

CACIFI



Clube do Artigo Científico de
Fisioterapia Intensiva

Prof. Daniel Lago

Encontro 13
10.08.2022

Stepwise Ventilator Waveform Assessment to Diagnose Pulmonary Pathophysiology

Brigid C. Flynn, M.D., Haley G. Miranda, M.D., Aaron M. Mittel, M.D., Vivek K. Moitra, M.D., M.H.A., F.C.C.M.

Anesthesiology 2022; 137:85–92

Introdução

- Os gráficos do ventilador mecânico fornecem uma riqueza de informações sobre a fisiologia do sistema respiratório
- Os valores de pressão e fluxo podem ser variáveis:
 - independentes, que refletem o controle pelo ventilador
 - dependentes, que demonstram a resposta do sistema respiratório à ventilação mecânica



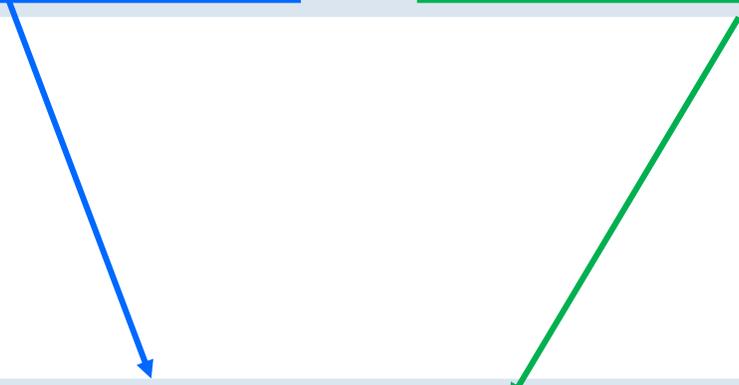
Introdução



- Gráficos pressão-tempo e fluxo-tempo podem revelar a fisiopatologia subjacente além dos parâmetros mais comumente avaliados, como Ppico, FR ou VC
- Nesta revisão narrativa, apresentamos uma abordagem passo-a-passo para diagnosticar a fisiopatologia pulmonar usando os gráficos do ventilador mecânico, tanto no modo PCV quanto VCV

Equação do movimento

- É uma equação das pressões

$$P_{Mus} + P_{Vent} = \text{pressão resistiva} + \text{pressão elástica} + PEEP$$


$$P_{Mus} + P_{Vent} = (R \times F) + (E \times V) + PEEP$$

Equação do movimento

- O gradiente entre os lados esquerdo e direito da equação de movimento determina a direção do fluxo de ar
- Isso é mostrado como mudanças nos gráficos de pressão e fluxo ao longo do tempo, à medida que o volume de ar circula para dentro ou fora das vias aéreas
- Exemplo
 - Paciente com alta elastância (complacência ruim) terá grande carga elástica e precisará de aumentos na P_{mus} e P_{vent} para levar ar para os pulmões

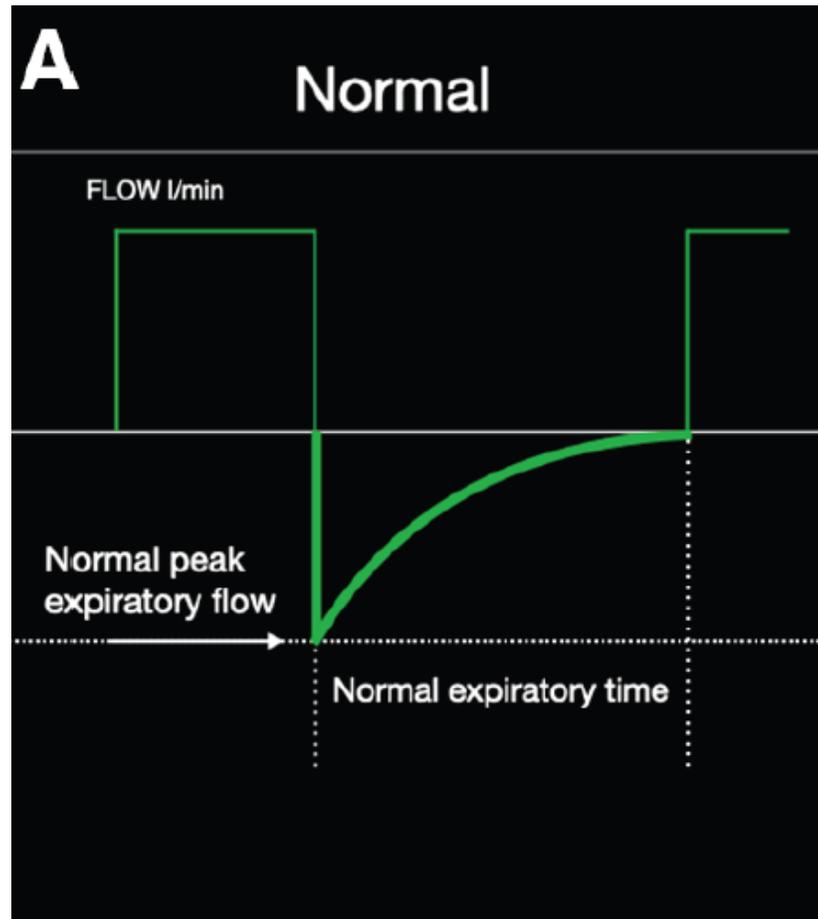
Equação do movimento

- Paciente paralisado: ventilador gera toda a pressão positiva recebida pelos pulmões do paciente ($P_{mus} = 0$)

À medida que o esforço do paciente aumenta (refletido como pressão negativa), a pressão das vias aéreas diminui e o ventilador gera menos pressão, o que é conhecido como “*work shifting*”

- **Objetivo:** abordagem passo a passo para o diagnóstico da fisiopatologia respiratória usando os gráficos do ventilador baseando-se na equação do movimento

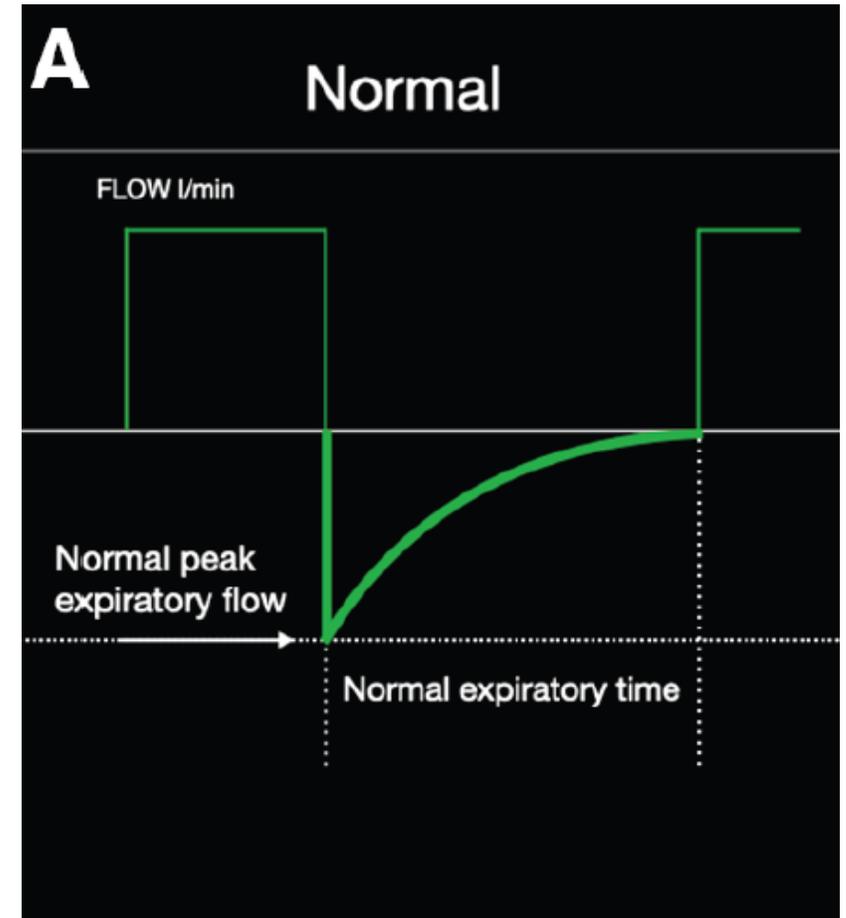
Expiração: abaixo da linha de base



- Em PCV ou VCV, a cessação do fluxo aplicado pelo ventilador dá início à expiração
- Depende do esforço do paciente e fisiologia pulmonar subjacente
- Na ausência de esforço, é um processo passivo que reflete as cargas resistivas e elásticas do sistema respiratório

Expiração: abaixo da linha de base

- O ramo expiratório do gráfico de fluxo passivo demonstra declínio exponencial até a linha de base à medida que a retração elástica torácica força o ar para fora do pulmão até que a PEEP seja alcançada
- Esse período passivo reflete a influência de variáveis apenas no lado direito da equação de movimento



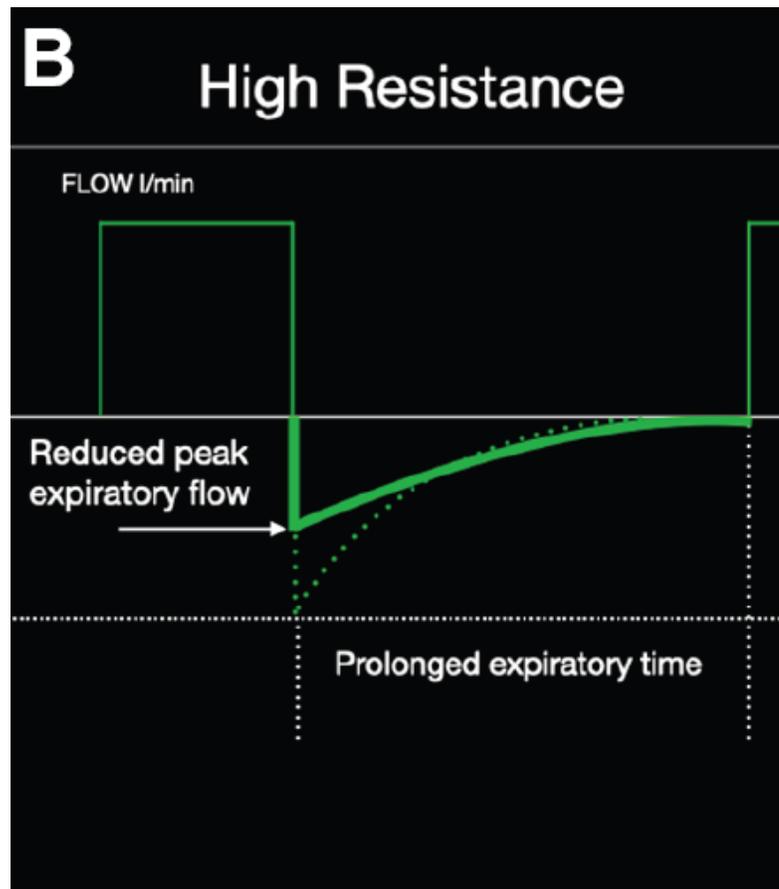
Expiração: abaixo da linha de base

- **Etapa 1:** Avaliar a forma de onda do fluxo expiratório para gerar uma hipótese fisiopatológica

