



Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC
Laboratório de Energia e Sistemas Térmicos – LEST



Uso de Fluidos Refrigerantes Alternativos em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo

Enio Bandarra – bandarra@mecanica.ufu.br

24 de Setembro de 2010 – Manaus - AM



INTRODUÇÃO



Modelos de A/C Automotivo



Modelos de A/C Automotivo



Modelos de A/C Automotivo



Modelos de A/C Automotivo



Ar Condicionado Automotivo



Sistemas de A/C Automotivo

- R-12 e R-22 eram os fluidos utilizados até o final da década de 80.
- Na década de 90, os sistemas de A/C automotivo foram adaptados para o R-134a.
- No início do século XXI, devido ao Potencial de Aquecimento Global (GWP), passou-se a estudar diversas possibilidades. Na Europa, fluidos com $GWP > 150$ serão proibidos a partir de 2011.
- PERGUNTA: Qual alternativa ao HFC-134a é melhor????

Fluidos Alternativos

- HFC-152a ou R-152a em sistema indireto, já que $GWP=124$, porém é inflamável.
- Novos Fluidos Químicos propostos pelas indústrias, como por exemplo o HFO-1234yf, cujo $GWP=4$.
- Utilização do refrigerante natural CO_2 , que possui $GWP=1$ (referência), porém sua pressão de trabalho é elevadíssima.

**CO₂ - Dióxido de
Carbono - R-744**

HISTÓRICO

CO₂

REFRIGERATION

CARBONIC SAFETY SYSTEM
MEANS BEST (REG. U. S. PAT. OFF.) IN REFRIGERATION

American Carbonic Machinery Co.
WISCONSIN RAPIDS, WISCONSIN

NEW YORK 30 CHURCH STREET	CLEVELAND 6TH AND EUCLID AVENUE	CHICAGO 1631 MONADNOCK BLDG.	ST. PAUL 42 W. 4th STREET
------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------

CARBONIC SAFETY SYSTEM

HISTÓRICO

- CO₂ não é um **novo** fluido refrigerante, ele já foi proposto como refrigerante em 1850.
- Houve um pico de utilização em sistemas de refrigeração entre 1920 e 1930.
- Com a introdução dos Refrigerantes Halogenados o uso de CO₂ foi sendo suprimido.
- Na década de 1990, devido às características ecológicas, como ODP e GWP, a discussão sobre o uso do CO₂ como refrigerante ressurgiu, junto com os hidrocarbonetos e amônia.

Nomenclatura - Refrigerante

- **Dióxido de Carbono, CO_2 ou R-744**
- **(R – Refrigerante; 7 refere a Fluidos Inorgânicos; 44 – é a Massa Molecular)**
 - Ex. Amônia – NH_3 - R-717
 - Ex. Água – H_2O – R-718
- **Série R-400 (Misturas Não Azeotrópicas) – Temp. Glide**
- **Série R-500 (Misturas Azeotrópicas) – Fluido Puro**

Características

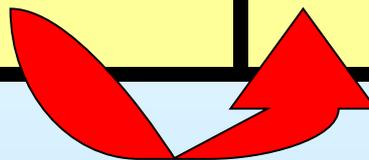
- CO₂ não é um refrigerante tóxico (torna-se tóxico em elevadas concentrações)
- CO₂ não é inflamável.
- Possui um duplo papel na Meio Ambiente: (1) é imprescindível à vida na Terra e (2) colabora (em menor escala) para o Aquecimento Global.
- CO₂ é encontrado normalmente na Natureza em concentrações de 0,03 e 0,06% (em volume).

Algumas características dos refrigerantes Fluorados e CO₂

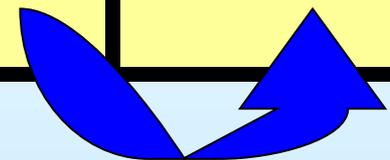
Refrigerante		R12	R22	R134a	CO₂
Fluido Natural		Não	Não	Não	SIM
Agressão na Camada de Ozônio		1,0	0,05	0	0
Potencial de Aquecimento Global	100 anos	10890	1810	1430	1 (0)
Temperatura Crítica	em °C	112	96,2	101,2	31,1
Pressão Crítica	em bar	41,6	49,9	40,7	73,8
Inflamável ou Explosivo		Não	Não	Não	Não
Tóxico		Não	Não	Não	Não
Preço Relativo		1	0,5	4	0.05
Capacidade Volumétrica (Relativa)		1	1,6	1	8.4

Algumas características dos fluidos R-12, R-134a e CO₂

Refrigerante	R12	R134a	CO ₂
Potencial da Destruição da Camada de Ozônio	SIM	NAO	NAO
Potencial de Aquecimento Global	GWP=10890	GWP=1430	GWP=1
Emissão de CO ₂ – Operação (consumo de combustível e vazamento)	2600 kg/carro	2600 kg/carro	1800 kg/carro
Emissão de CO ₂ Equivalente	7623 kg/carro (700gr)	1001 kg/carro (700 gr)	0,50 kg/carro (500 gr)
TOTAL	10223 kg/carro	3601 kg/carro	1800 kg/carro

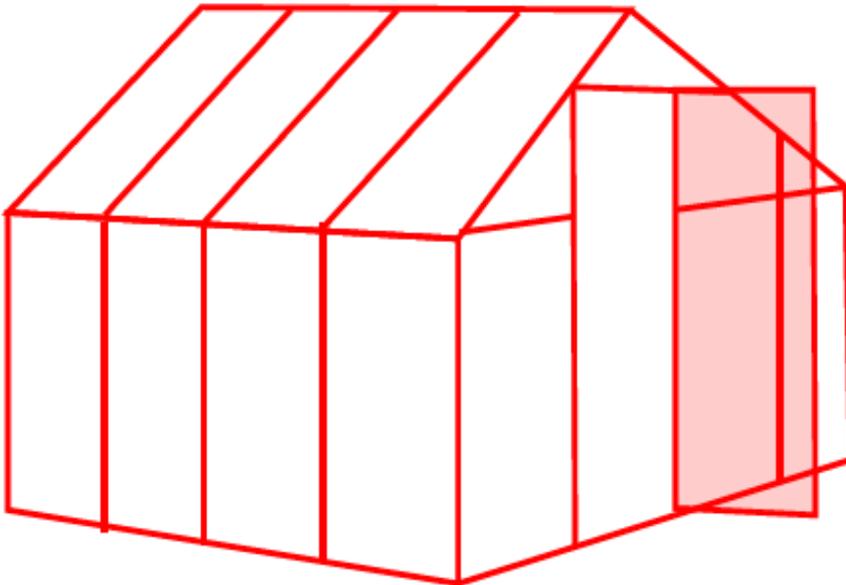


Redução de 65%

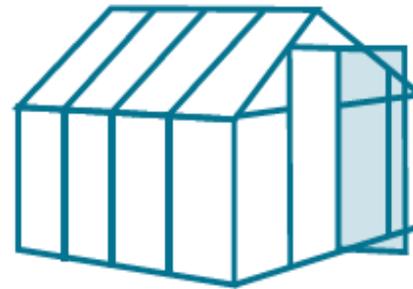


Redução de 50%

Comparativo



R134a
GWP 1300



EU 2011
GWP < 150



R152a - 120
Blend 'H' > 10
DP-1 > 40
Auto AC-1 < 150
HFO-1234yf - 4



CO2
GWP 1



Aquecimento Global



- Os veículos são responsáveis por **10%** de toda a emissão de gases que colaboram para o Efeito Estufa.
- Esse número tende a aumentar, desde que mais carros deixam a fábrica com o sistema de ar condicionado instalado.
- Os sistemas de A/C atuais tem elevado impacto no total de emissões, seja por vazamentos, consumo de combustível e também na recuperação e reciclagem dos refrigerantes.

Aspectos de Segurança

- **0,03 a 0,06%** - *Concentração na atmosfera*
- **2%** - 50% de aumento na taxa de respiração.
- **3%** - *Limite de exposição de 10 minutos; dobra a taxa de respiração.*
- **5%** - 300% aumento na taxa de respiração, dor de cabeça (Obs: A maioria das pessoas suportam isso, porém há excessões.)
- **8%** - *Curto tempo de exposição - Perigo.*

Aspectos de Segurança

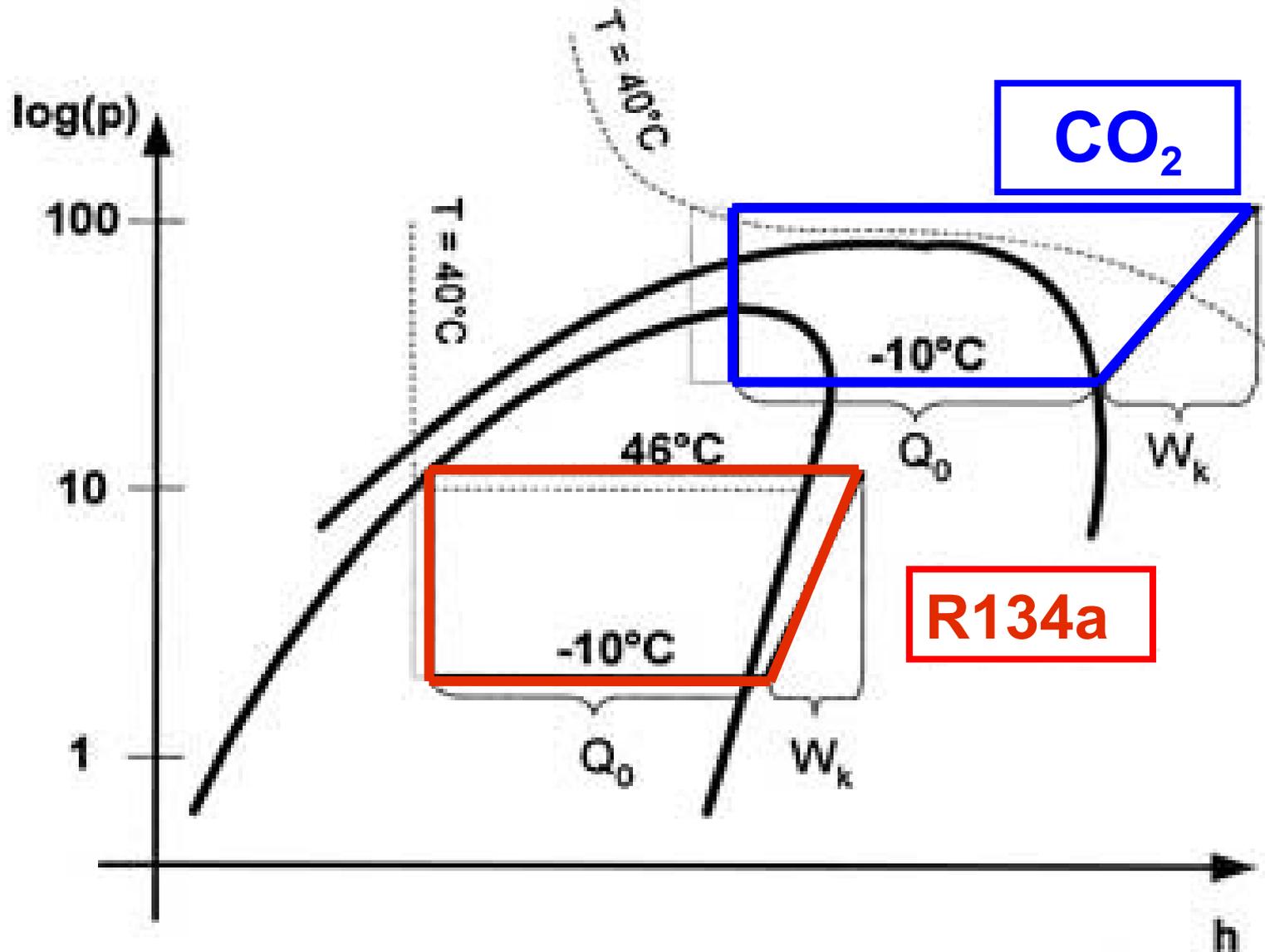
- **8-10%** - Dor de cabeça após 10-15 min. aumento na pressão sanguínea e na frequência cardíaca.
- **10-18%** - Após alguns minutos de exposição, pode levar a perda de consciência e entrar em estado de choque.
- **18-20%** - Sintomas similar a um Derrame.



