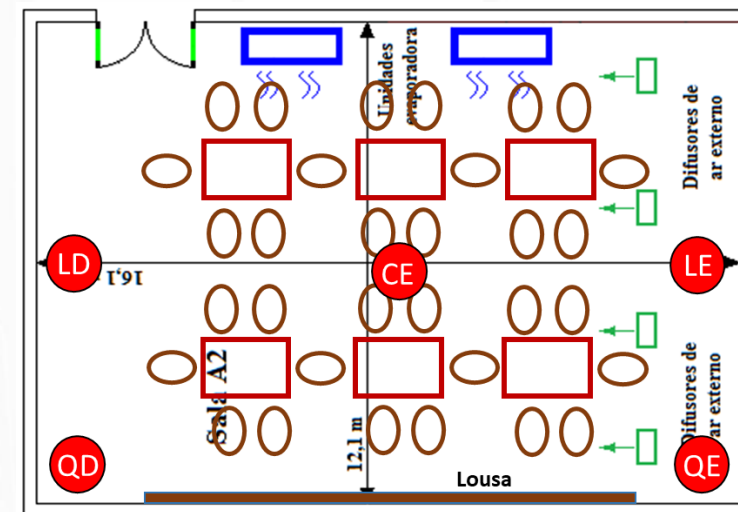


Tomada de ar externo na
fachada

SALA DE AULA: ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Medições:

- Temperatura (TBS)
- Umidade Relativa
- Concentração de CO₂
- Concentração de COV
- Concentração de fungos viáveis (FV)
- Concentração de particulado (PMs)



Pontos de medição na sala de aula: verificação de estratificação de concentrações

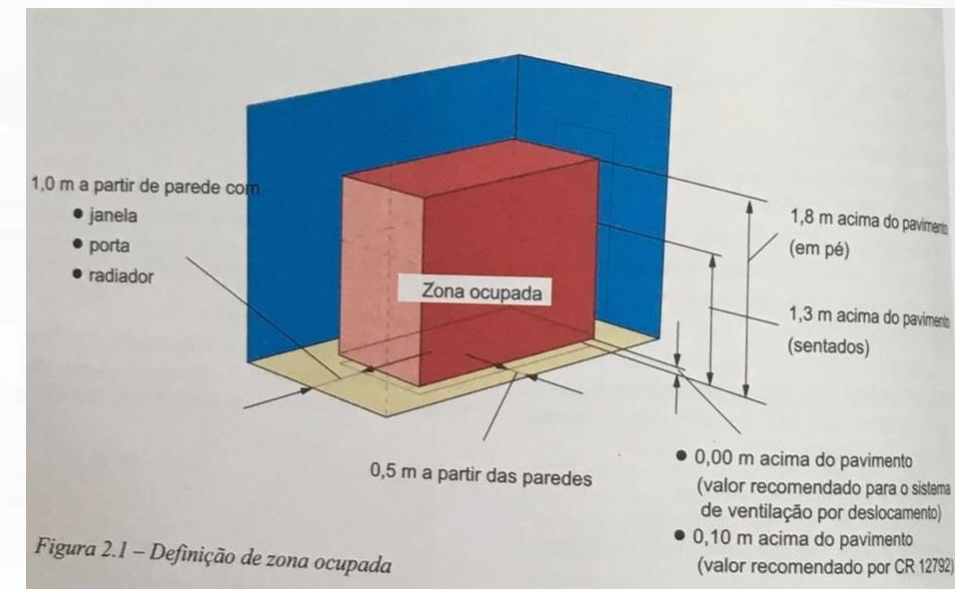
Desmistificar: Estratificação de gases muito rara, de particulado (diferenças muito pequenas !!)

Pontos importantes para QAI na Sala de Aula



- QAI => Renovação de ar + Filtragem
 - Controle da **temperatura** (23°C a 24°C);
 - Garantia da **umidade relativa** = Saúde !!
 - **Velocidade** do ar baixa na “Zona Ocupada”
 - Simplicidade na operação (à prova de “curiosos”)
- com intertravamento: AC + Ventilação (1AC+2V)
- Facilidade na manutenção, baixo custo (Ex. Filtro G4 ~ R\$10,00);

Definindo Zona Ocupada: foco nas pessoas
Salubridade e Conforto



FONTE: REHVA - Sistemas de ventilação por deslocamento em espaços não industriais, 2004