Exalação passiva durante a ventilação

- O gradiente entre a pressão alveolar (pressão de platô) e a PEEP impulsiona o fluxo expiratório, que é máximo no início da expiração, quando a pressão alveolar é mais alta
- Avalie o pico de fluxo expiratório do paciente em relação à CT_{exp}
 - produto entre resistência e complacência
 - representa o tempo para o fluxo a retornar à linha de base ou à CRF do paciente
 - modelo unicompartimental – tempo para exalar 63% do volume

Expiração: abaixo da linha de base



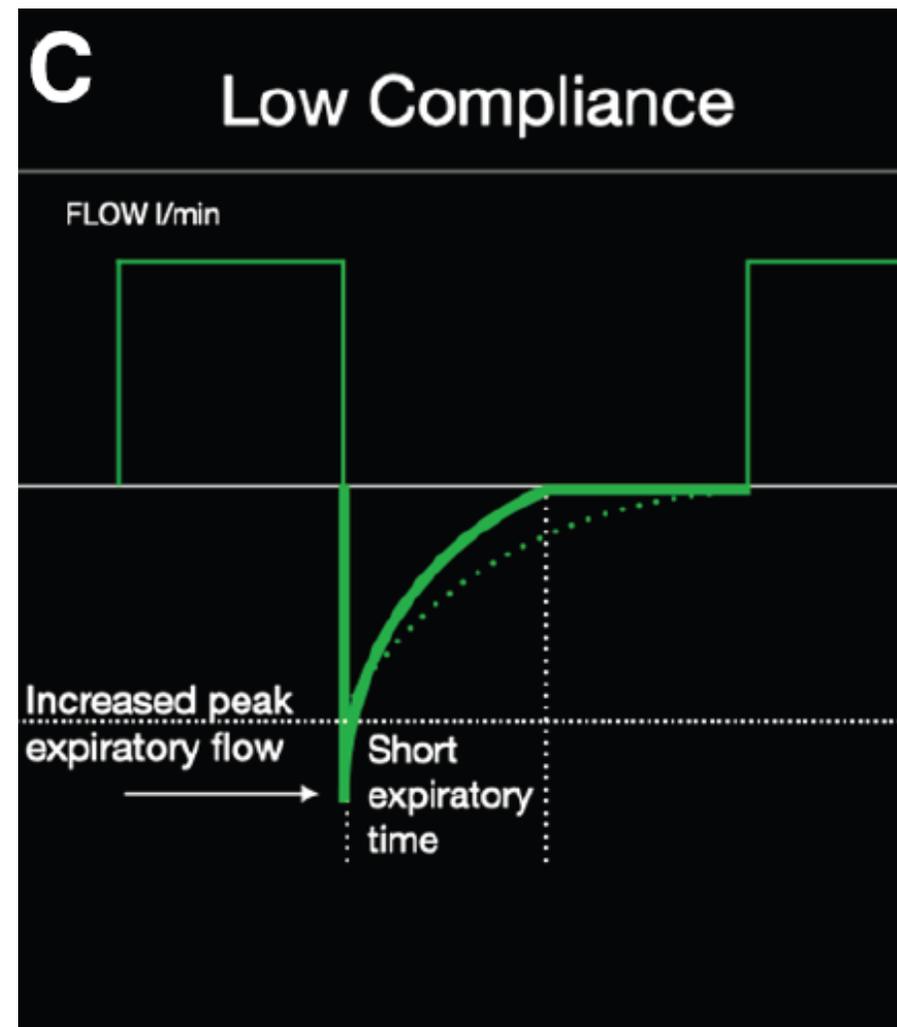
Exalação passiva durante a ventilação

- C_{te} prolongadas (> 0,7 s com T_{exp} > 2,5 s)
 - complacência alta (DPOC)
 - resistência alta (tampão mucosa, tubo endotraqueal dobrado, resistência brônquica)
- Gráfico
 - PFE reduzido
 - T_{exp} prolongado

Expiração: abaixo da linha de base

Exalação passiva durante a ventilação

- C_{TE} curta (< 0,5 s com T_{exp} < 1 s)
 - complacência baixa (SDRA, EAPC, doença pulmonar restritiva, rigidez da parede torácica, hipertensão intra-abdominal, cifoescoliose)
- Gráfico
 - PFE aumentado
 - T_{exp} curto



Expiração: abaixo da linha de base

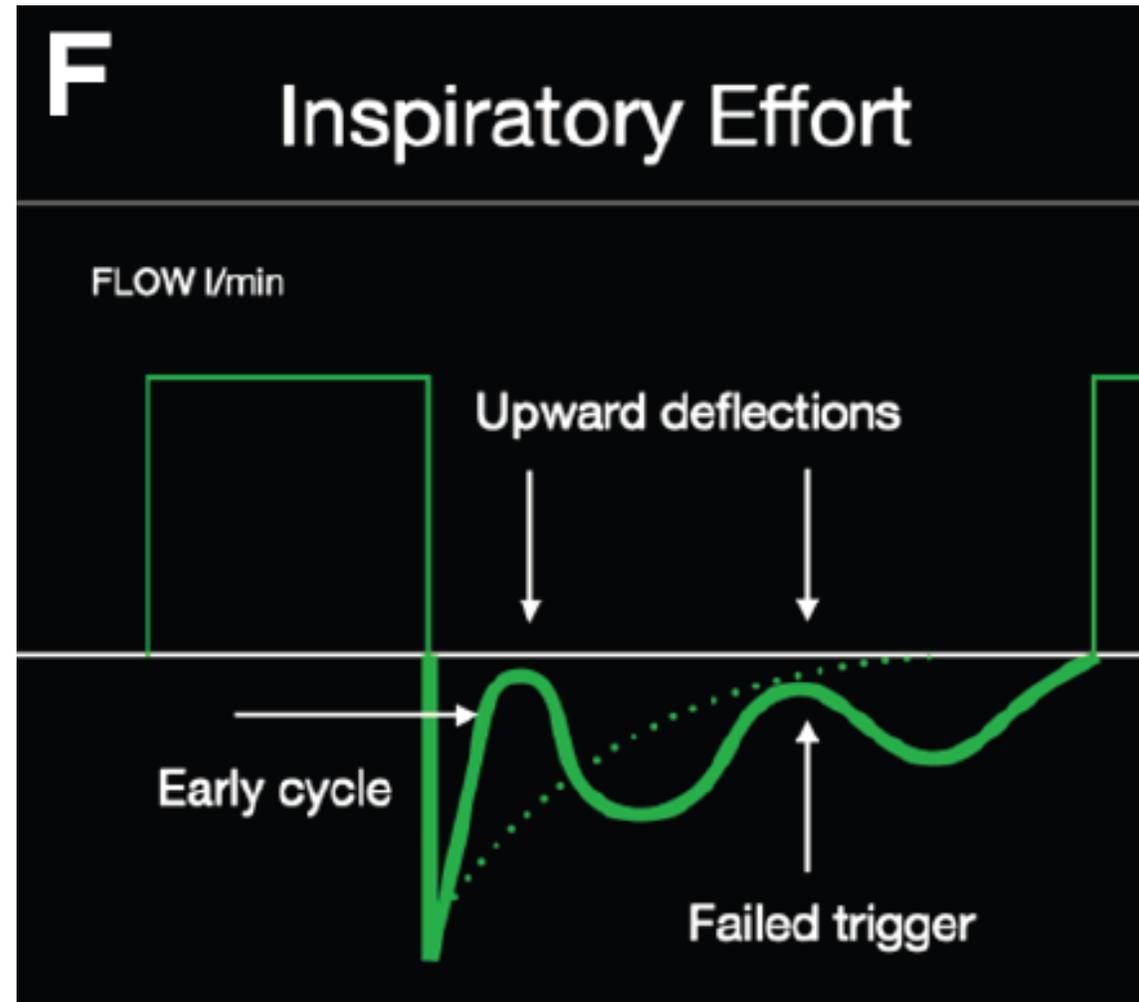
- **Etapa 1:** Avaliar a forma de onda do fluxo expiratório para gerar uma hipótese fisiopatológica

Exalação ativa durante a ventilação

- Esforço inspiratório durante a expiração é identificado no gráfico de fluxo pelo movimento ascendente, em direção à linha de base
 - Deflexão para cima sem ciclo subsequente pode representar ***disparo ineficaz, autodisparo ou relaxamento do esforço expiratório***
 - Deflexão para cima imediatamente após um ciclo inspiratório sugere ***ciclagem prematura***