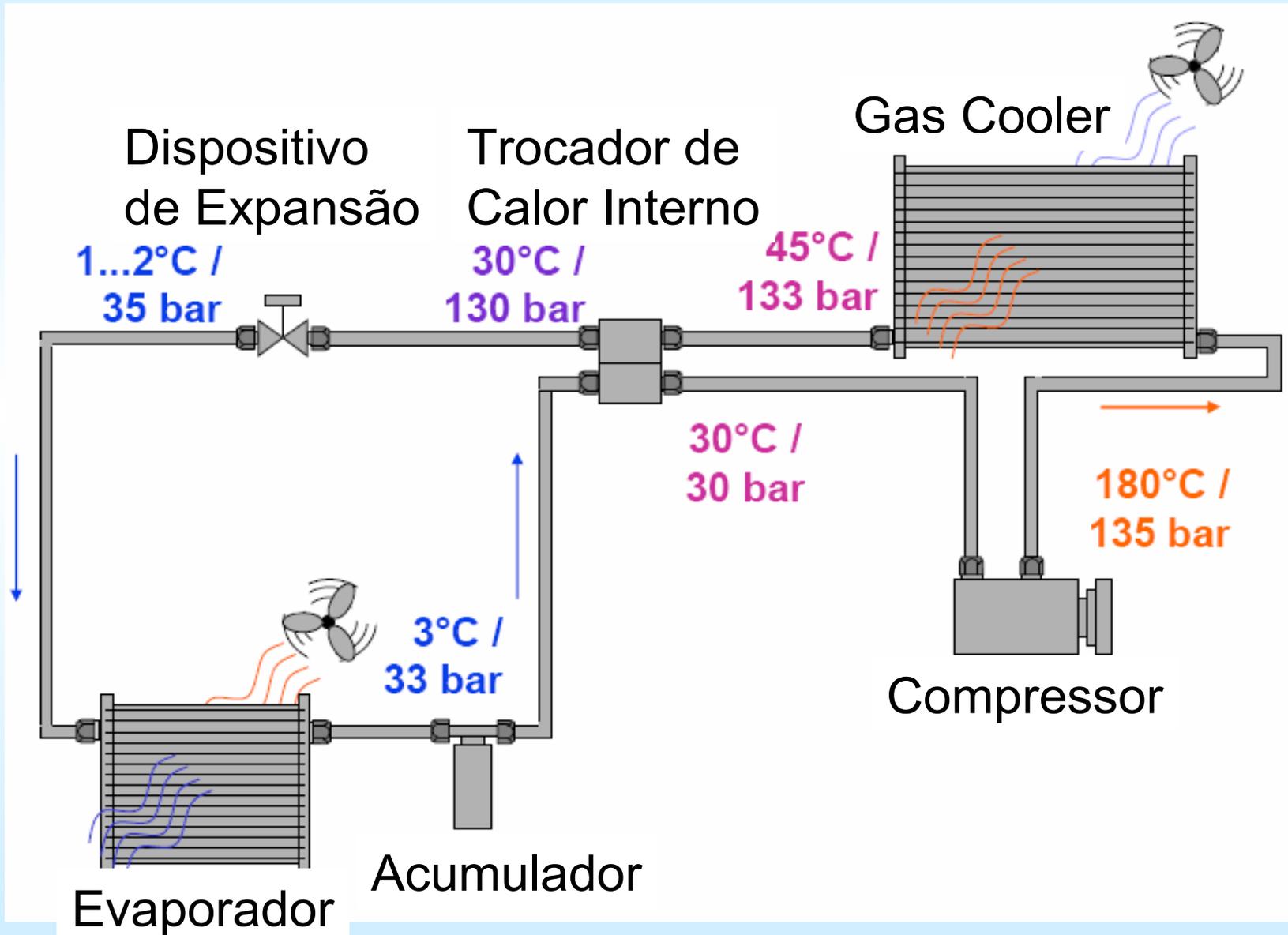
Ar Condicionado Automotivo



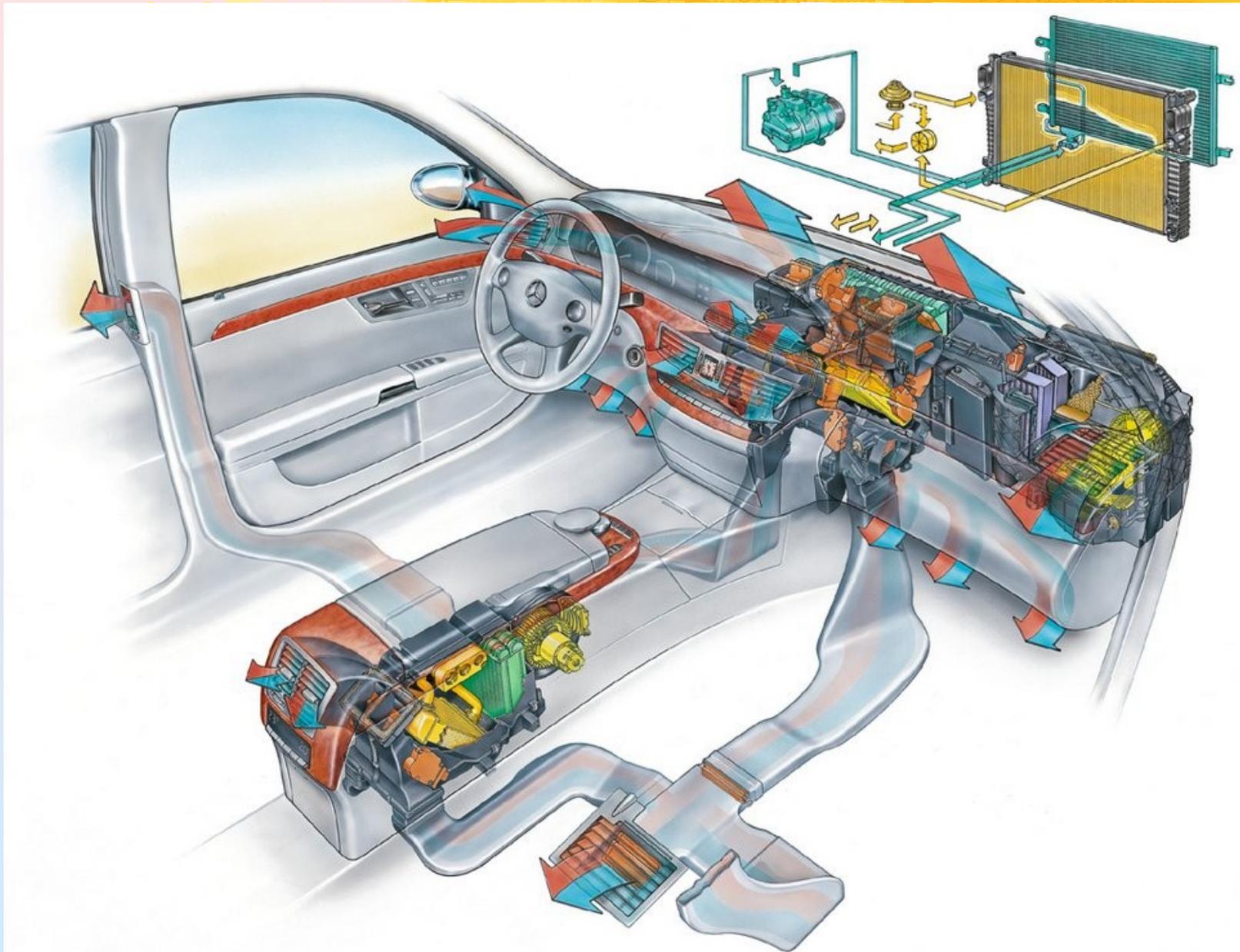
Ar Condicionado Automotivo



Sistema A/C com CO₂



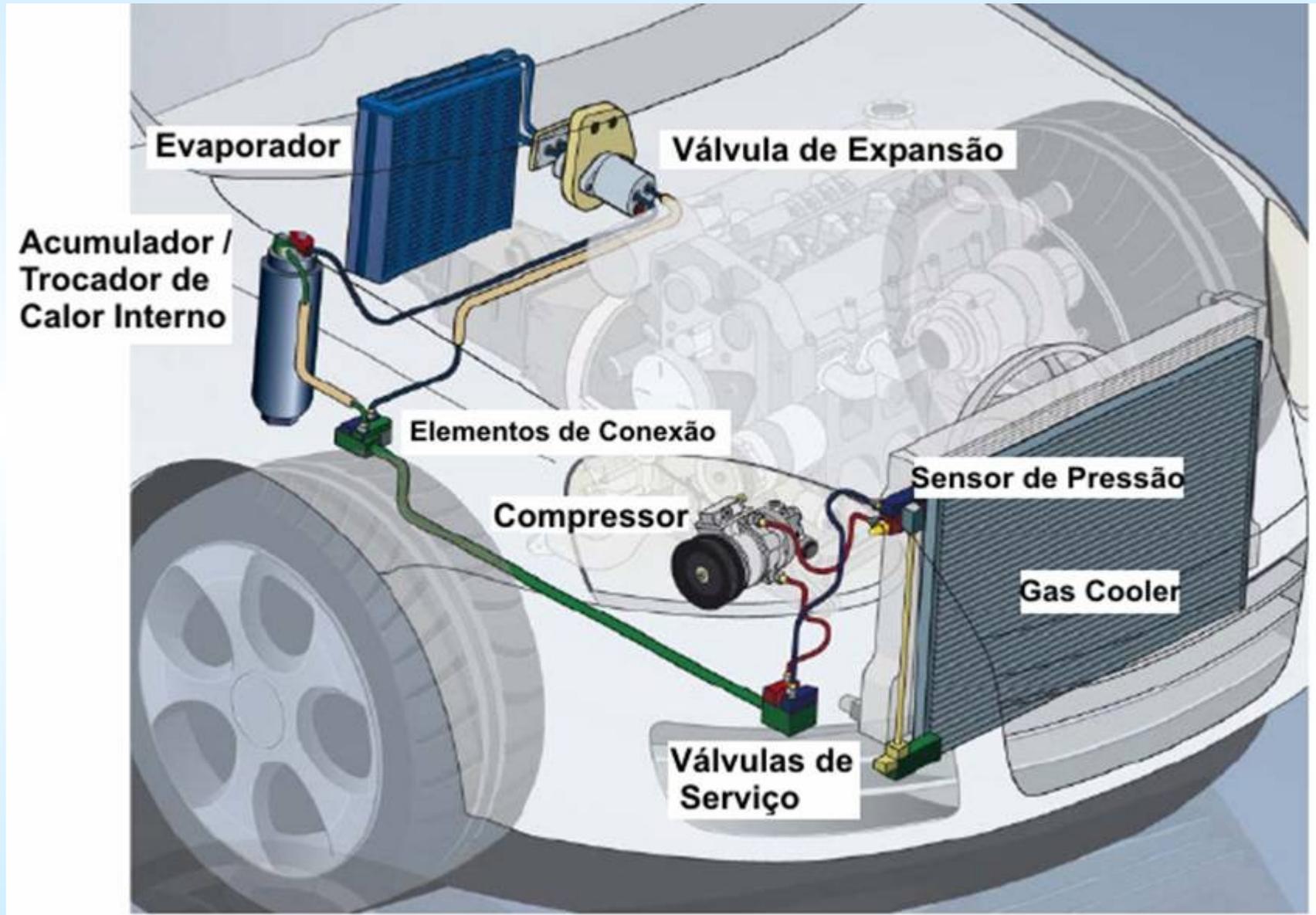
Ar Condicionado Automotivo



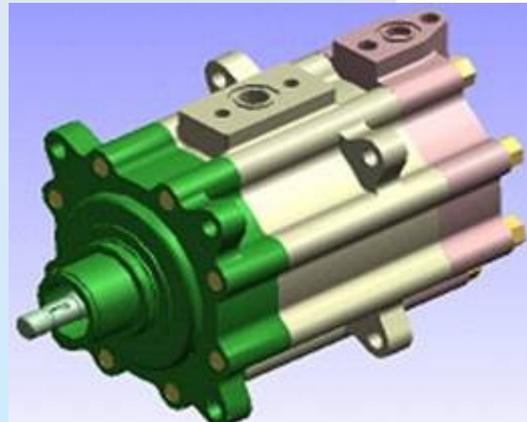
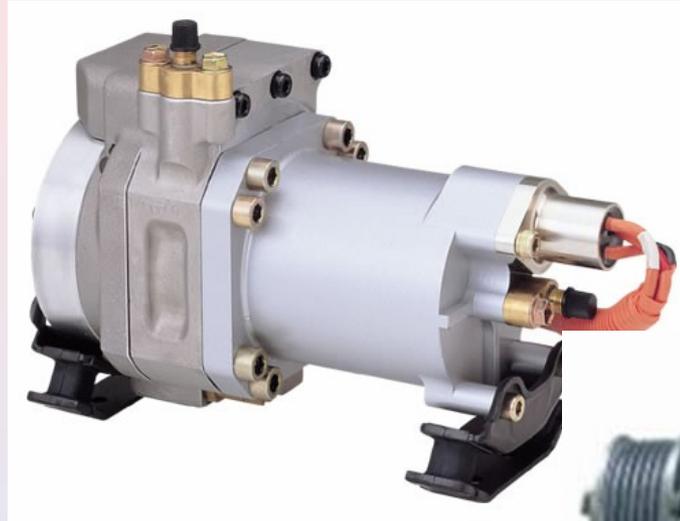
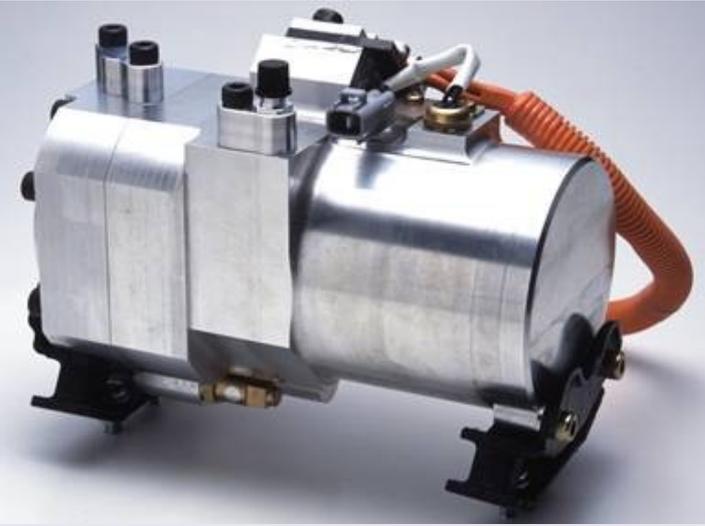
Ar Condicionado Automotivo