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO

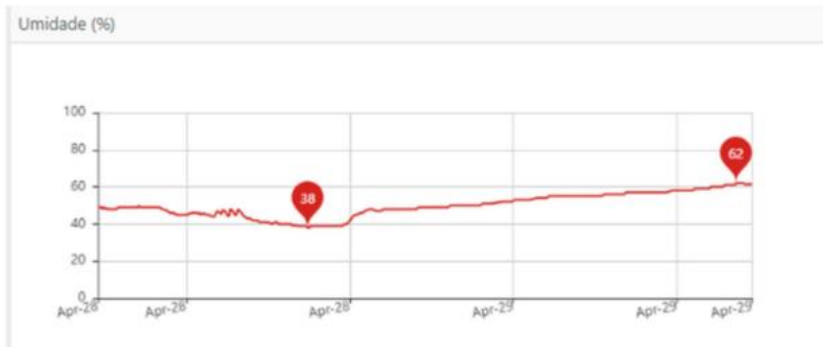




SALA DE AULA: ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Monitoração Contínua:

- Temperatura (TBS)
- Umidade Relativa
- Concentração de CO₂
- Concentração de COV;
- Concentração de particulado (PMs);
- Comunicação no telefone celular;



Equipamento de monitoração contínua: SPIRI – Futuro que já chegou !!