Expiração: abaixo da linha de base

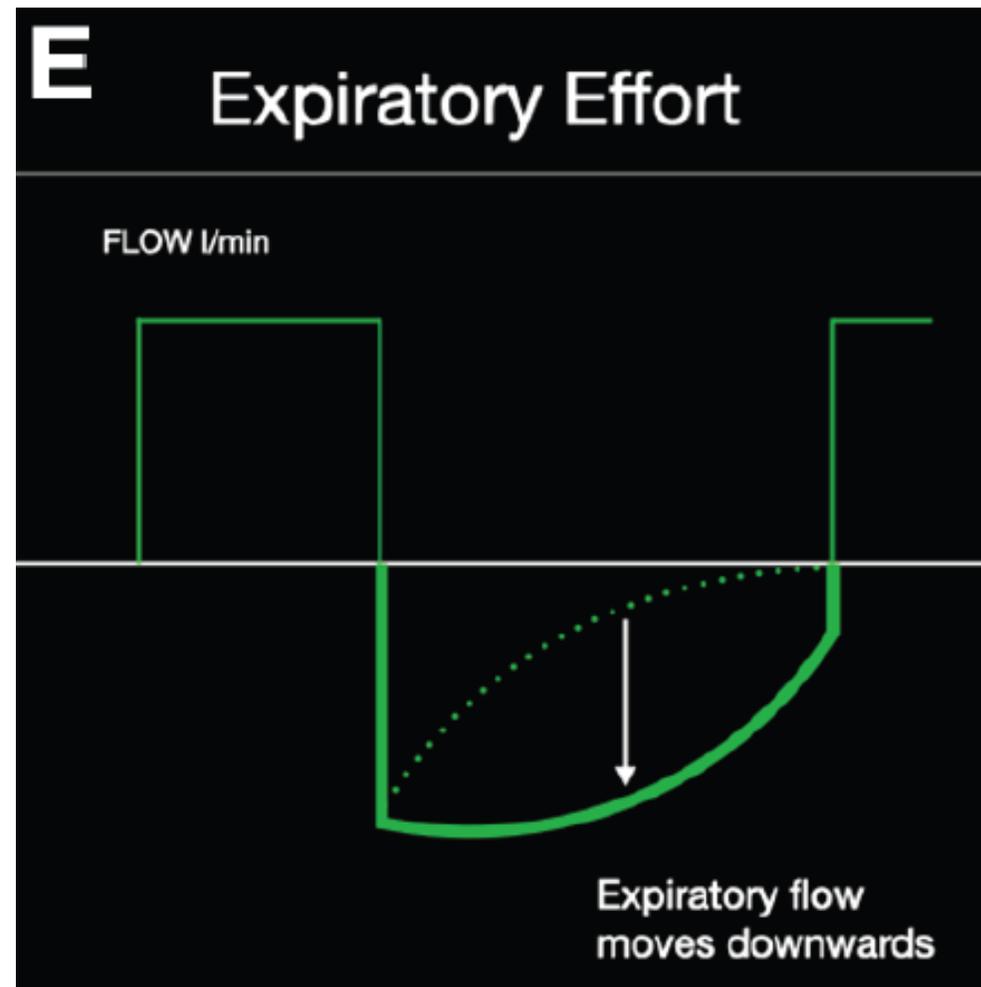
Exalação ativa durante a ventilação



Expiração: abaixo da linha de base

Exalação ativa durante a ventilação

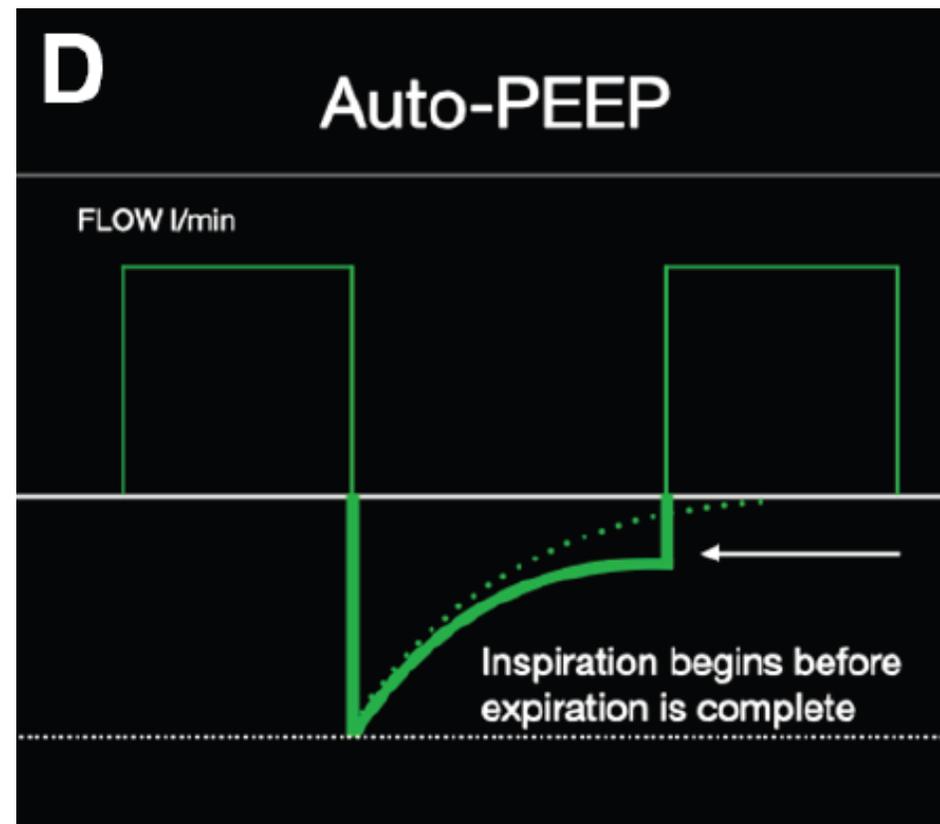
- Esforço expiratório durante a expiração é caracterizado pelo movimento descendente do fluxo “obliterando” a queda exponencial
- Pode ser confundido com auto-PEEP



Expiração: abaixo da linha de base

Auto-PEEP

- ocorre quando a expiração incompleta leva à retenção de ar nos alvéolos
- Frequentemente em pacientes com:
 - alta complacência (DPOC)
 - alta resistência (BCE)
 - FR alta
 - VC alto
- Medida por meio de pausa expiratória



$$\text{Auto - PEEP} = \text{total PEEP} - \text{applied PEEP}$$

Expiração: abaixo da linha de base

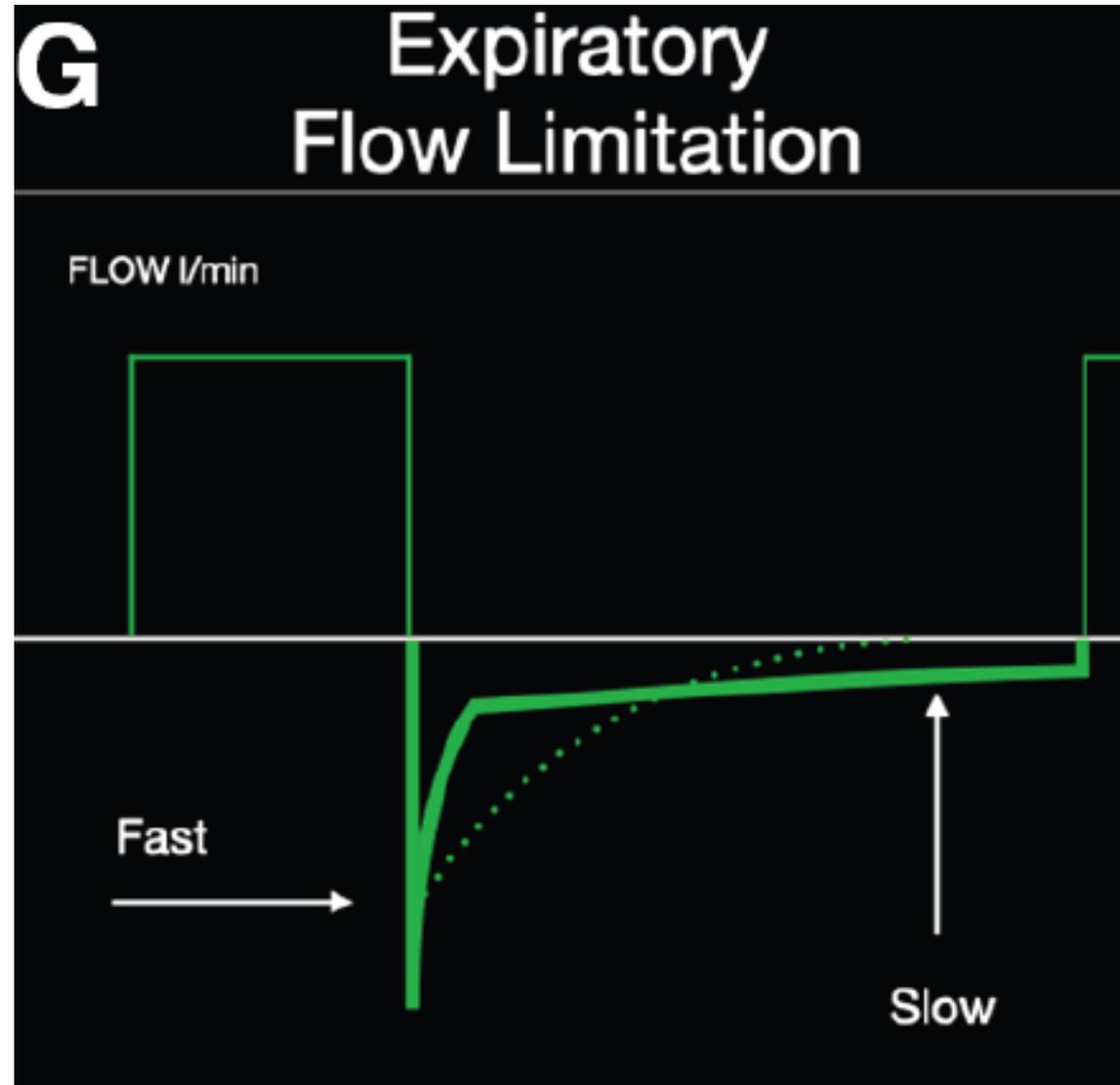
Limitação ao fluxo expiratório

- ocorre a partir do colapso dinâmico das vias aéreas pequenas e distais quando o fluxo expiratório não pode aumentar com uma alta driving pressure expiratória
- Expiração bicompartimental → retorno do volume expiratório de áreas pulmonares heterogêneas é inicialmente rápido e depois, lento
- *Pendellufting*: ar flui entre os compartimentos pulmonares em vez de retornar diretamente ao ventilador em um movimento linear e contínuo
- Causa auto-PEEP
- Observada em pacientes com DPOC, ICC, obesidade e SDRA