Ar Condicionado Automotivo



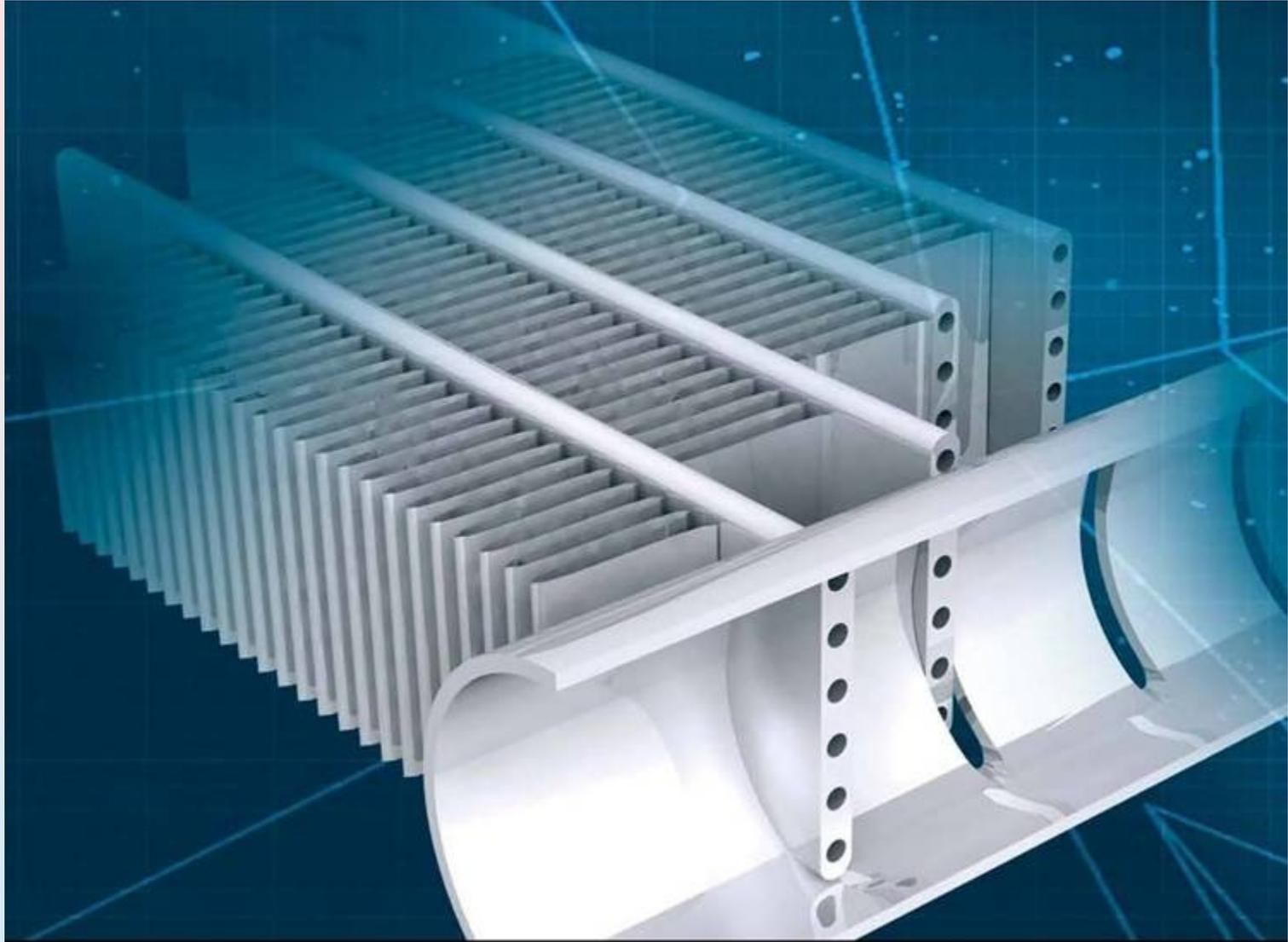
Compressor



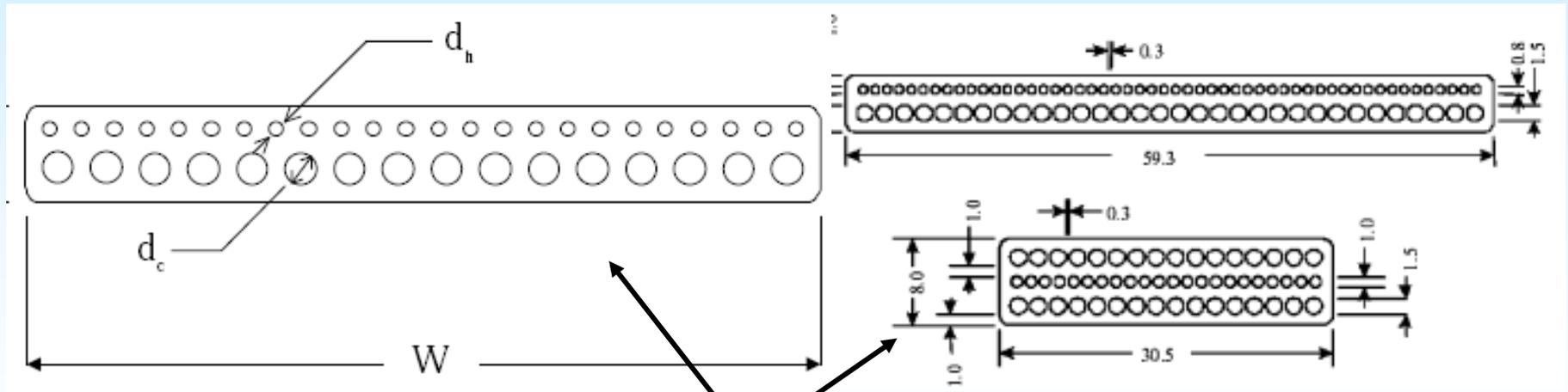
Trocadores de Calor



Gas Cooler e Evaporador

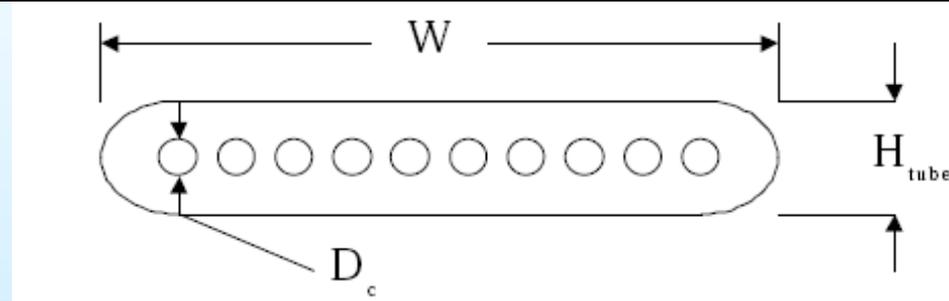


Comparativo



Configuração de Trocador de Calor Interno

Configuração de Trocador de Calor – Gas Cooler

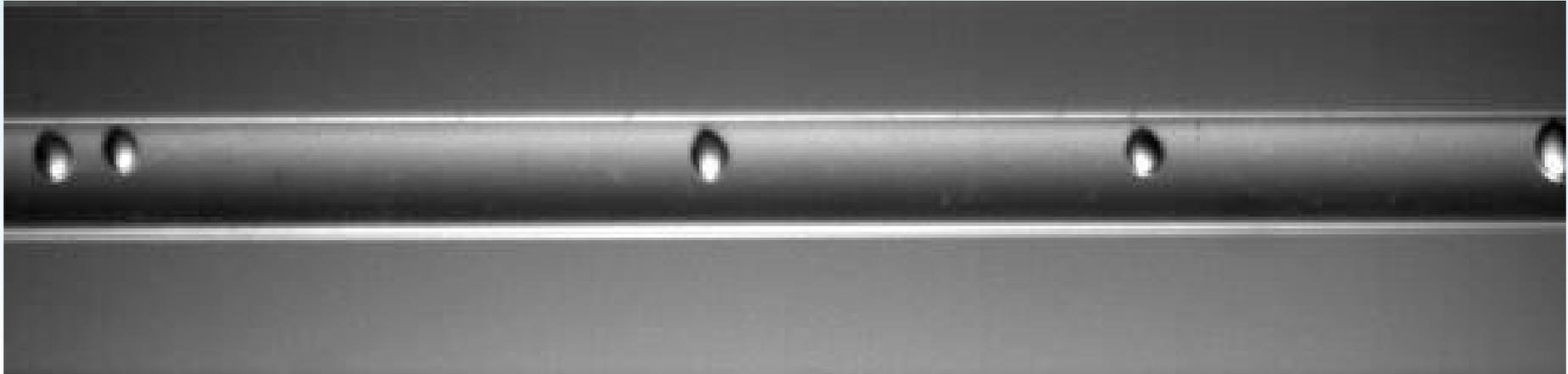




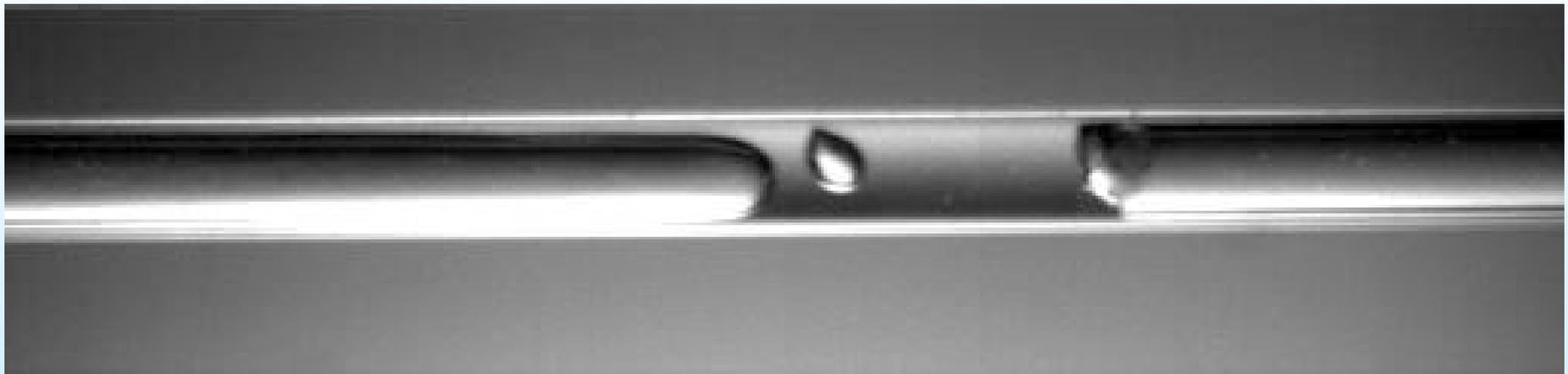
**Visualização do
Escoamento no Interior
de Trocadores de Calor
tipo Microcanais**