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



ESTUDOS EXPERIMENTAIS - LEQAI

- **Exemplo: Estudo de caso na sala A2: Concentração de particulado PM_{2,5}**

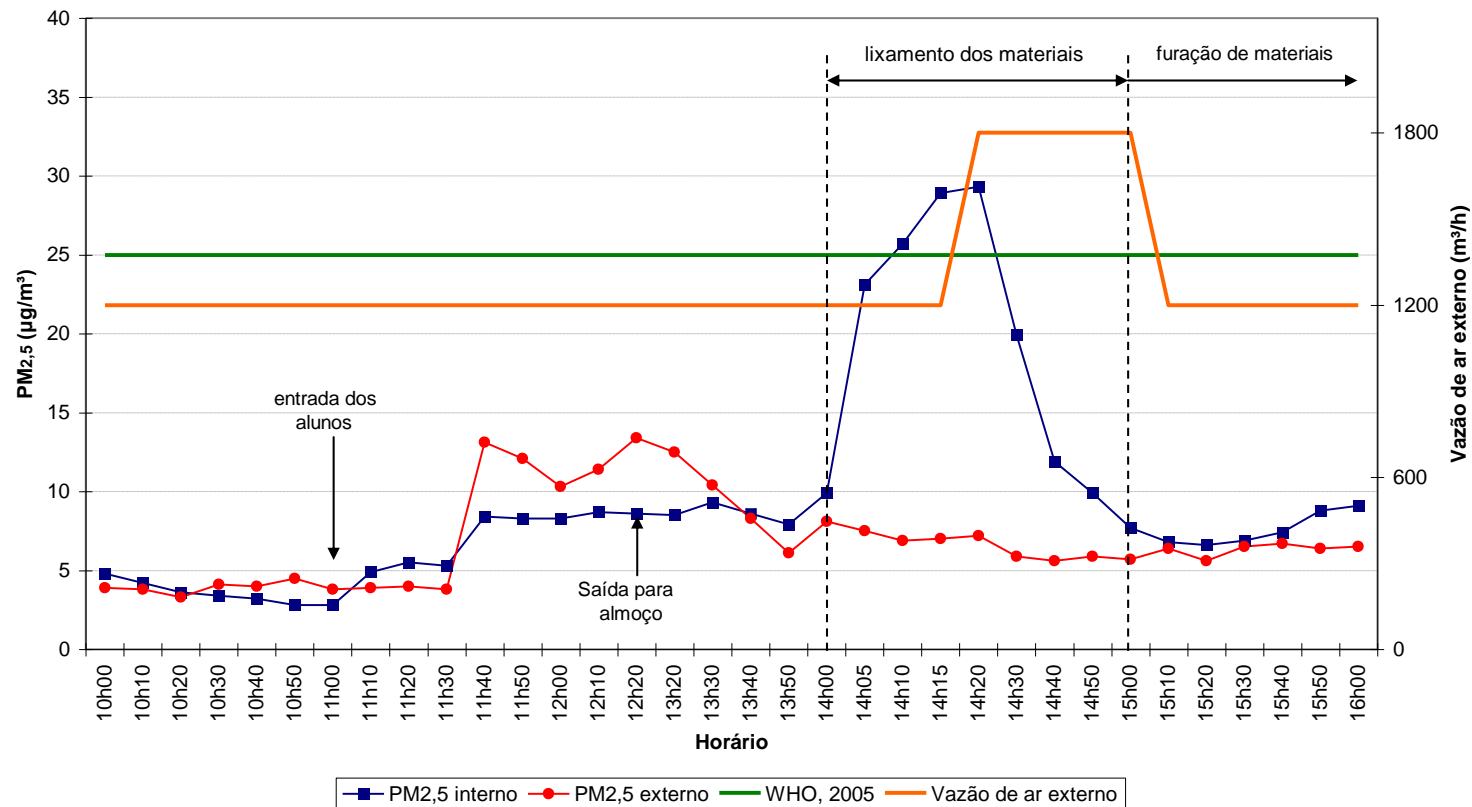


Figura: Concentração de PM_{2,5} - Oficina de Brinquedo do Programa Poli Cidadã .
Condicionamento e renovação de ar.

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



CONHECIMENTO PARA OBTER **QAI**

Informar e Educar

- **Proposta de obrigatoriedade de apresentação de informações para sistemas de ar condicionado:**
 - **No ambiente**
 - **No manual de operação e manutenção**
 - **No equipamento - especificação técnica**
 - **Placas / “Etiquetas” / “Formas de Informação”**

- **PNQAI: contribuição importante para informar, esclarecer, evoluir**

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



Proposta: Informar e Educar

- ◆ **Padronização de informações técnicas para todo sistema de ar condicionado:**
 - **Similar às informações de elevadores**
 - **Estabelecida por norma técnica**
 - **Exigida por legislação**

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



Proposta: Informar e Educar

Exemplos para sistemas de ar condicionado

AVISO AOS USUÁRIOS

SISTEMA DE AR CONDICIONADO DESTE AMBIENTE

Parâmetros de operação:

- Número máximo de ocupantes: 100 pessoas
- Temperatura de ajuste: 24°C
- Ventilação com ar exterior: 3000 m³/h (para 100 pessoas)
- Filtro no equipamento: F5

ATENÇÃO: Os parâmetros foram estabelecidos considerando as condições de conforto para pessoas proposta na norma ABNT NBR 16.401.

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



Proposta: Informar e Educar

Exemplos para sistemas de ar condicionado

AVISO AOS USUÁRIOS

SISTEMA DE AR CONDICIONADO DESTE AMBIENTE

Parâmetros para a operação:

- Número de ocupantes: 100 pessoas
- Temperatura interna no verão: 23°C a 25°C
- Temperatura interna no inverno: 21°C a 23°C
- Ventilação com ar exterior para renovação do ar interno no verão e no inverno: 3000 m³/h (para 100 pessoas)

ATENÇÃO: Parâmetros estabelecidos conforme norma ABNT NBR 16.401.

Informação aos usuários conforme Legislação Federal Lei 000/00.

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO



Grupo de Trabalho USP

Retomada final pandemia



**RECOMENDAÇÕES PARA MELHORAR AS
CONDIÇÕES DE SALAS DE AULA COM
QUALIDADE DO AR INTERIOR E COM
RECURSOS PARA ENSINO HÍBRIDO**

COMISSÃO

Prof. Dr. Antonio Carlos Seabra - EP
Prof. Dr. Antonio Luís de Campos Mariani - EP
Prof. Dr. Carlos Alberto Adde - FO
Enaége Dalan Sant'Ana - EP
Prof. Dr. Fernando Catalani - EEL
Prof. Dr. Giuseppe Alexandre Romito - FO
Prof.ª. Dr.ª. Maria Clara Padoveze - EE
Prof. Dr. Morun Bernardino Neto - EEL
Prof. Dr. Paulo Andrade Lotuffo - FM
Prof. Dr. Paulo Selegim Júnior - EESC
Prof. Dr. Paulo Sérgio Scarazzato - FAU
Prof. Dr. Silvio Ikuyo Nabeta - EP

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



CONHECIMENTO PARA OBTER **QAI**

Informar e Educar



- ◆ **Padronização de informações técnicas para todo sistema de ar condicionado:**
 - Similar às informações de elevadores
 - Estabelecida por norma técnica
 - Exigida por legislação