Expiração: abaixo da linha de base

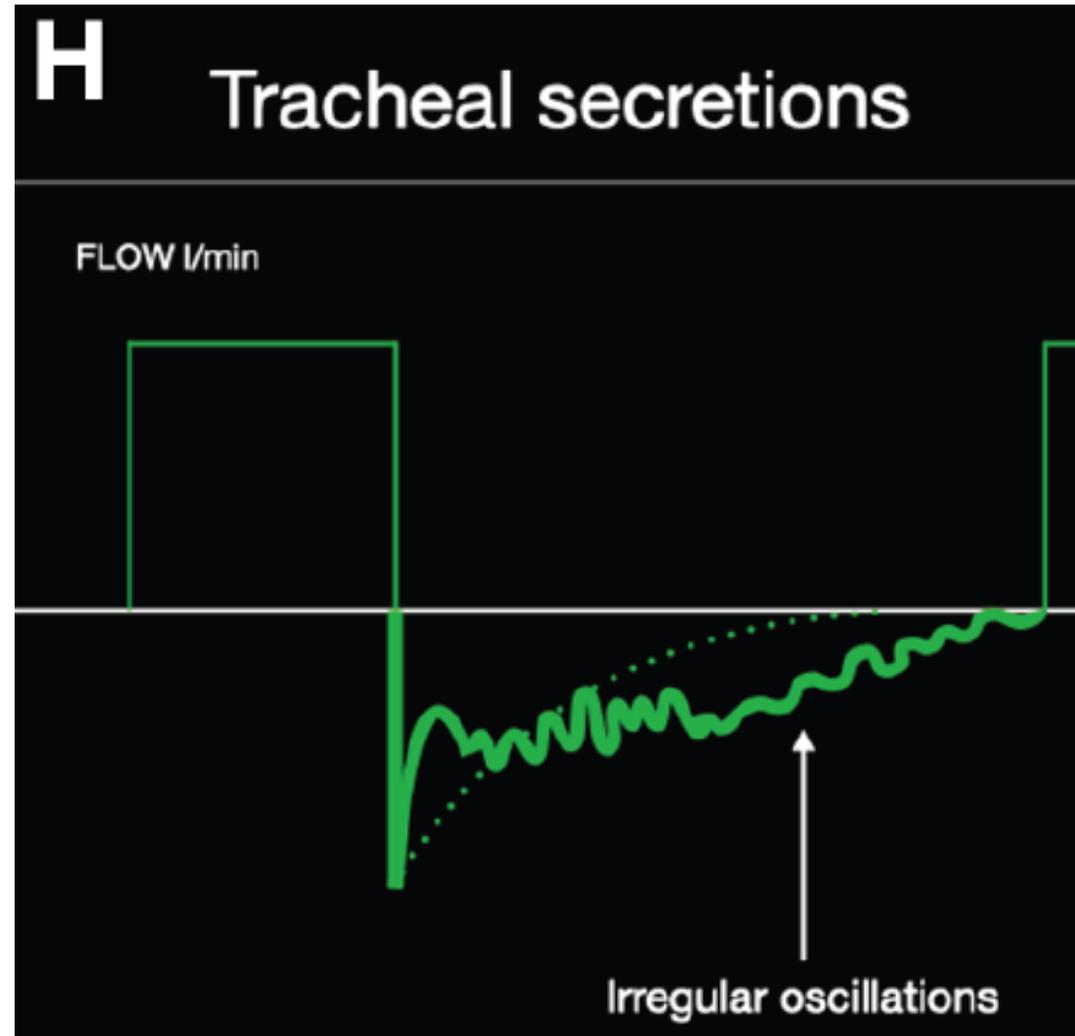
Limitação ao fluxo expiratório

- Pico de fluxo inicial: compressão dinâmica e exalação de gás no vias aéreas centrais
- Redução no fluxo expiratório das outras vias aéreas e volutrauma regional



Expiração: abaixo da linha de base

Secreção ou condensado



Inspiração: acima da linha de base

- Inspiração reflete a interação entre o ventilador (P_{vent}) e os pulmões
- Ramo inspiratório do gráfico de fluxo reflete o fluxo dinâmico e aparecem como quadrado, descendente ou desacelerado
- **VCV**: fluxo é controlado e o gráfico de pressão representa a resposta do sistema respiratório à inspiração
- **PCV**: pressão é controlada e o gráfico de fluxo representa a resposta do sistema respiratório à inspiração

Inspiração: acima da linha de base

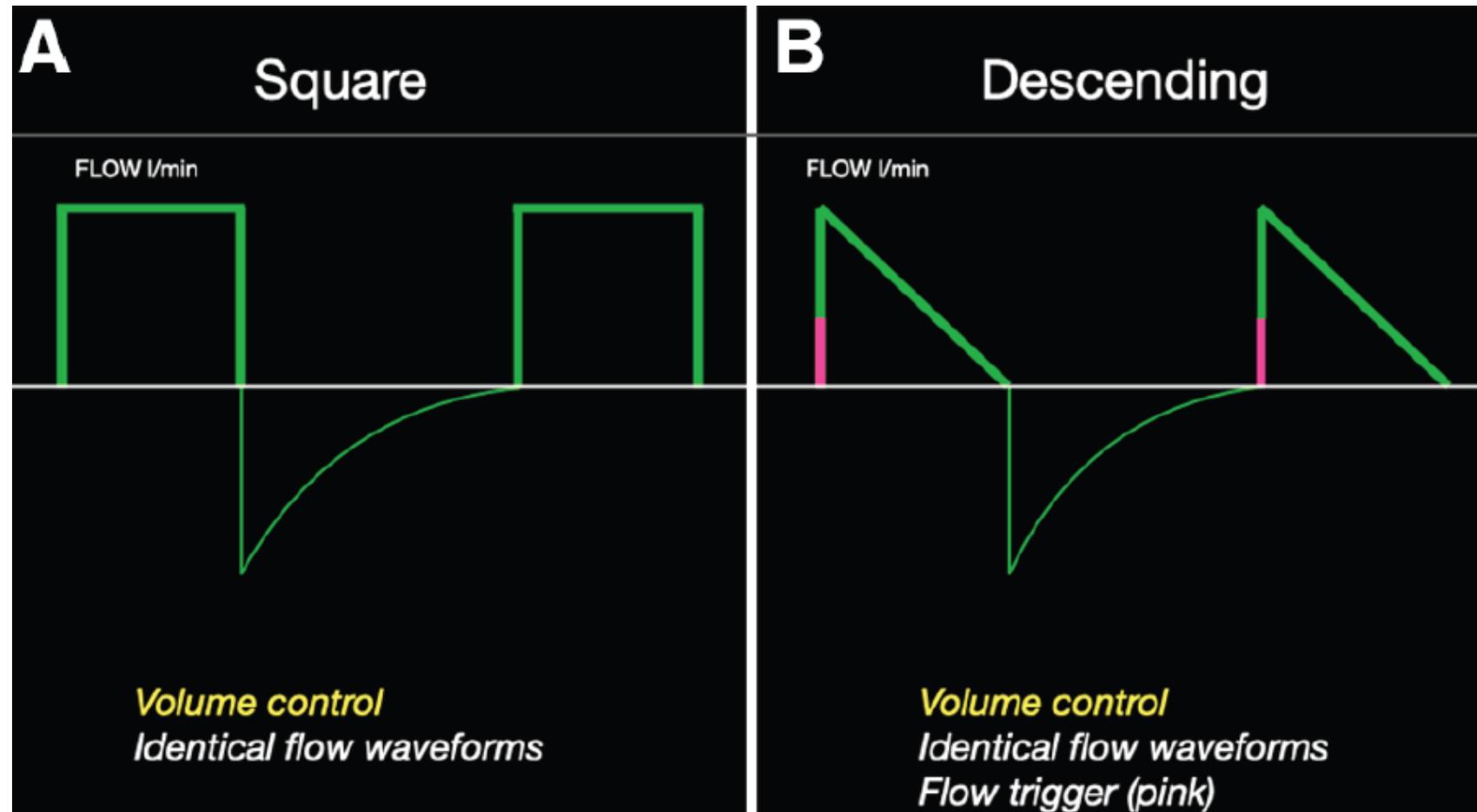
- **Etapa 2:** Avaliar a forma de onda do fluxo inspiratório para corroborar o diagnóstico fisiopatológico

VCV: onda de fluxo quadrado e descendente

- Avaliação do gráfico de fluxo é limitada porque o fluxo é controlado → muda pouco com o esforço do paciente
- Onda quadrada: fluxo aumenta rapidamente e permanece constante até que o volume corrente alvo tenha sido entregue antes do ciclo para a expiração
- Onda descendente: diminui linearmente após o pico de fluxo