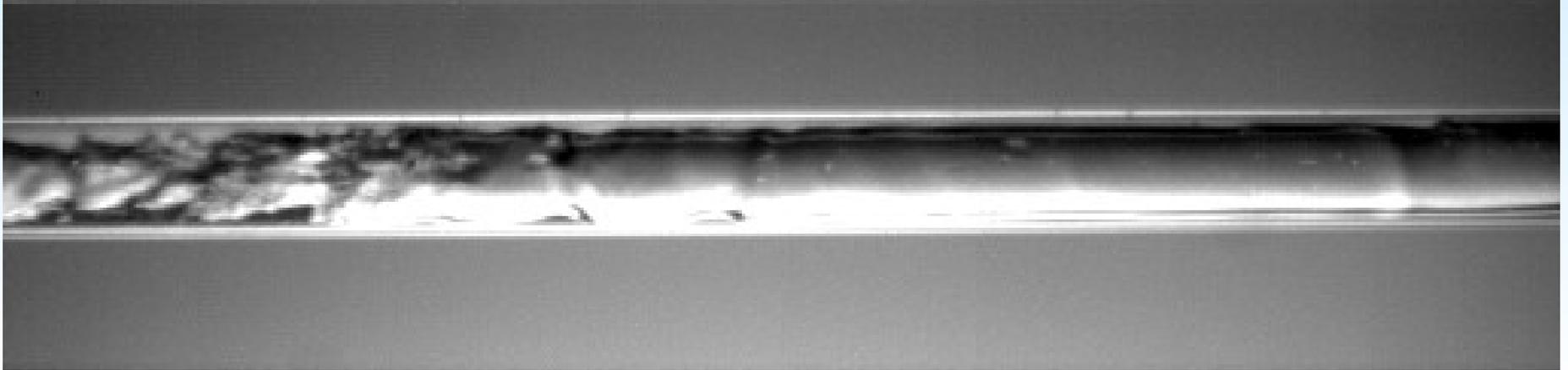
Bolhas



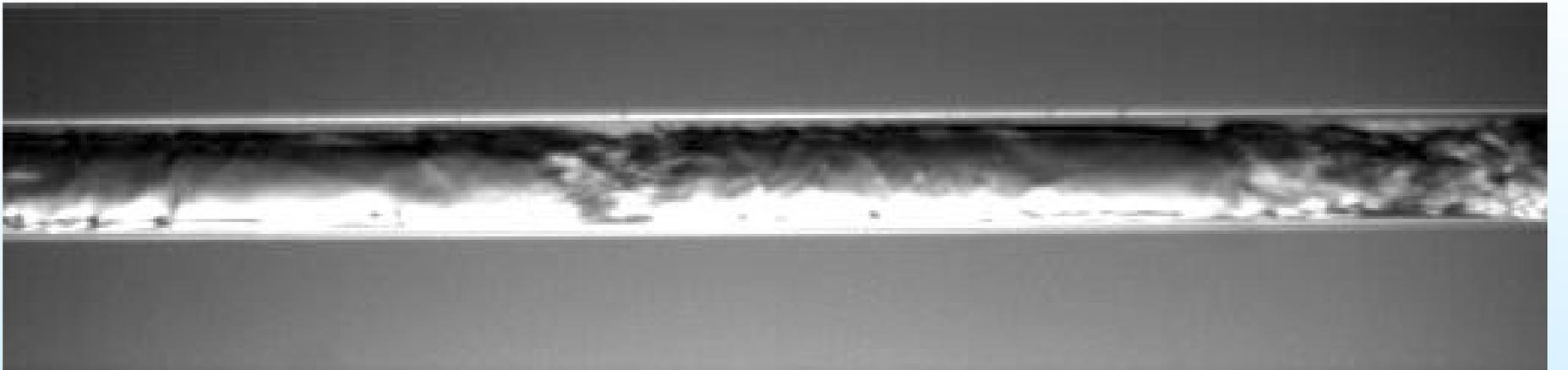
Escoamento Intermitente



Escoamento Semi-Anular



Escoamento Annular

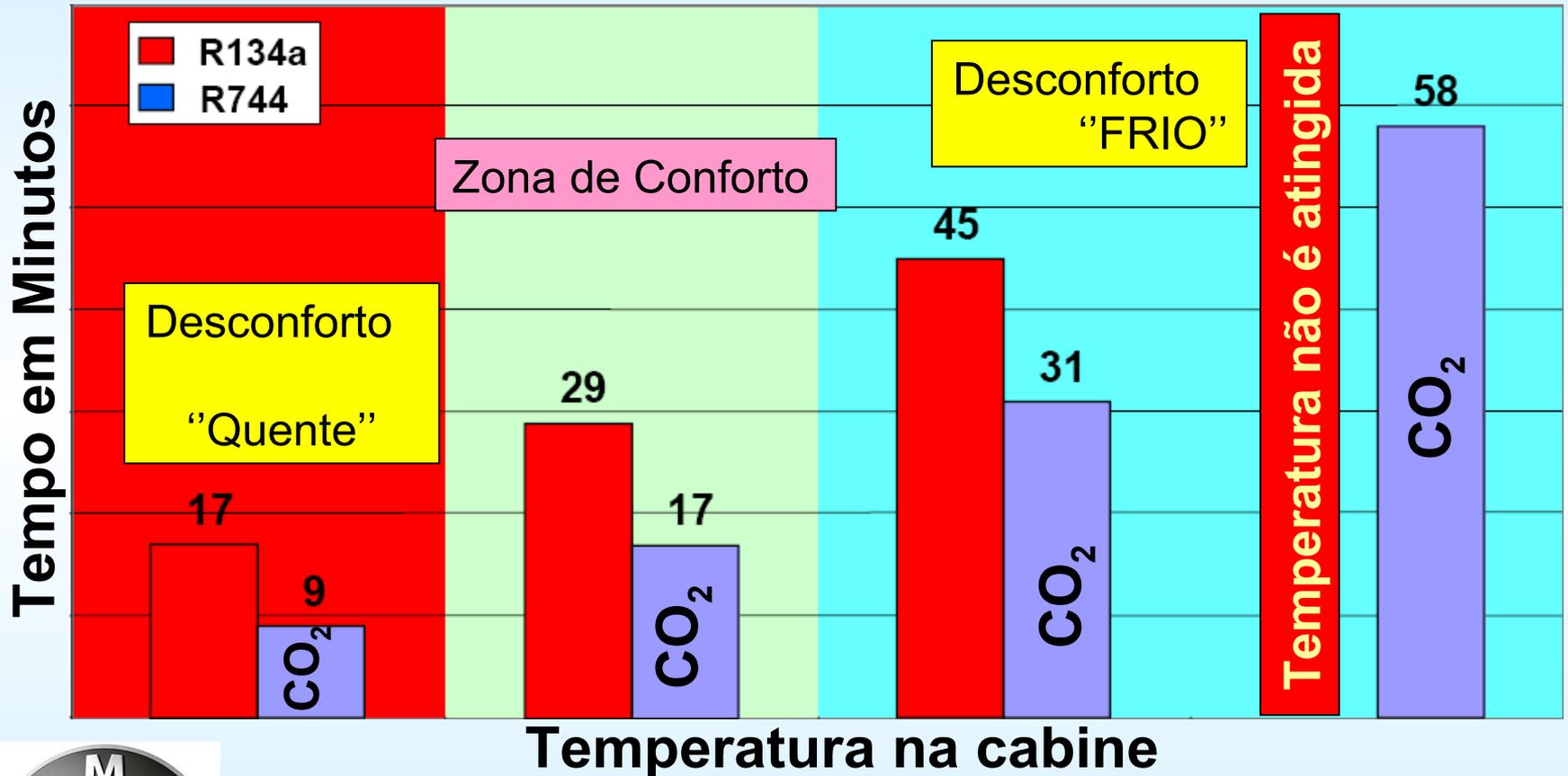


Comparação de Resultados obtidos em Testes com Veículos

Comparação R134a x CO₂



Comparação R134a x CO2



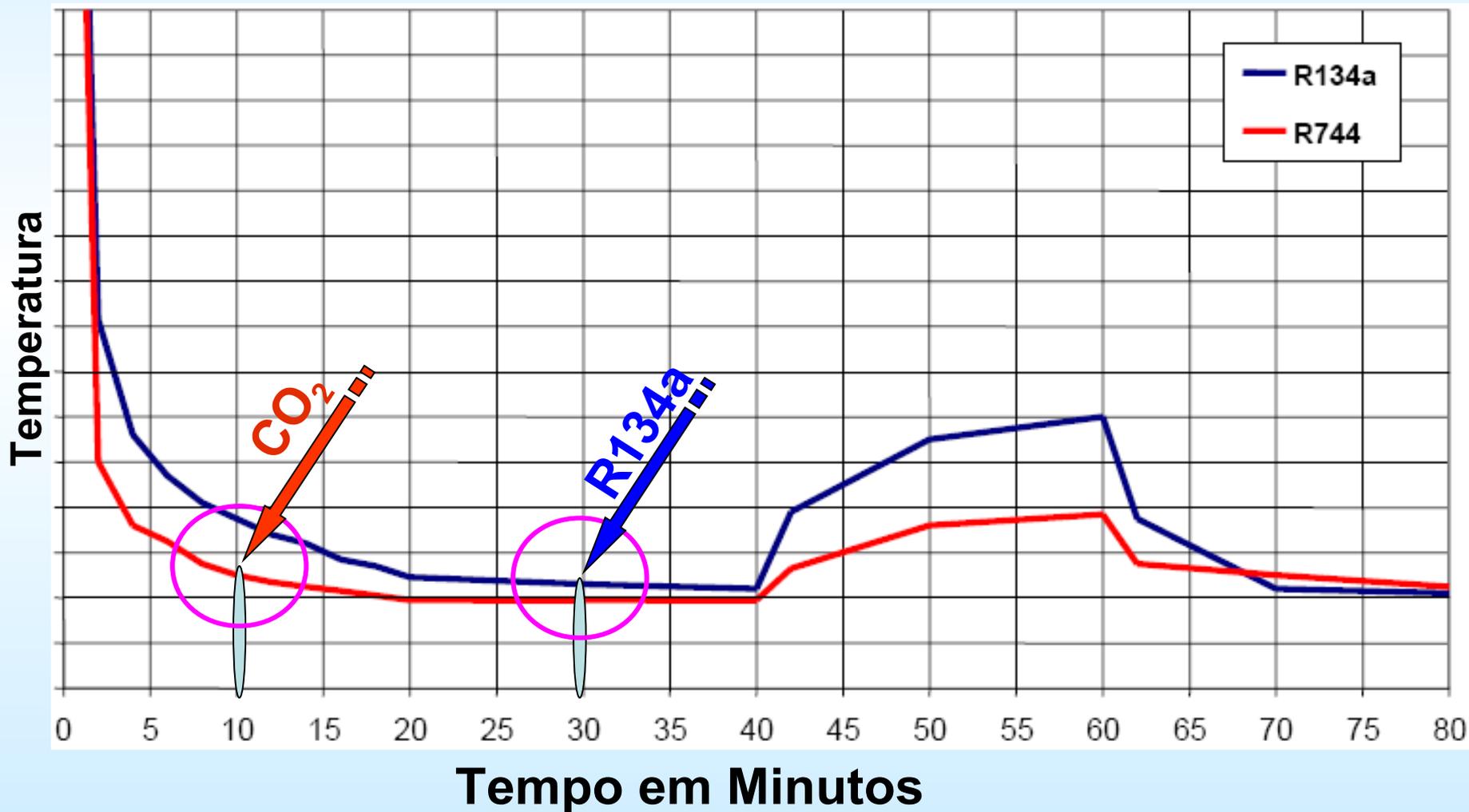
Série 3

Temperatura Inicial da cabine: 75°C
Sol: 1000 W/m²
Temperatura Ambiente: 40°C

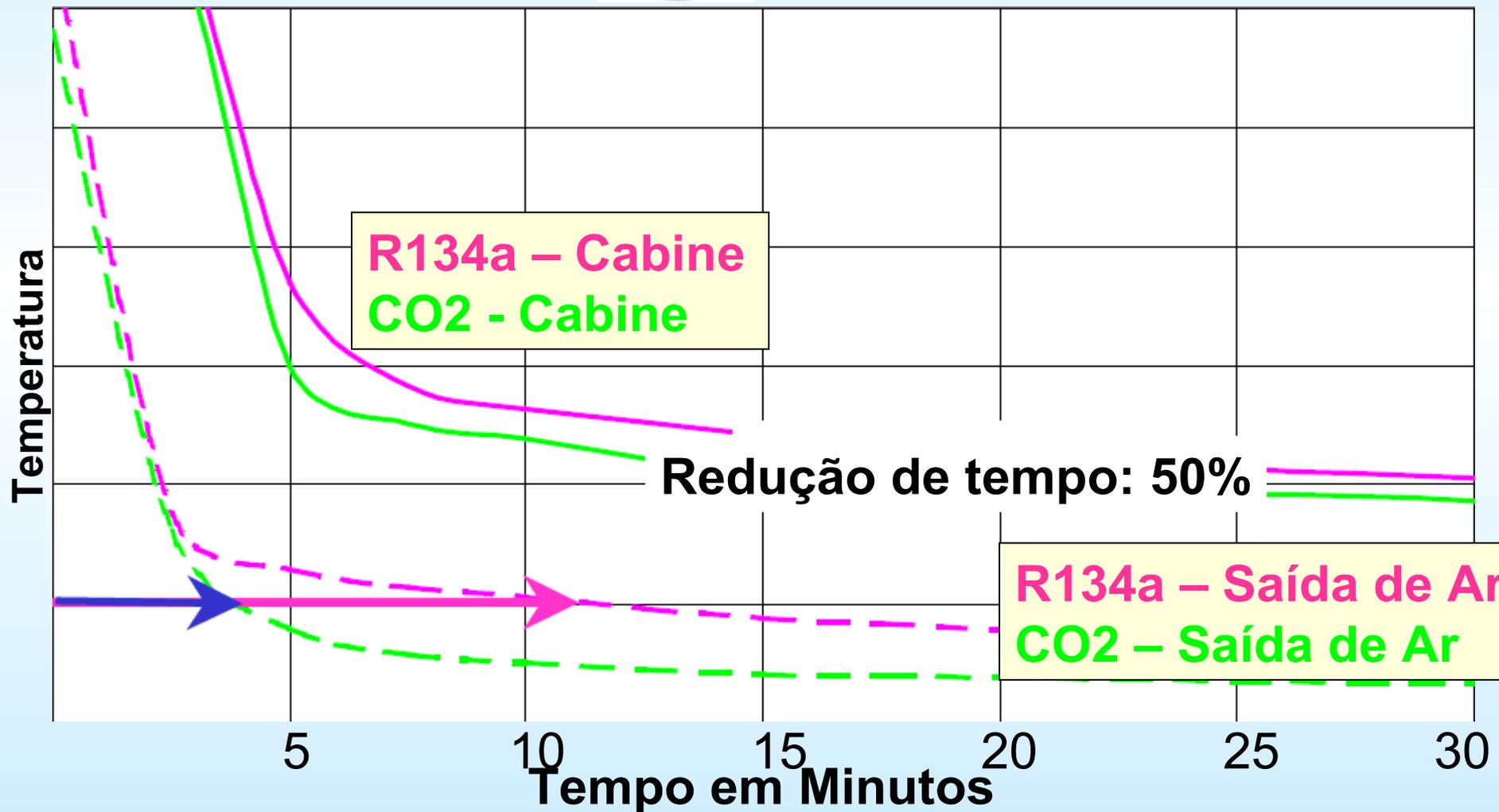
Comparação R134a x CO2