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



RECOMENDAÇÕES PARA OBTER QAI



- ◆ **Base: ASHRAE + REHVA + OMS + Normas BR + Legislação BR**
 - **Identificar sistemas e possibilidades:**
 - **Ventilação:**
 - **Natural**
 - **Mecânica**
 - **Ar Condicionado:**
 - **Central**
 - **Unitário**

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



RECOMENDAÇÕES PARA OBTER QAI



- **Definir “caminho do ar” e aberturas (janelas, portas):**
 - **Entradas**
 - **Saídas**
- **Combinações interessantes:**
 - **Ventilação cruzada => aumento importante de vazão (em relação à abertura na mesma face)**
 - **Apoio de ventilação mecânica**
 - **Ventilador auxiliar**
 - **Próprio equipamento de ar condicionado na função “ventilar”**
 - **Não direcionar velocidade do ar para pessoas (cima ou baixo)**

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



RECOMENDAÇÕES PARA OBTER QAI



Estratégias

- Implementar a ventilação cruzada no lugar da ventilação unilateral, através da abertura de todas as janelas e portas
- Implementar a troca de ar pré e pós ocupação, idealmente por 1 hora, através da abertura completa de portas e janelas

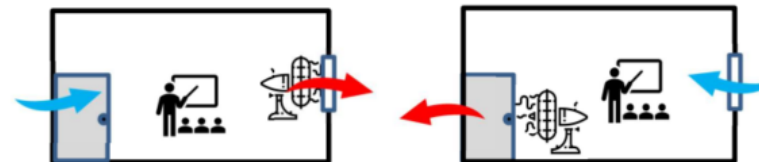


Ventilação unilateral



Ventilação cruzada
(porta e janela abertas)

- Para aumentar a exaustão:
 - Quando possível, mudar o desenho do sistema de ventilação natural (esquadrias)
 - Utilizar um ventilador perto de uma janela ou porta, em função do sentido do fluxo de ar



REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO

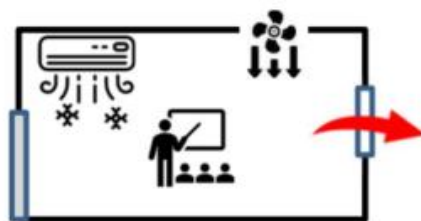


RECOMENDAÇÕES PARA OBTER QAI

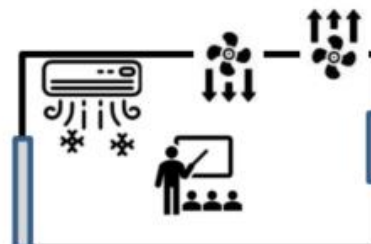
Salas com climatização individual e sem ventilação mecânica
Se possível, garantir a Vazão Mínima de Renovação de Ar de $27 \text{ m}^3/(\text{h} * \text{pessoa})$ ¹

Estratégias

- Implementar a ventilação mecânica (ar externo) com filtragem associada ao ventilador de insuflação: apenas com insuflador ou com insuflador e exaustor ²
- Implementar a troca de ar pré e pós ocupação, idealmente por 1 hora, através da abertura completa de portas e janelas e do acionamento do ventilador e do exaustor



Ar-condicionado e ventilação mecânica para renovação do ar apenas com insuflador



Ar-condicionado e ventilação mecânica com insuflador e exaustor ²

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



RECOMENDAÇÕES PARA OBTER QAI

- Enquanto a ventilação mecânica para a renovação do ar não for instalada:
 - Ar-condicionado na função ventilar (sem climatização) e ar direcionado acima das pessoas (próximo ao teto)
 - Ventilação natural cruzada
- Implementar a troca de ar pré e pós ocupação, idealmente por 1 hora, através da abertura completa de portas e janelas



Ar-condicionado na função ventilar e ventilação cruzada

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



FUTURO ?:



Edificações preparadas para epidemias !

**ASHRAE STANDARD 241,
*CONTROL OF INFECTIOUS AEROSOLS***

The highly anticipated airborne infection risk mitigation standard for buildings.
*ASHRAE Standard 241, Control of Infectious Aerosols is **officially here!***

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



OBRIGADO !

EQUIPE DO LEQAI

- ANDRÉ FANSOLIN ROLLO
 - ANTONIO LUIS DE CAMPOS MARIANI
 - LUCAS MENEGASSI
 - LUIZ RICARDO SOUZA CRUZ
 - NELSON DE OLIVEIRA DUTRA
-
- Departamento de Engenharia Mecânica
 - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
 - E-MAIL: amariani@usp.br

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO



REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO