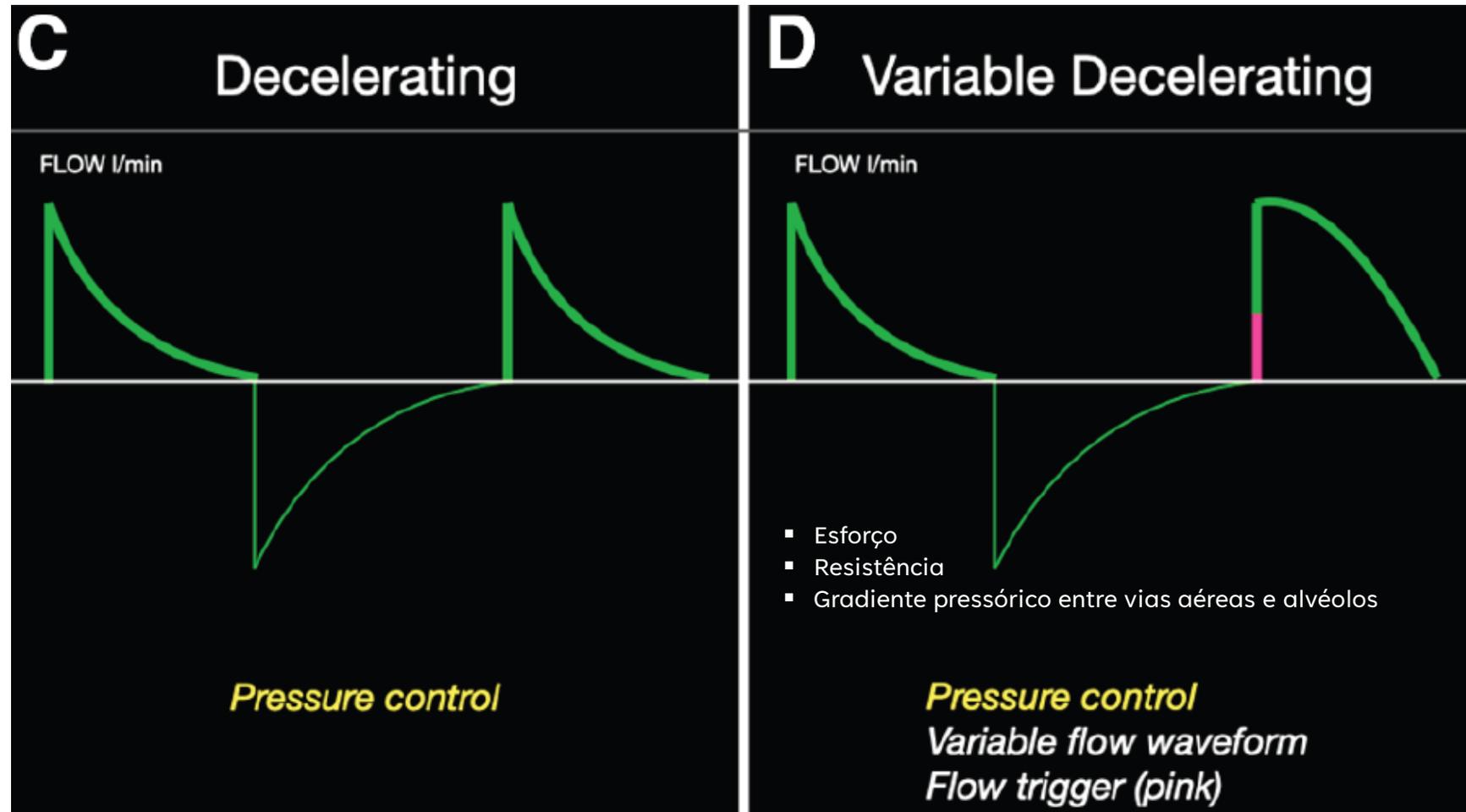
Inspiração: acima da linha de base

VCV: onda de fluxo quadrado e descendente



Inspiração: acima da linha de base

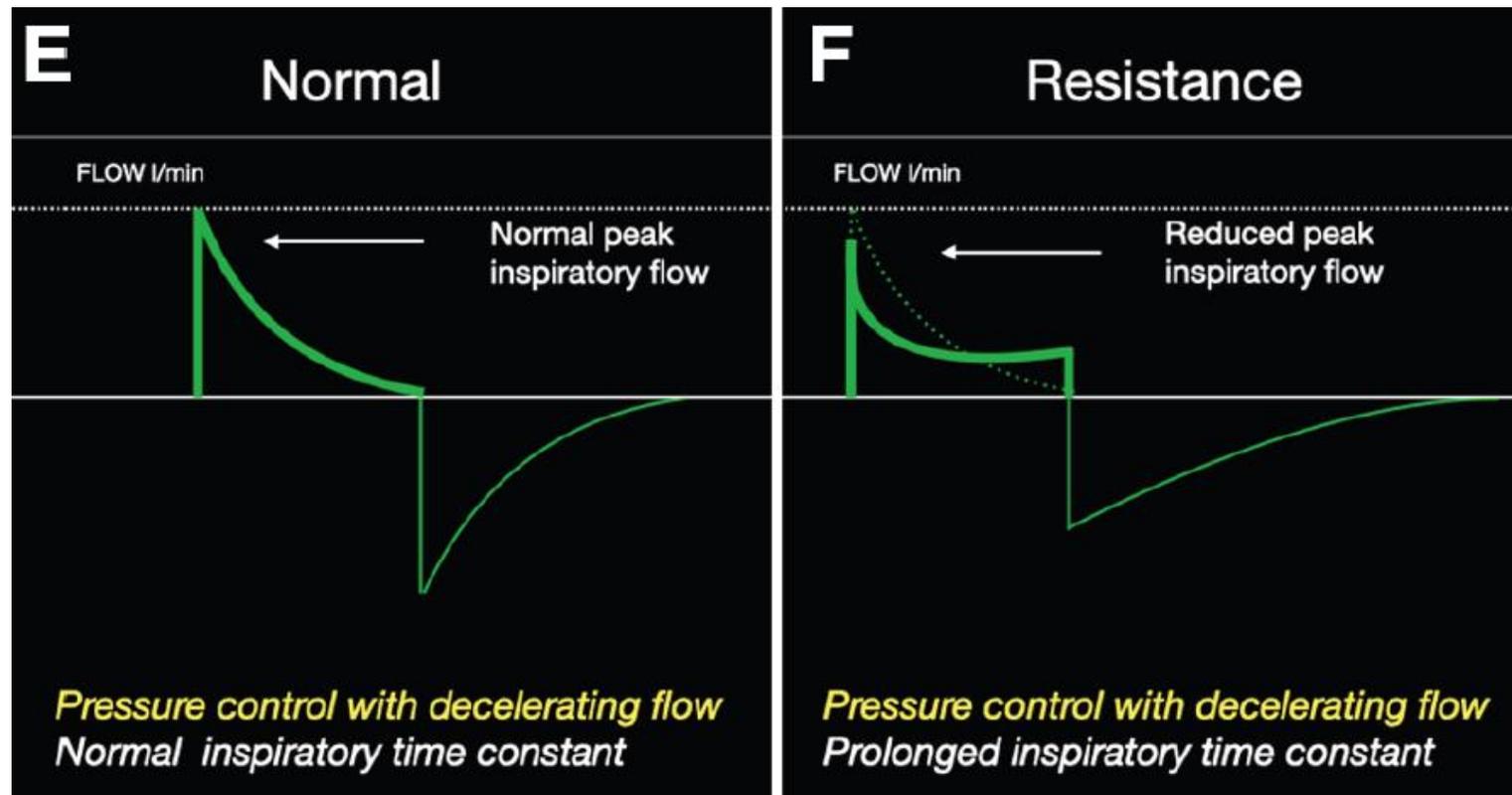
PCV e PSV: onda desacelerada



Inspiração: acima da linha de base

PCV e PSV: onda desacelerada

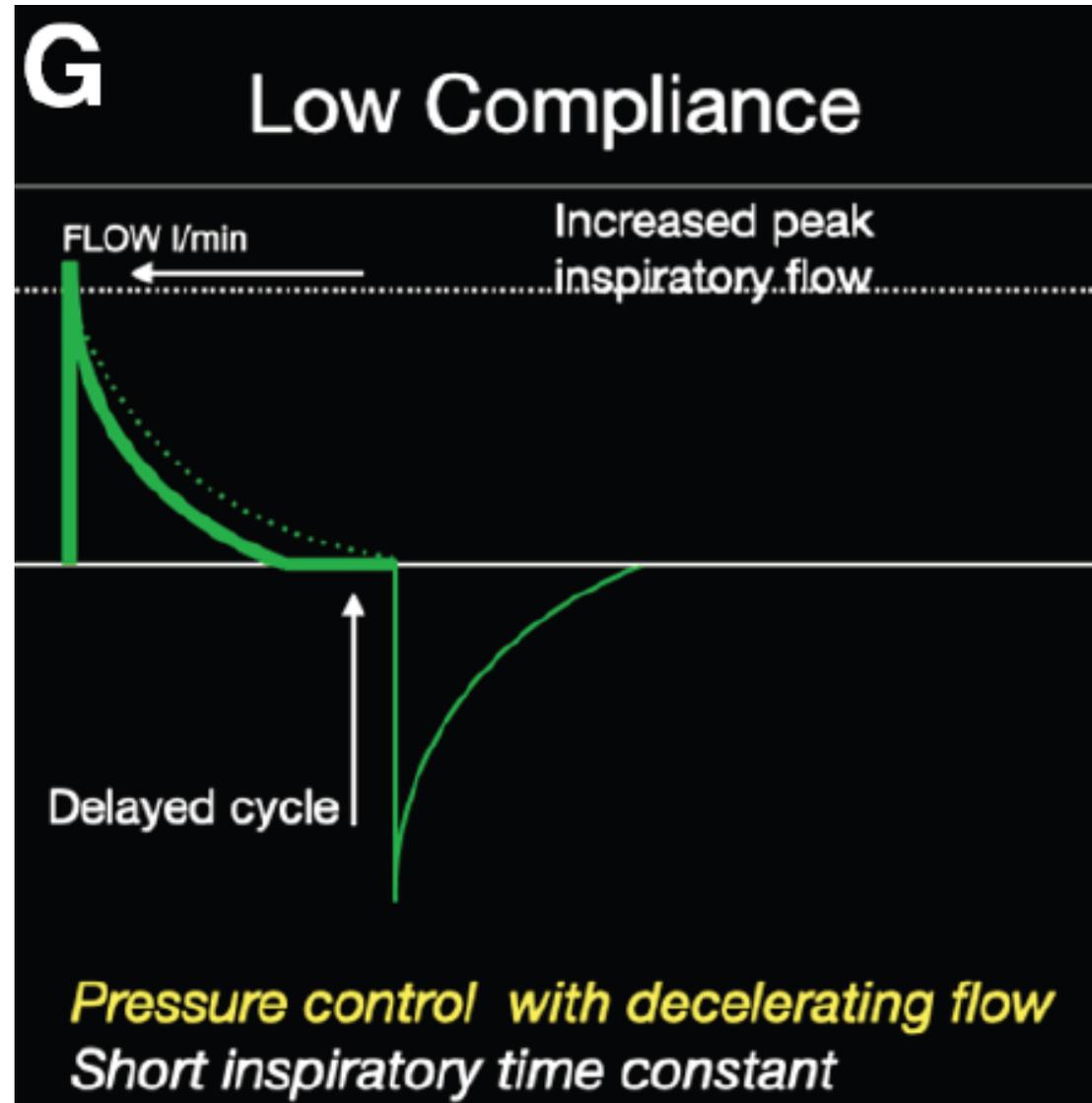
- Se a presença de complacência aumentada ou resistência aumentada foi hipotetizada na Etapa 1, confirme a presença de pico de fluxo inspiratório diminuído