Audi A4



Comparação R134a x CO2



Resumo dos Testes

- O sistema com CO₂ mostrou melhor desempenho para atingir a temperatura desejada,
- Alcança valores reduzidos da temperatura da cabine,
- Elevado potencial no desenvolvimento de componentes com melhor desempenho,
- Redução no consumo de combustível comparado ao sistema com R-134a.

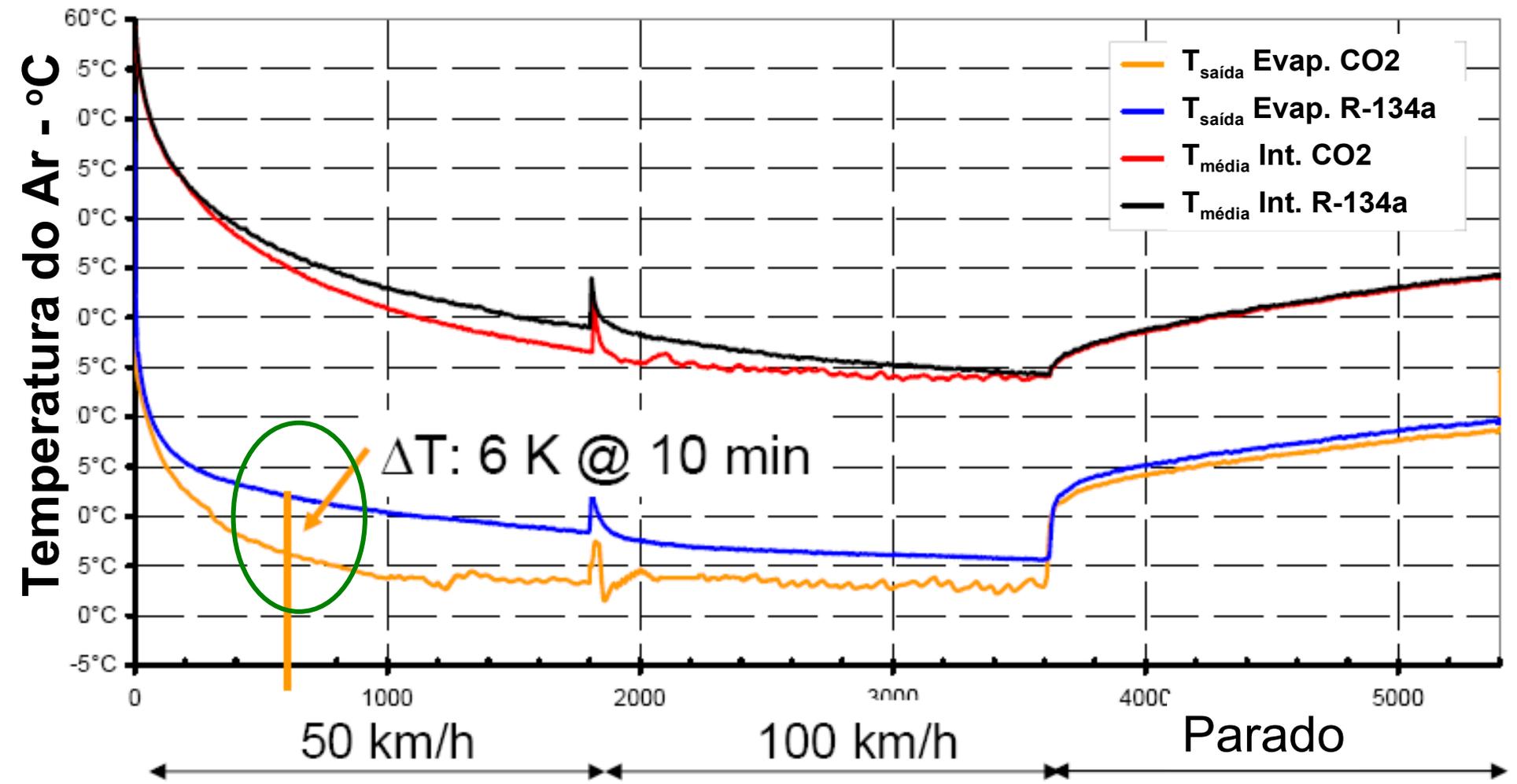
Comparação R134a x CO2 – 1000cm³



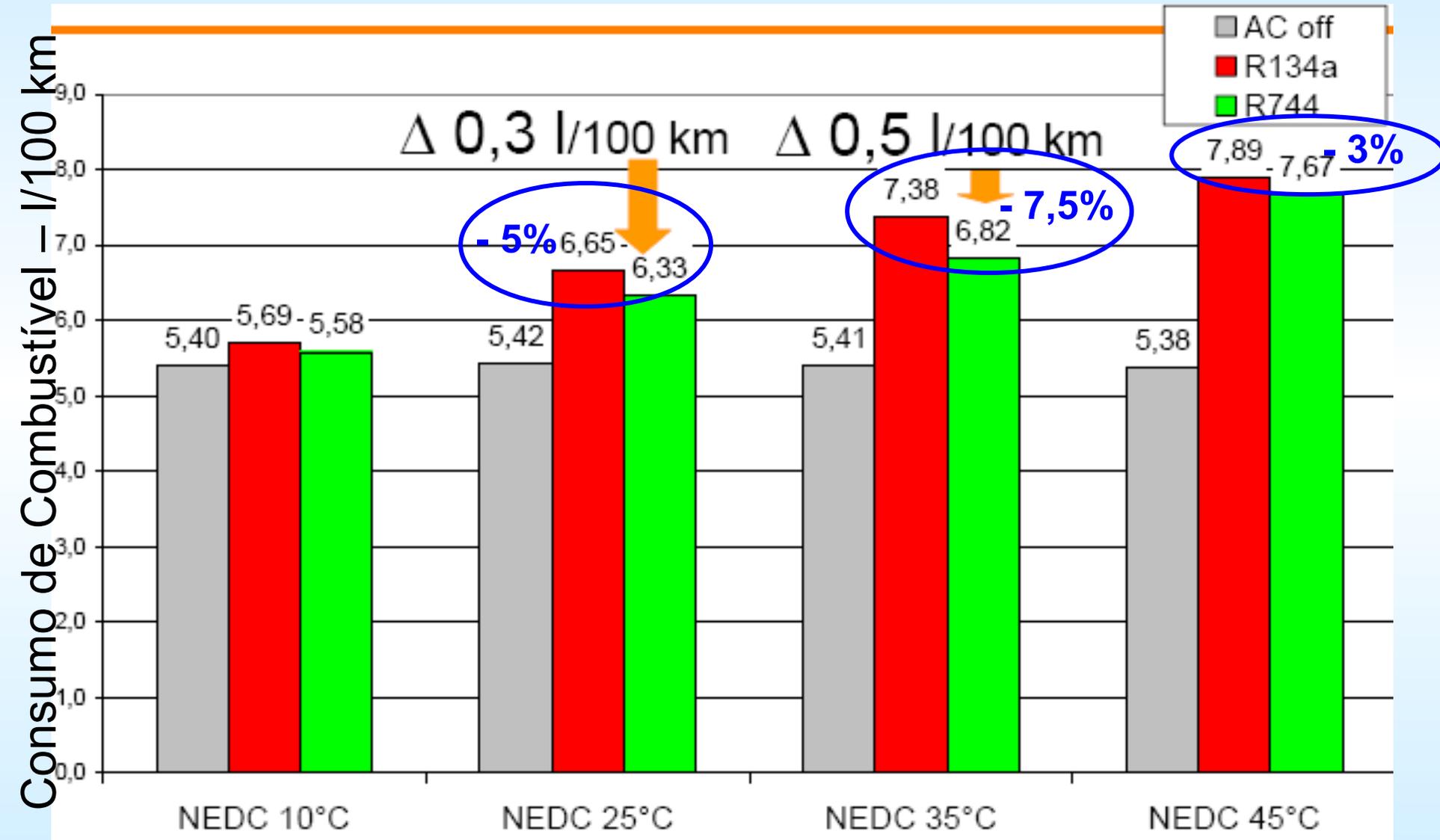
all down test at 45 °C/40 % RH, sunload 1000 W/m²

R134a system: good system for small vehicles class

R744 system: improved cooling performance

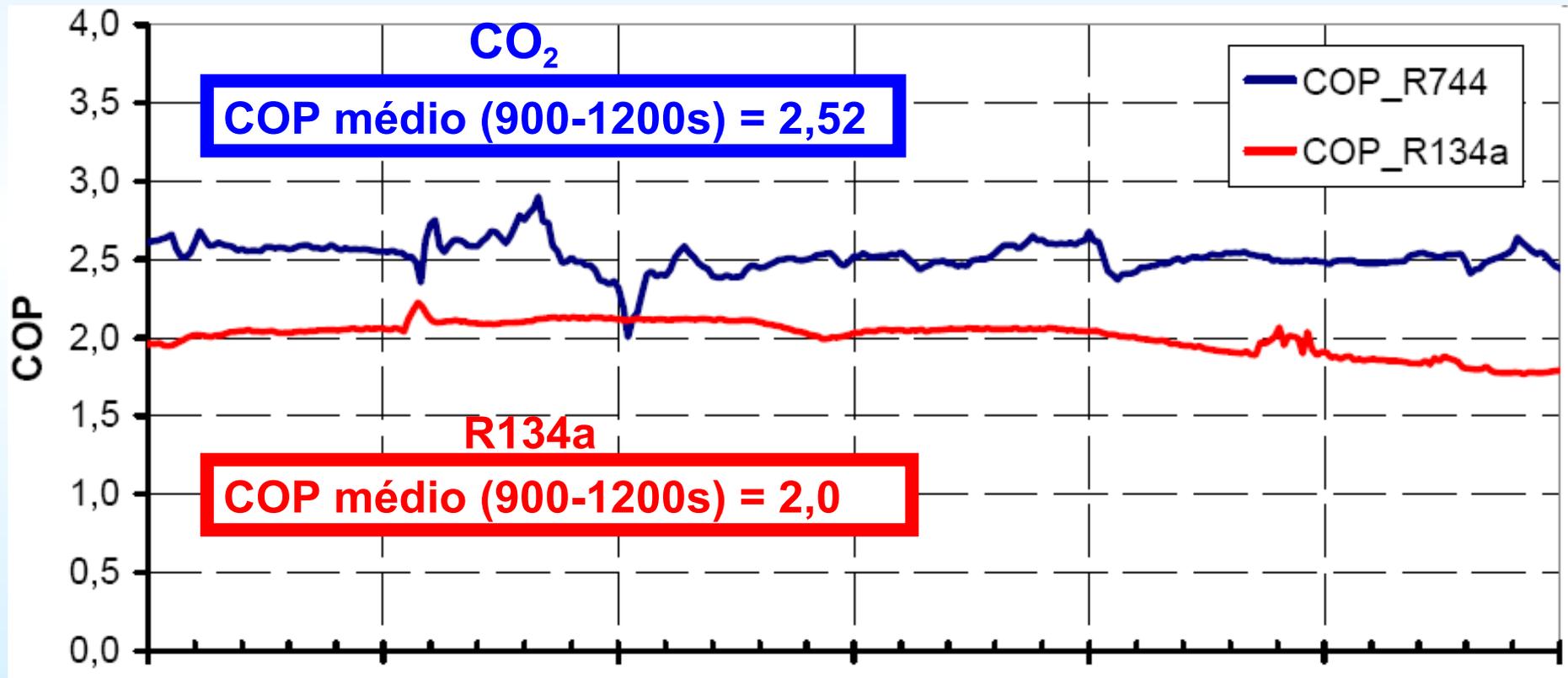


Comparação R134a x CO2 – 1000cm³

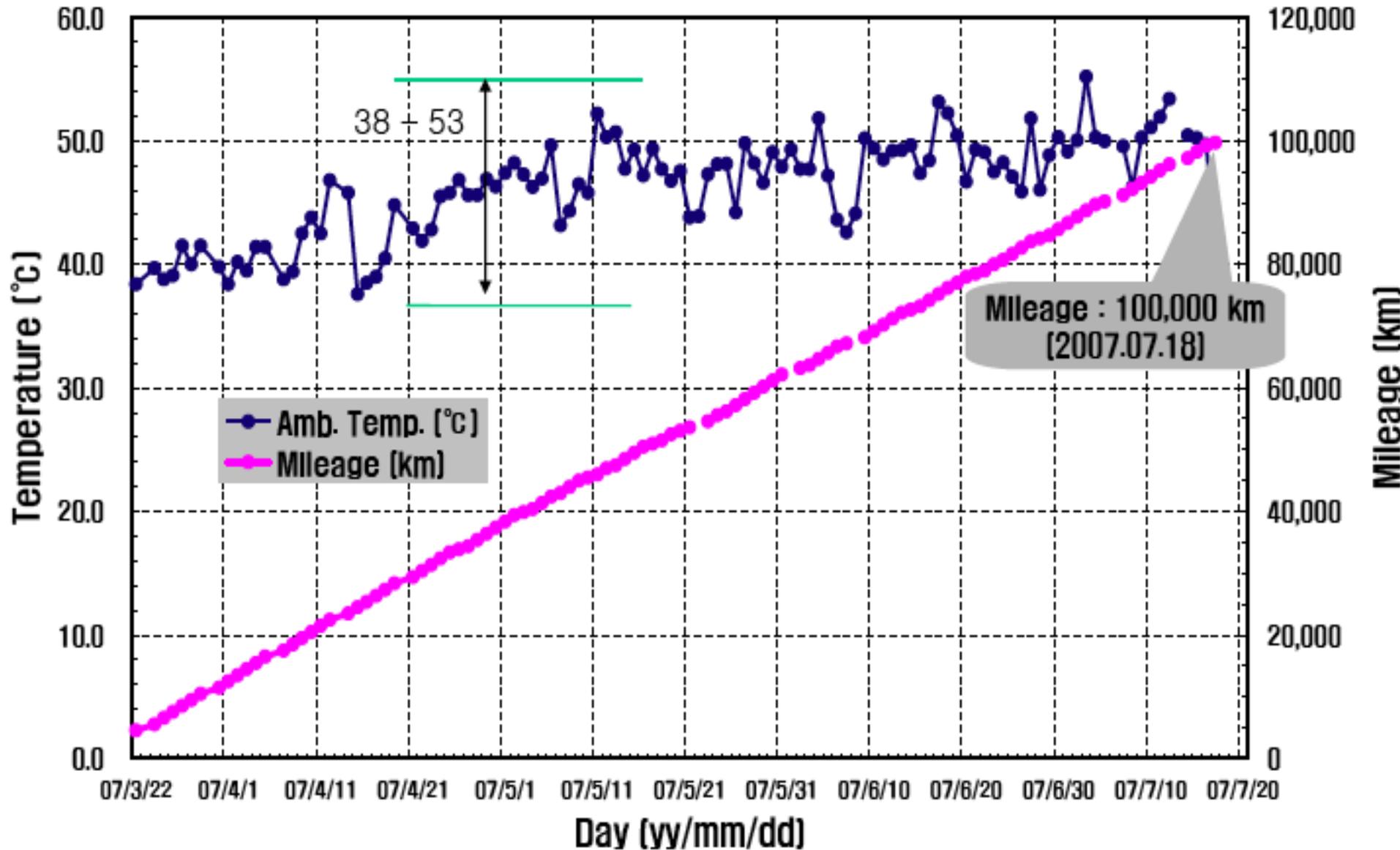


Comparação R134a x CO₂ – 1000cm³

Comparação com Temperatura de 45°C



Teste de Durabilidade - CO₂

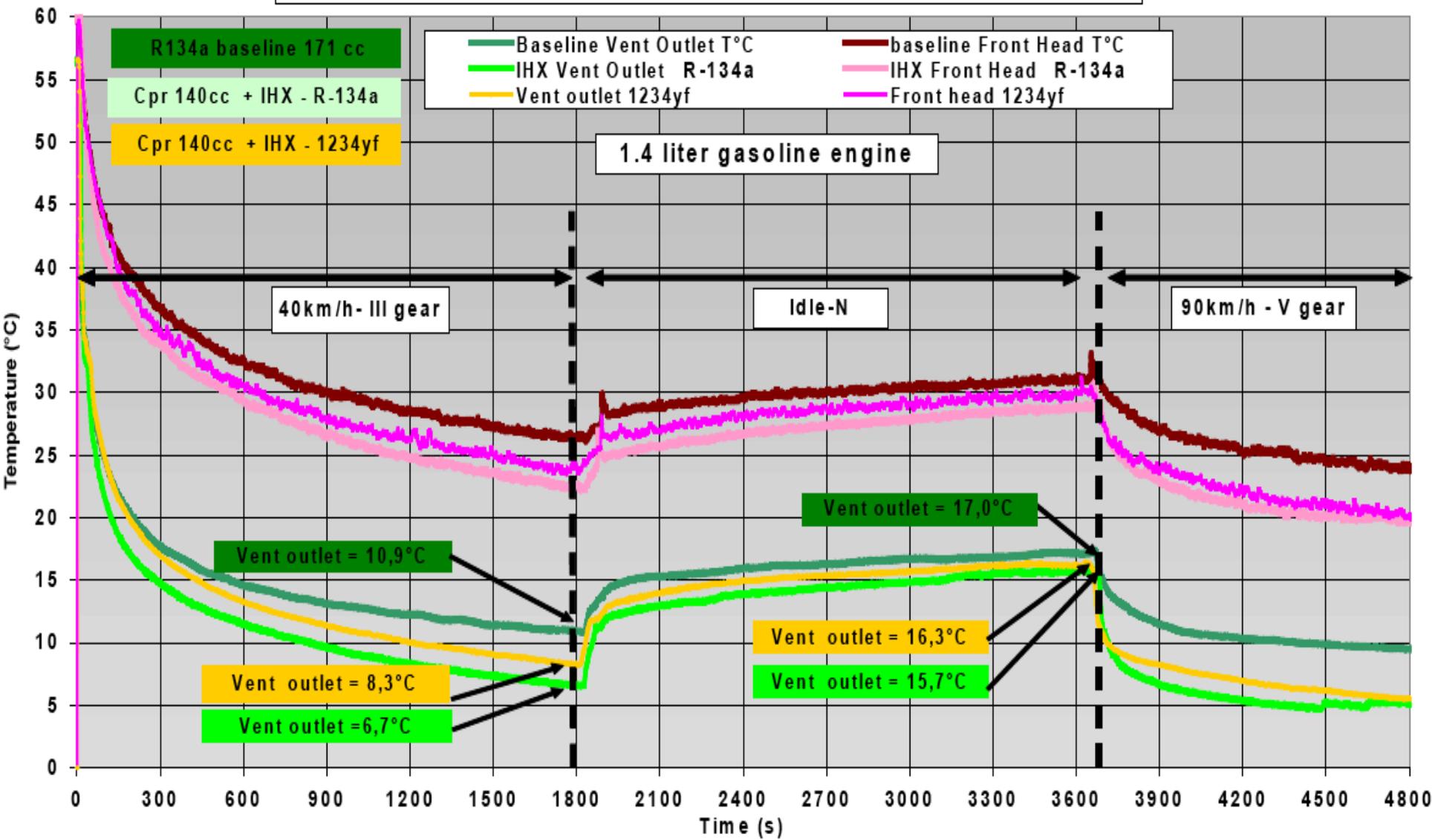


Marcas – HFO-1234yf (aguardando resultados)

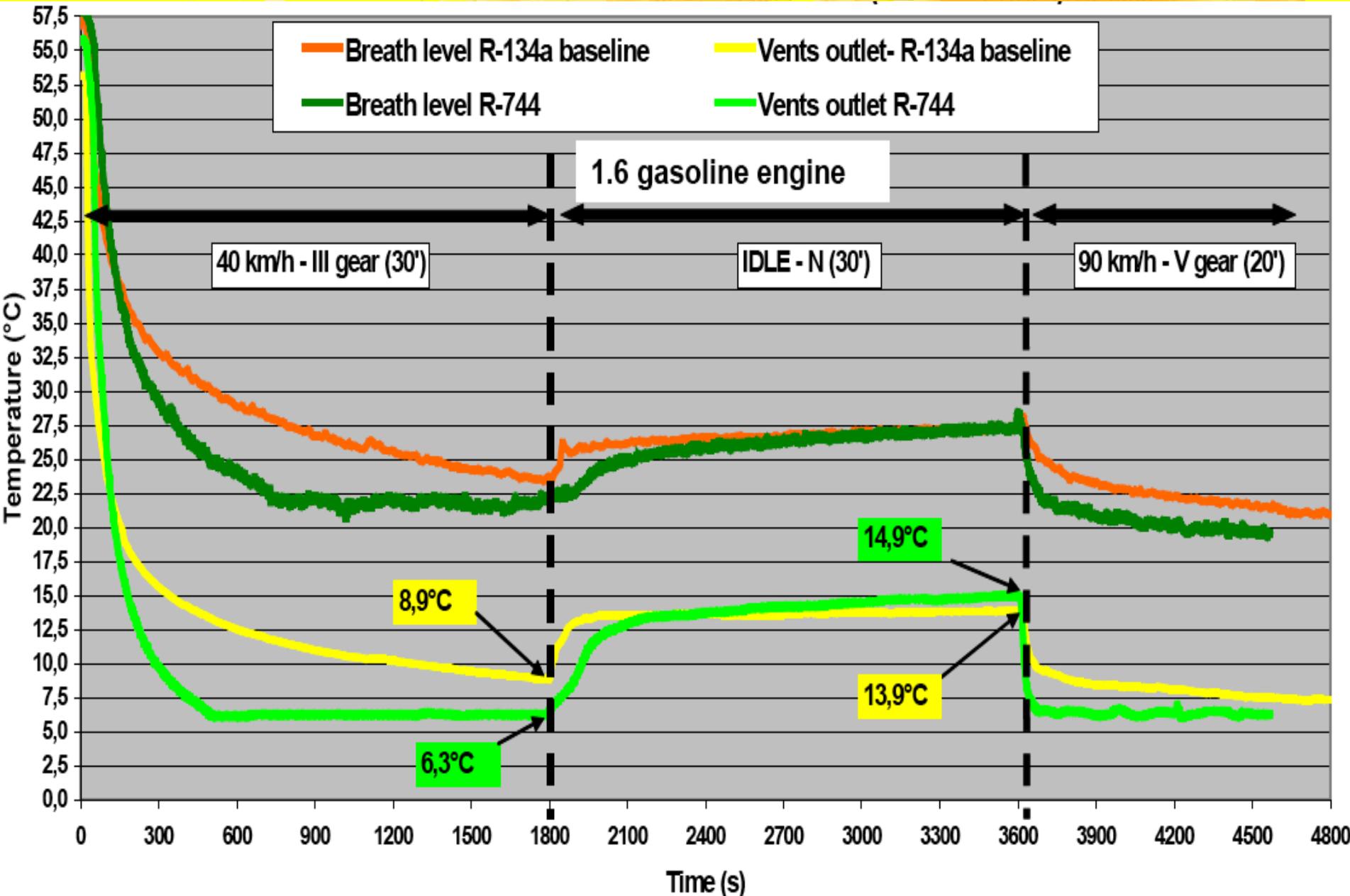


Testes – 2008 - R134a x HFO1234yf – 1.4l

LV Windtunnel tests - Valeo cool down R134a vs. HFO 1234yf
Ambient air conditions 45°C & 40% RH (recirculation)