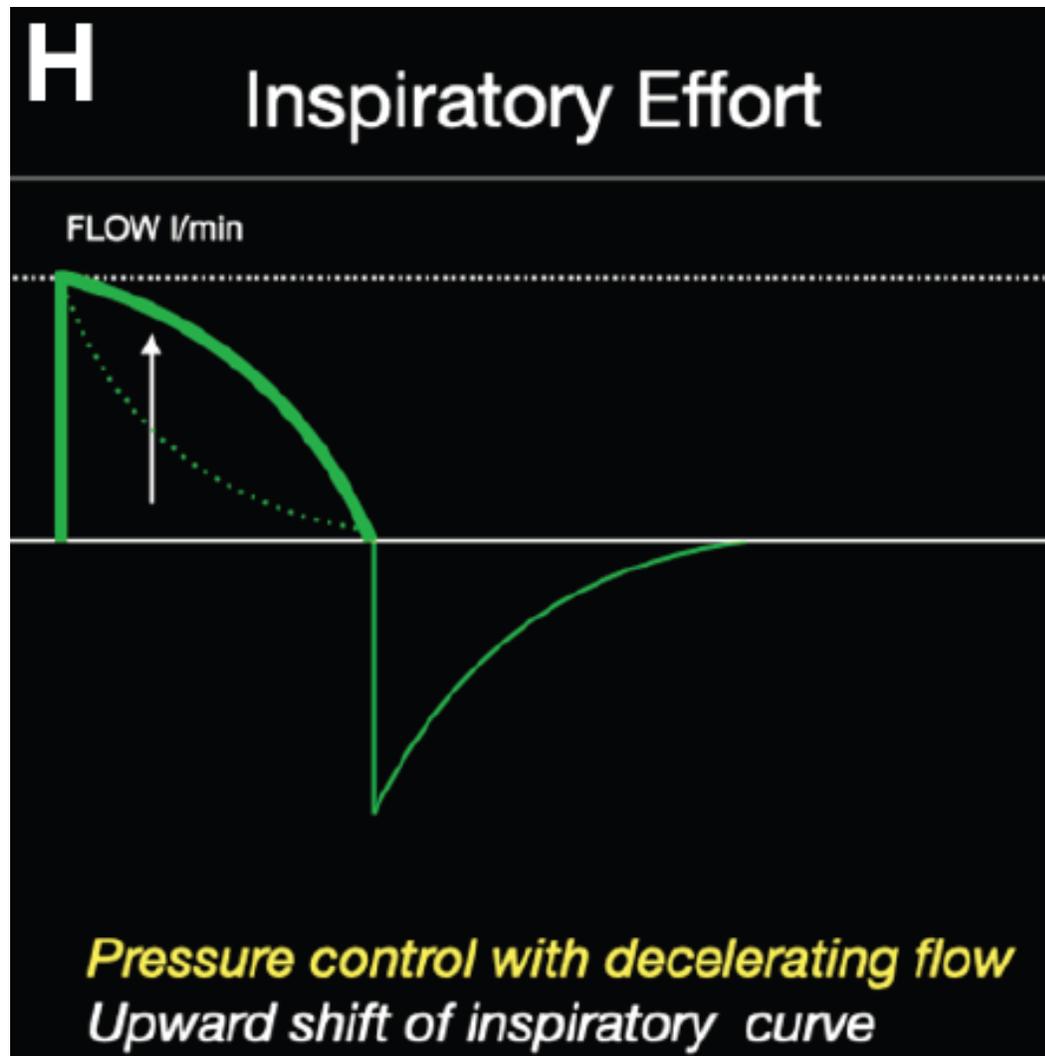
Inspiração: acima da linha de base

PCV e PSV: onda desacelerada

- Baixa complacência



Inspiração: acima da linha de base



PCV e PSV: onda desacelerada

- Concavidade linear ou ascendente é provável que haja esforço inspiratório do paciente
- Pressões ou fluxo inspiratório podem ser inadequados
- Correção possível: redução do rise time

Inspiração: acima da linha de base

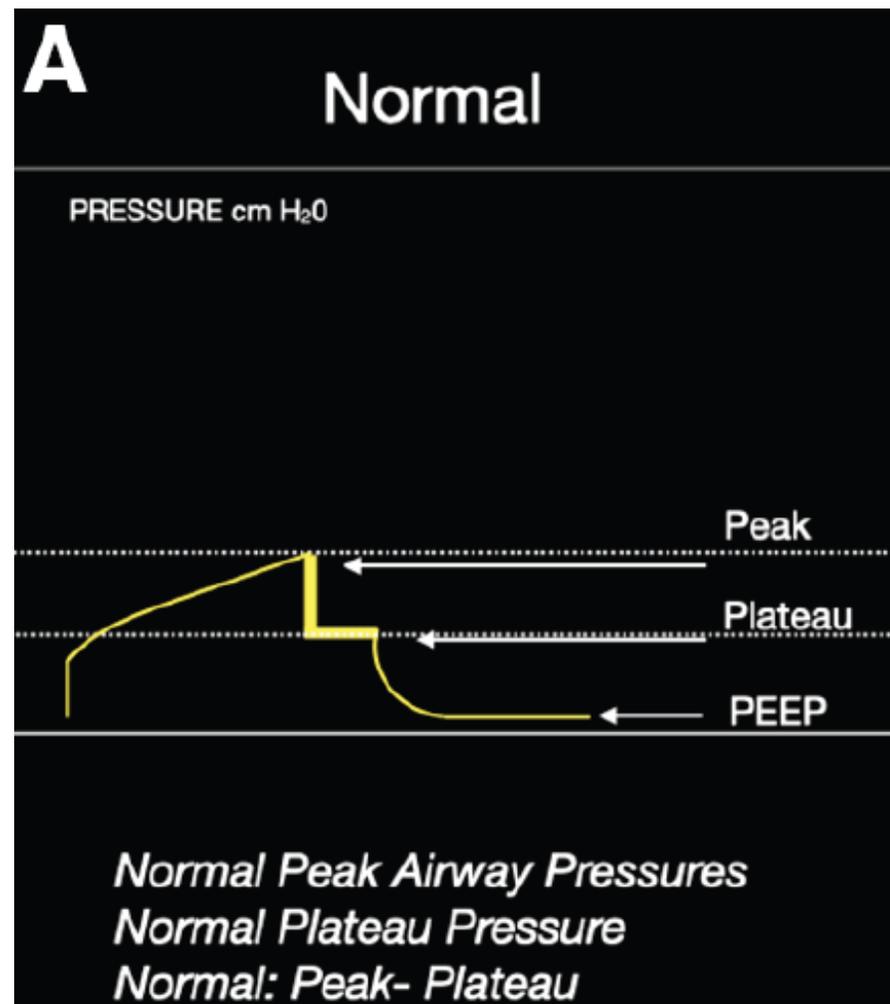
- **Etapa 3:** Avaliar as curvas de pressão inspiratória para confirmar o diagnóstico fisiopatológico

Modo	Variável independente	Variável dependente
VCV	Fluxo	Pressão
PCV/PSV	Pressão	Fluxo

Inspiração: acima da linha de base

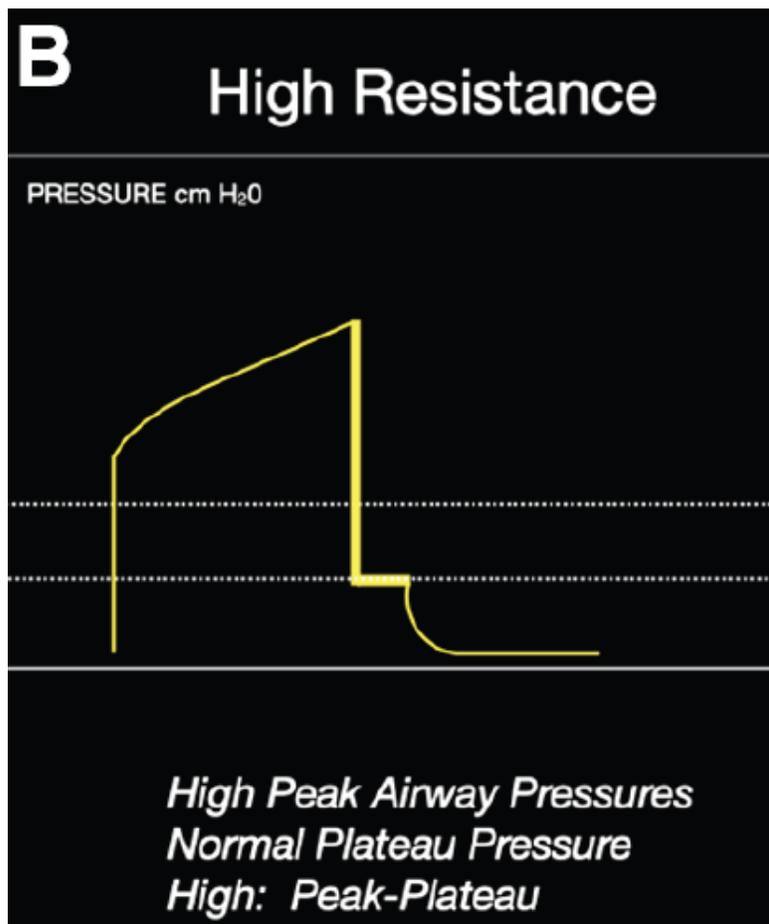
Calcule a pressão de platô e a driving pressure

- **Pressão de platô (Ppl)**
 - reflete a complacência pulmonar e pode ser calculada tanto em VCV quanto em PCV
 - avaliada no final da inspiração com a manobra de pausa inspiratória, quando a pressão alveolar e do circuito atingiram o equilíbrio



Inspiração: acima da linha de base

Calcule a pressão de platô e a driving pressure

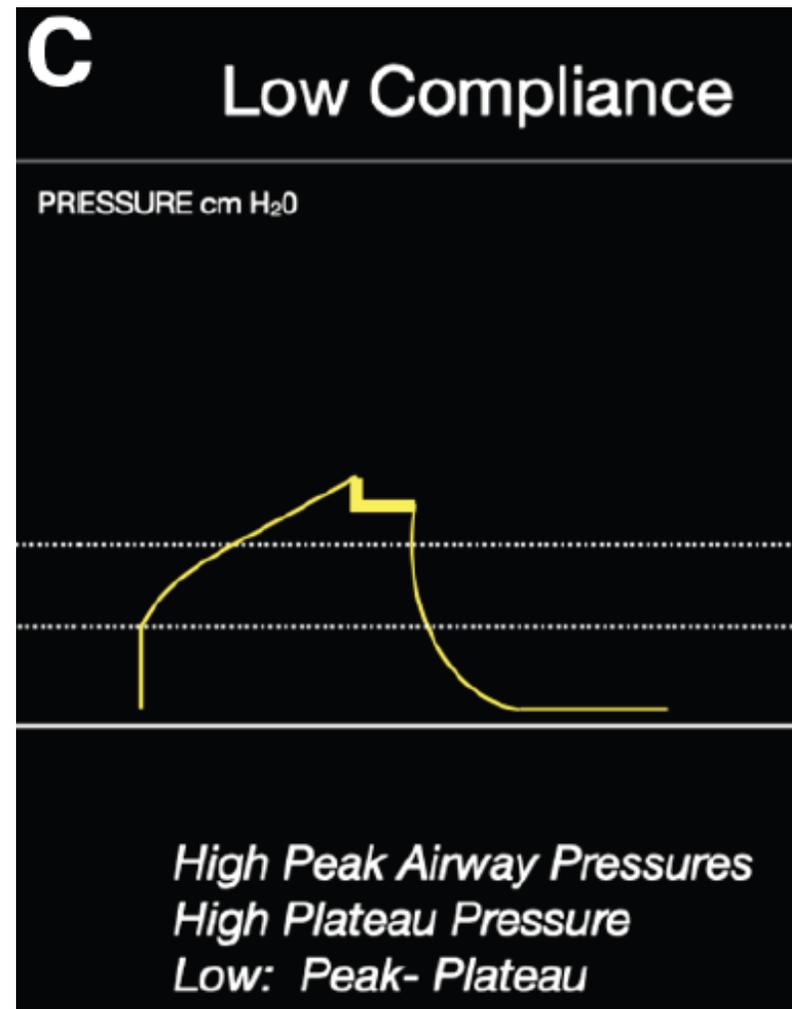


- Pressão de platô (P_{pl})
 - A diferença entre o pico de pressão inspiratória (PIP) e P_{plat} reflete a resistência das vias aéreas
 - Valores crescentes sugerem condições resistivas, como obstrução de muco, broncoespasmo ou obstrução do circuito