Testes – 2008 - R134a x R744 – 1.6l

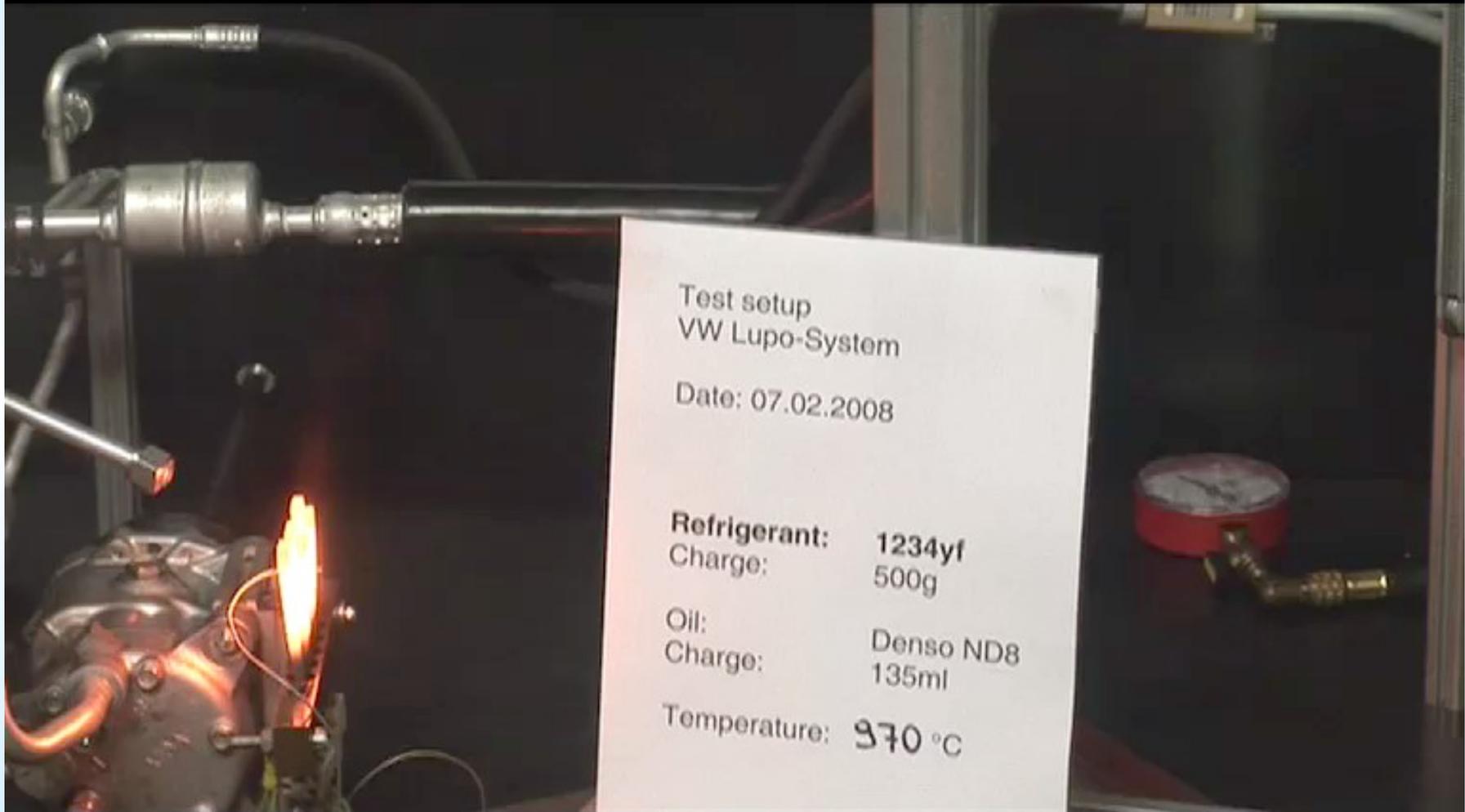




**Vídeos - Ensaaios de
Inflamabilidade
R-1234yf**



Testes – com R-134a, CO2 e R-1234yf



Testes – com R-1234yf



Resumo dos Testes

- Sistema com CO₂ para Veículos de baixa potência provou ser viável e pode ser projetado com os componentes padrões.
- Consumo de combustível em média 5% menor com o CO₂. Isso pode levar a uma redução na emissão de CO₂ pelo escapamento entre 6 e 10 g/km.
- Isso leva a crer que a medida que forem projetados equipamentos melhores, a tendência é de maior vantagem para utilização do CO₂.
- Testes com o HFO-1234yf mostraram o elevado risco de incêndio em vazamento ou colisão.

Futuro – HFO-1234yf

CO₂ Falling Out of Favor

Automakers Picking HFO

WARREN, Mich.—The decision by General Motors to use the refrigerant HFO-1234yf in 2013 models appears to have ended the move toward CO₂ to replace HFC-134a in mobile air-conditioning applications.

Chemical and Engineering News magazine is reporting that the German Association of the Automotive Industry is now supporting HFO-1234yf to replace HFC-134a, which is being banned in 2011 in the European Union because of global warming. HFC-134a stays in the atmosphere 13 years while HFO-1234yf stays 11 days.

As late as 2007, the German association supported CO₂, but this change would require new equipment, whereas the change to HFO-1234yf would be much less costly.

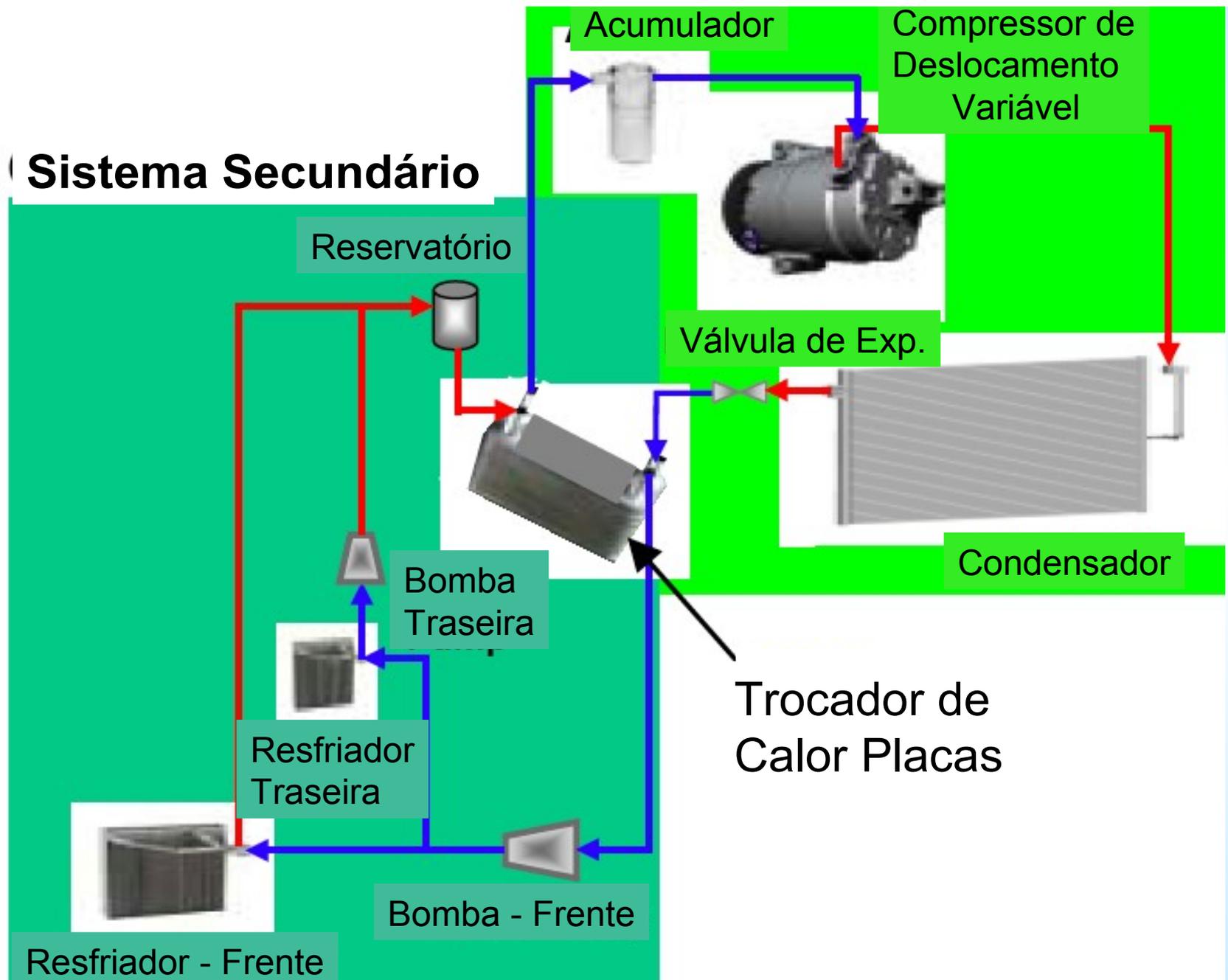


Sistemas com R-152a



Sistema de Refrigeração – R152a

Sistema Secundário



Prós e Contras

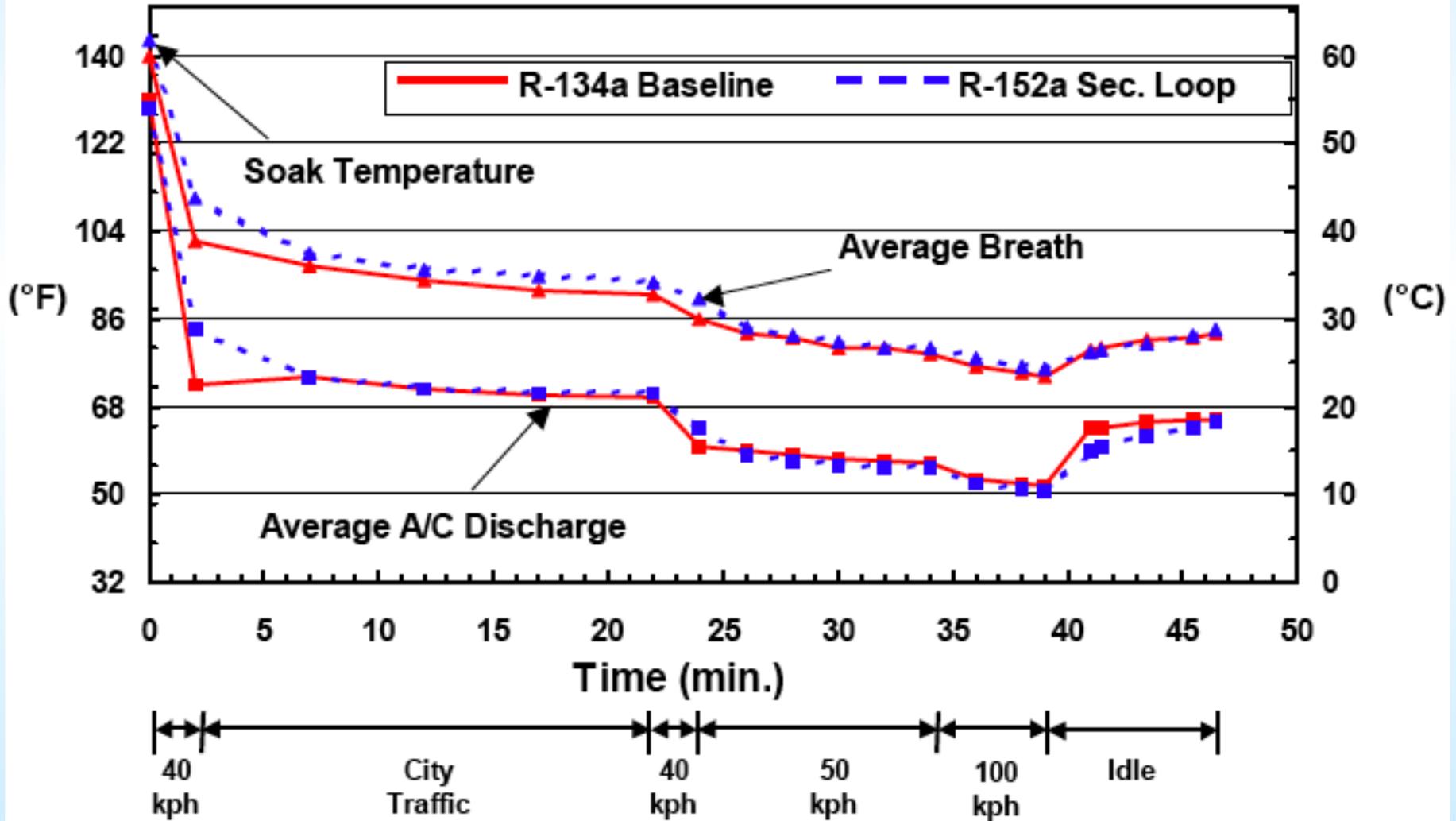
- Carga de Refrigerante é menor que sistemas convencionais,
- Aplicação em Multi-zonas sem aumento na carga de refrigerante
- Pontos adicionais sem limite e sem aumento da carga,
- Não há ruído na cabine pelo dispositivo de expansão,
- Não há variação de temperatura devido à má distribuição de refrigerante no evaporador.