Inspiração: acima da linha de base

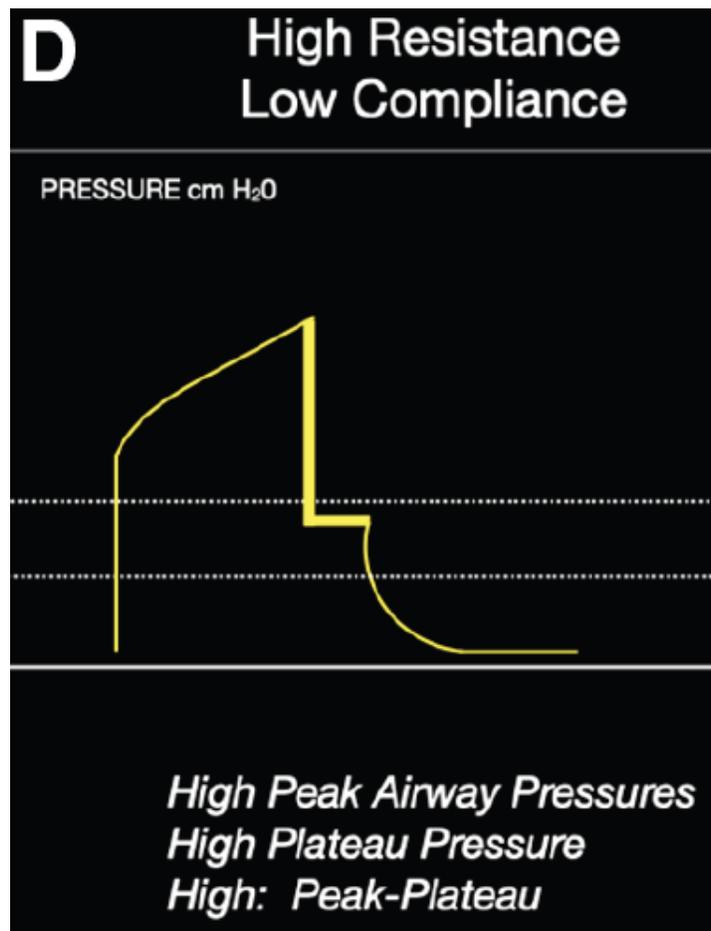
Calcule a pressão de platô e a driving pressure

- Pressão de platô (Ppl)
 - Aumento da Pplat, indica baixa complacência, ocorrendo na SDRA, edema pulmonar, pneumonia ou pneumotórax



Inspiração: acima da linha de base

Calcule a pressão de platô e a driving pressure



- Pressão de platô (Ppl)
 - Auto-PEEP no contexto de BCE está associada a Ppl elevada e aumento da [PIP – Pplat]

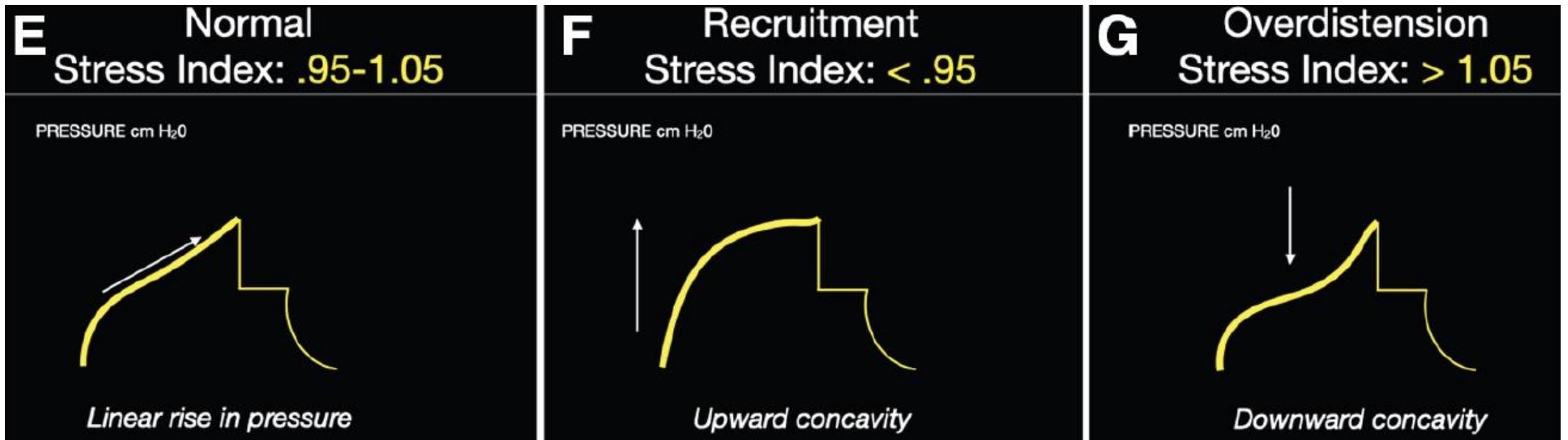
Inspiração: acima da linha de base

VCV: gráfico de pressão com fluxo quadrado

- O aumento inicial da pressão reflete a carga resistiva em um paciente passivo
- A pressão inspiratória final é função da carga elástica nas vias aéreas
- Com fluxo constante em um paciente passivo, a inclinação da curva de pressão (após o aumento inicial da pressão) reflete a complacência pulmonar
- **Stress index** é derivado da curva pressão-tempo e foi validado para avaliar a complacência quantificando o recrutamento e a hiperdistensão durante o fluxo de onda quadrada
 - Valor ideal: 0,95 a 1,05