Prós e Contras

- Peso total da Unidade de A/C,
- Mais componentes que fazem parte do sistema (Bombas, reservatório, entre outros)
- Maior potência elétrica necessária,
- Menor eficiência do Ciclo (COP),
- Menor desempenho no resfriamento (Cool Down) e no aquecimento.
- R-152a é um fluido INFLAMÁVEL

Comparativo entre R-152a e R-134a

XC90 A/C Cool-Down Performance Comparison
@ 115°F x 25% R.H. (46°C x 25% R.H.)

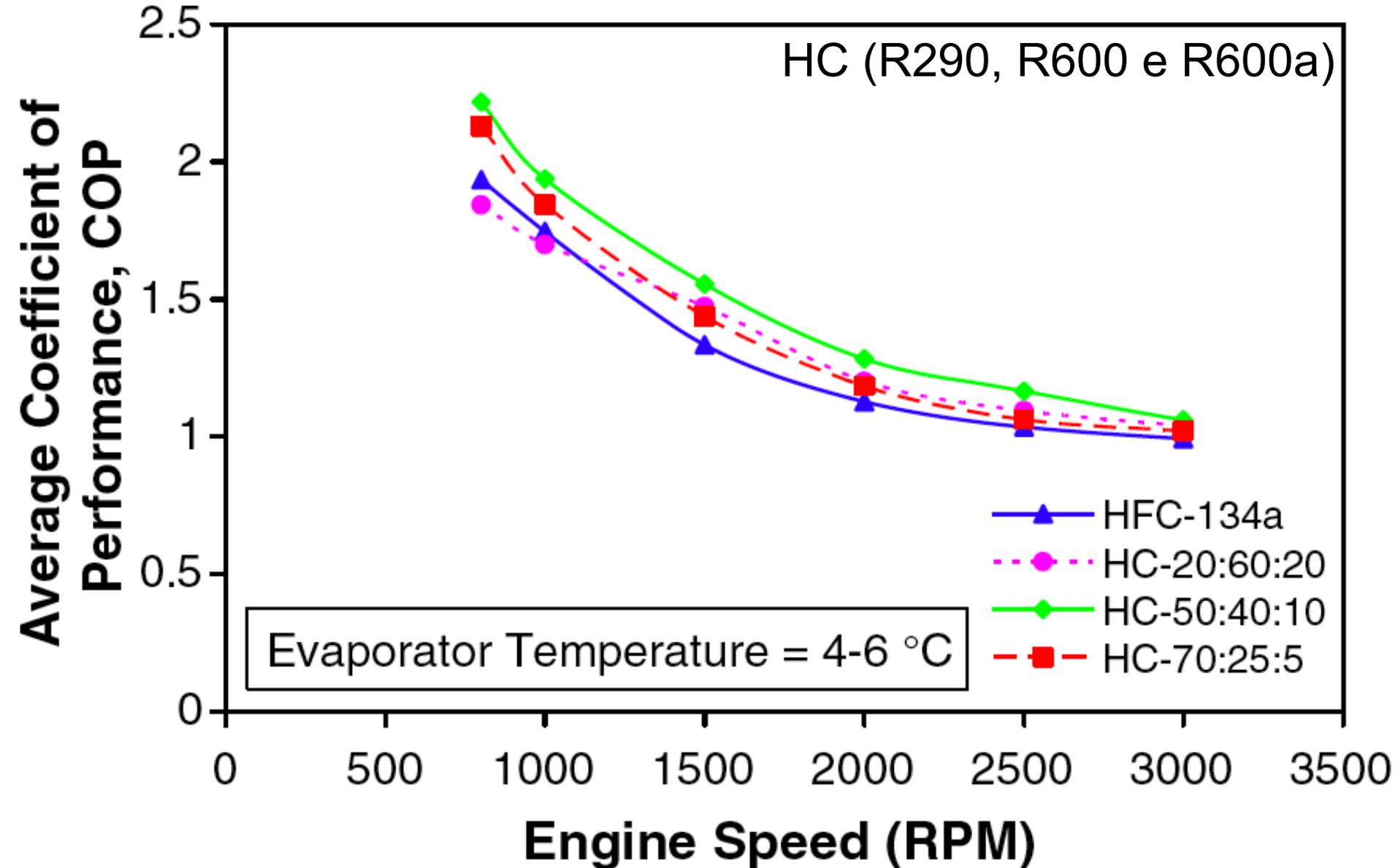




Sistemas com HC



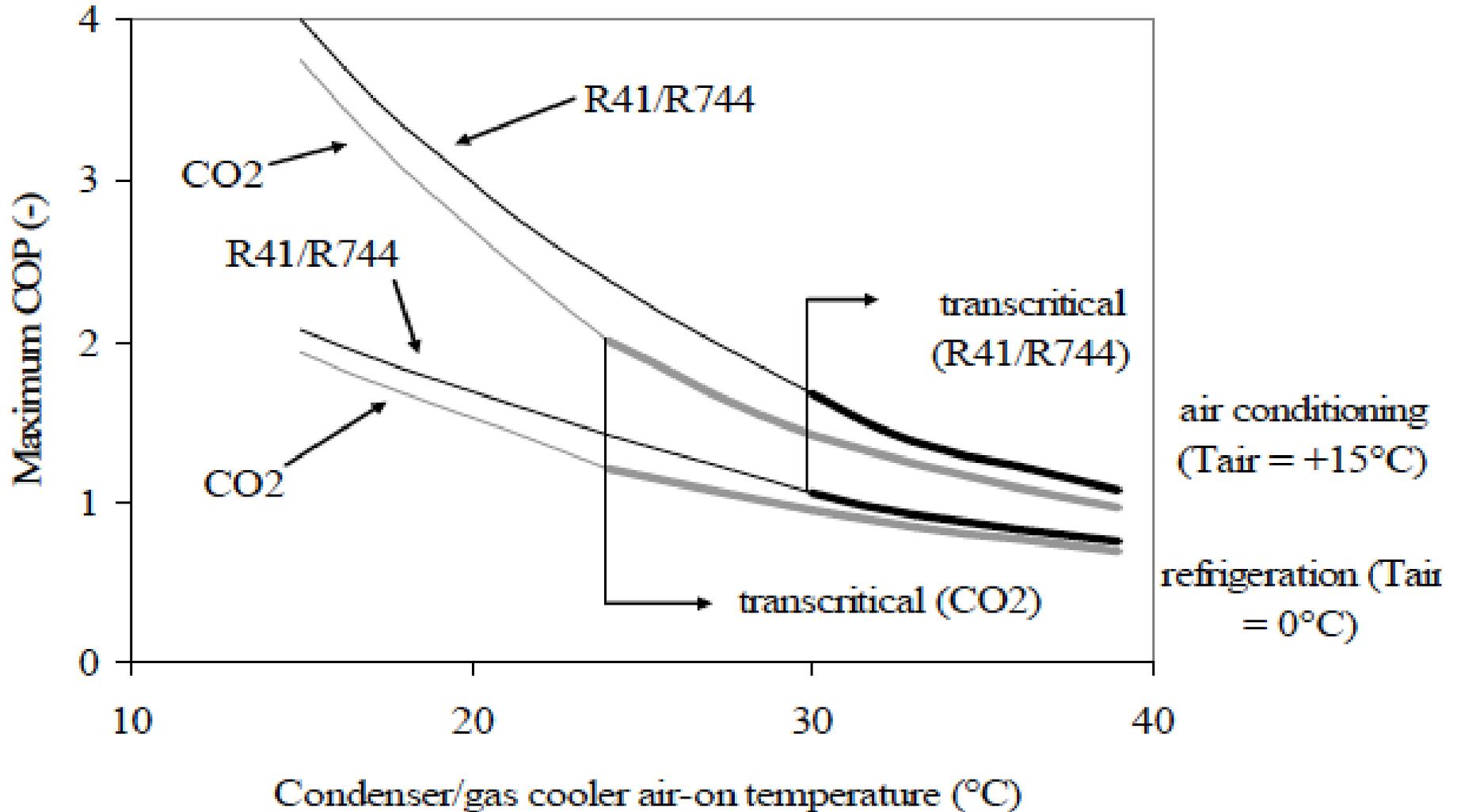
Comparativo HC x R134a



ECP-744 (Mistura)

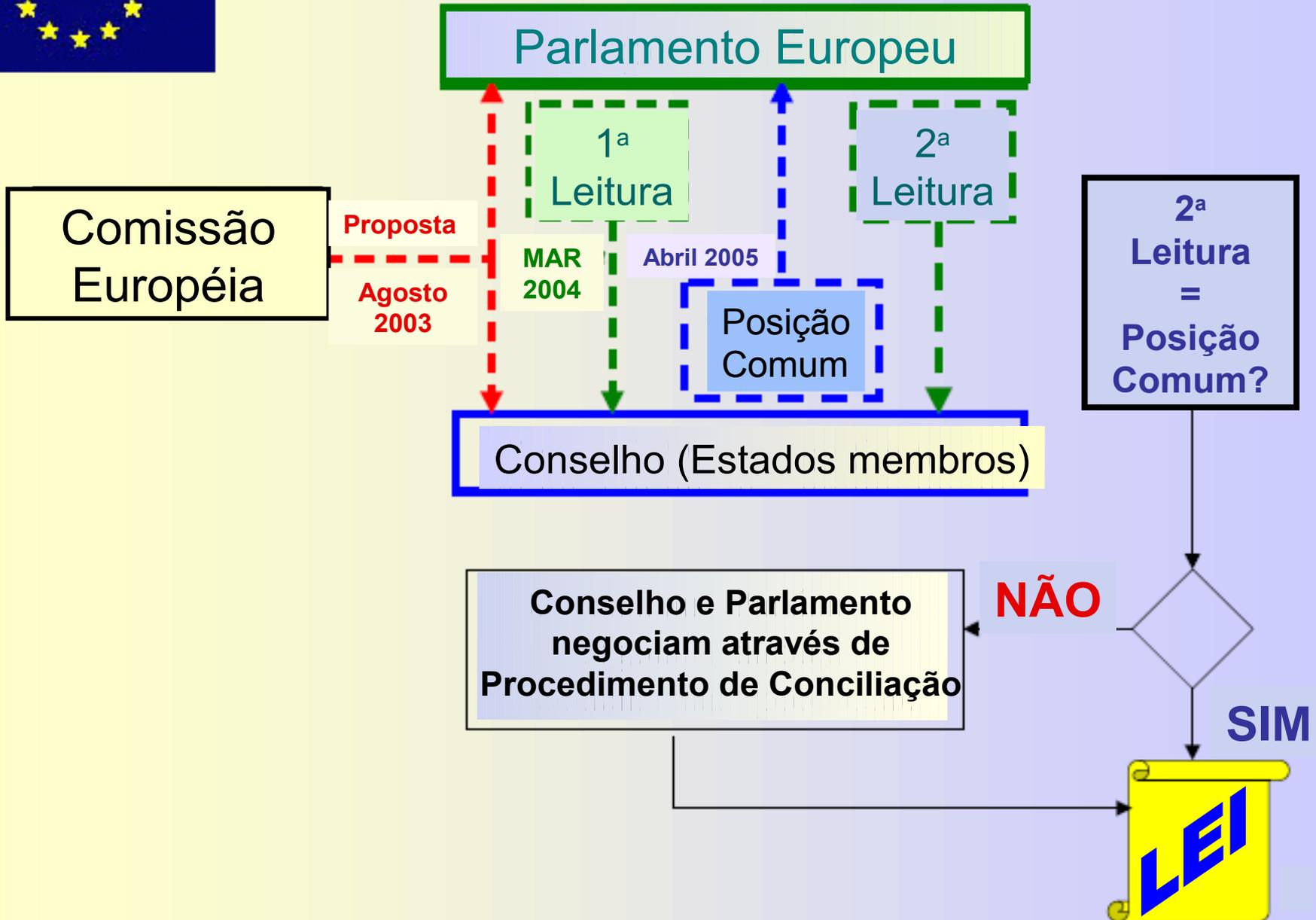
Name

ECP744





Decisão da Legislação da Comunidade Europeia sobre os Gases Fluorados





Considerações Finais



Emissões de CO₂ para Atmosfera

Emissões Diretas

Emissões Indiretas



* Vazamentos
* Acidentes 
* Fim de Vida

*
Escapamento
* Combustível
* Peso do A/C

Considerações Finais

- ✳ O CO₂ já tem tecnologia desenvolvida para utilização em sistemas de Ar Condicionado automotivo.
- ✳ Na Europa, a BMW e a Mercedes afirmaram que já iniciarão a instalação do A/C com CO₂.
- ✳ Em 2011 a Toyota já produzirá veículos com CO₂, incluindo aqueles com motor 1.0.
- ✳ Estima-se que haja somente na Europa um mercado de 15 milhões de novas unidades, podendo atingir 5 bilhões de Euros.

Obrigado pela Atenção

Perguntas ou Comentários?