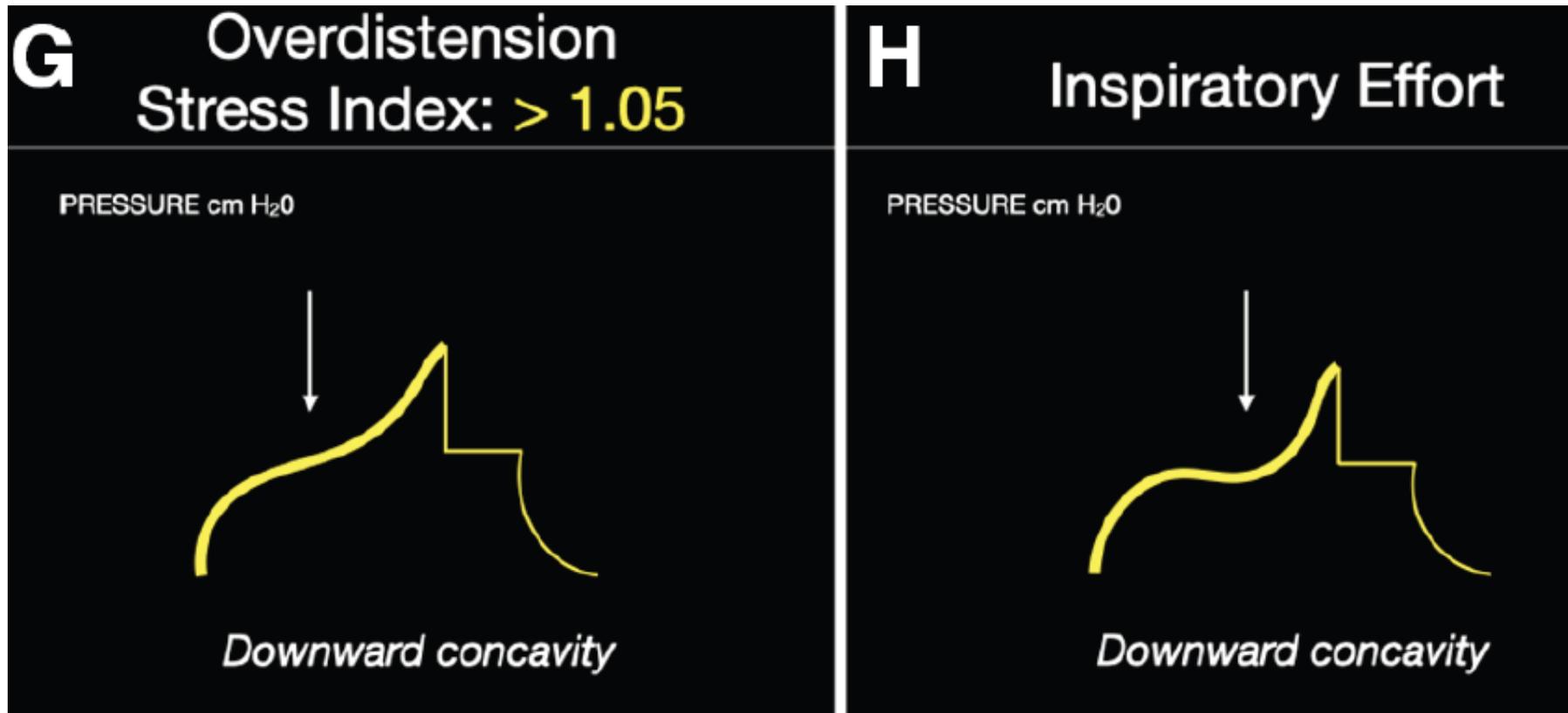
Inspiração: acima da linha de base

VCV: gráfico de pressão com fluxo quadrado



Inspiração: acima da linha de base

VCV: gráfico de pressão com fluxo quadrado



Inspiração: acima da linha de base

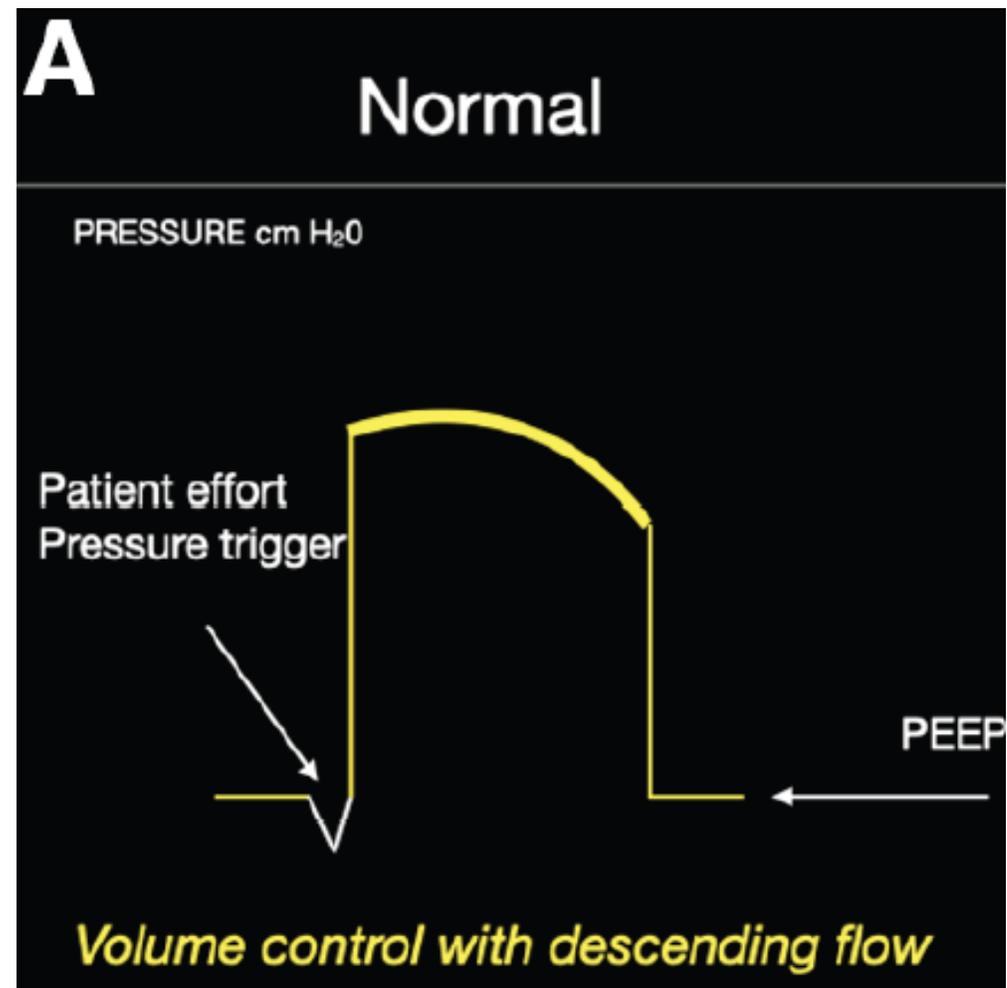
VCV: gráfico de pressão com fluxo descendente

- Pode reduzir o efeito do aumento da resistência
- Diminui a pressão de pico, a ventilação do espaço morto, o gradiente A-a e potencialmente o esforço respiratório, aumentando a pressão média das vias aéreas e melhorando a sincronia paciente-ventilador
- Pode aumentar o T_{ins} , a menos que a taxa de fluxo seja aumentada, predispondo os pacientes a T_{exp} reduzido e potencial auto-PEEP

Inspiração: acima da linha de base

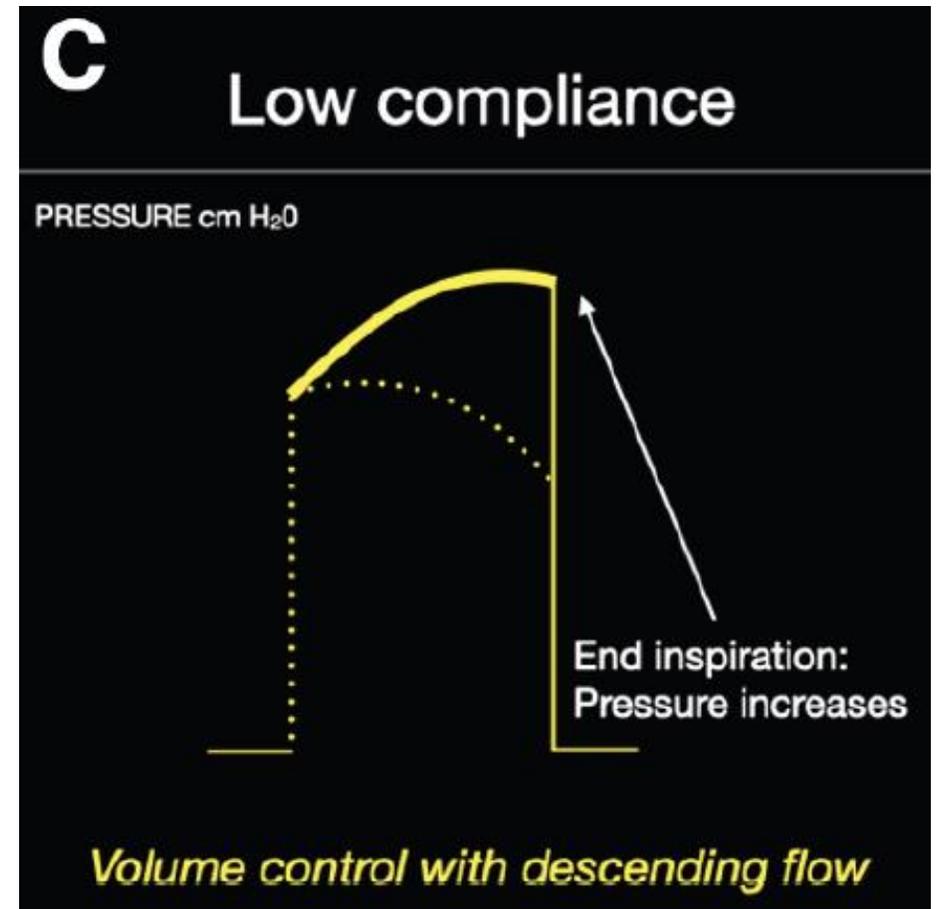
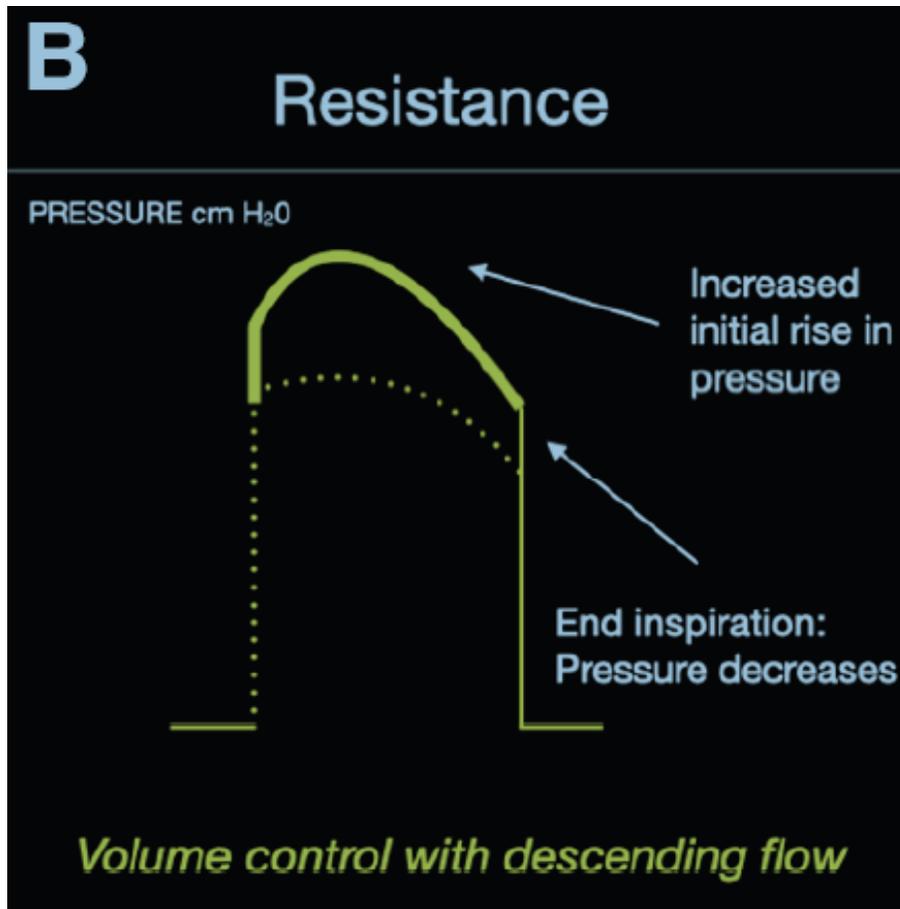
VCV: gráfico de pressão com fluxo descendente

- O aumento de pressão inicial decorre da carga resistiva e também é refletido no final da inspiração pela diferença entre a P_{pico} e P_{pl}



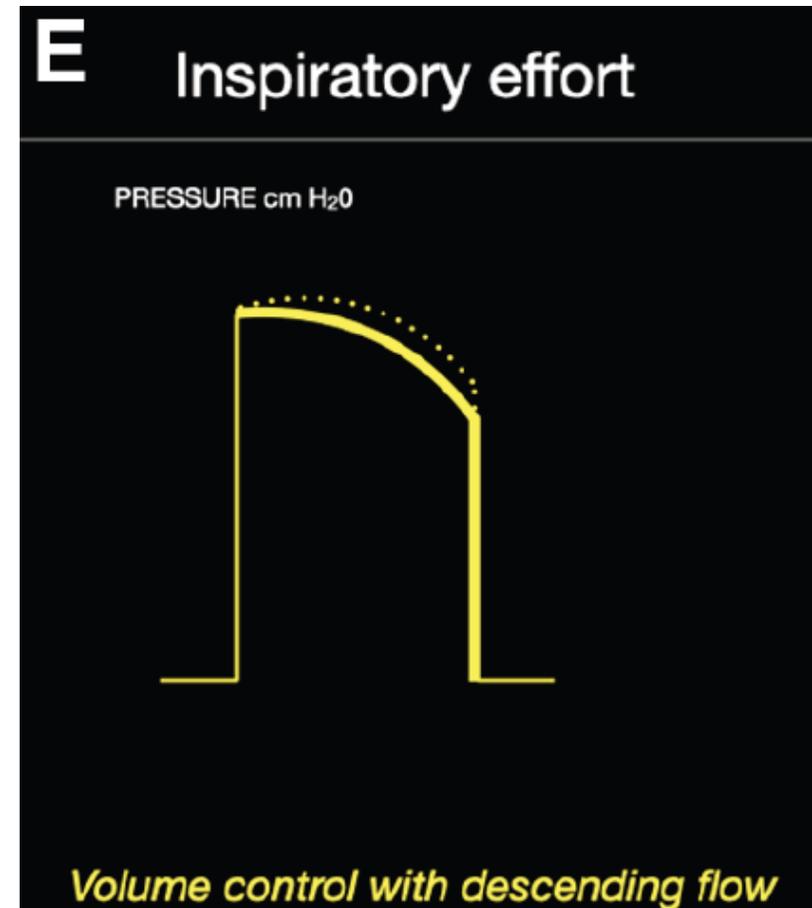
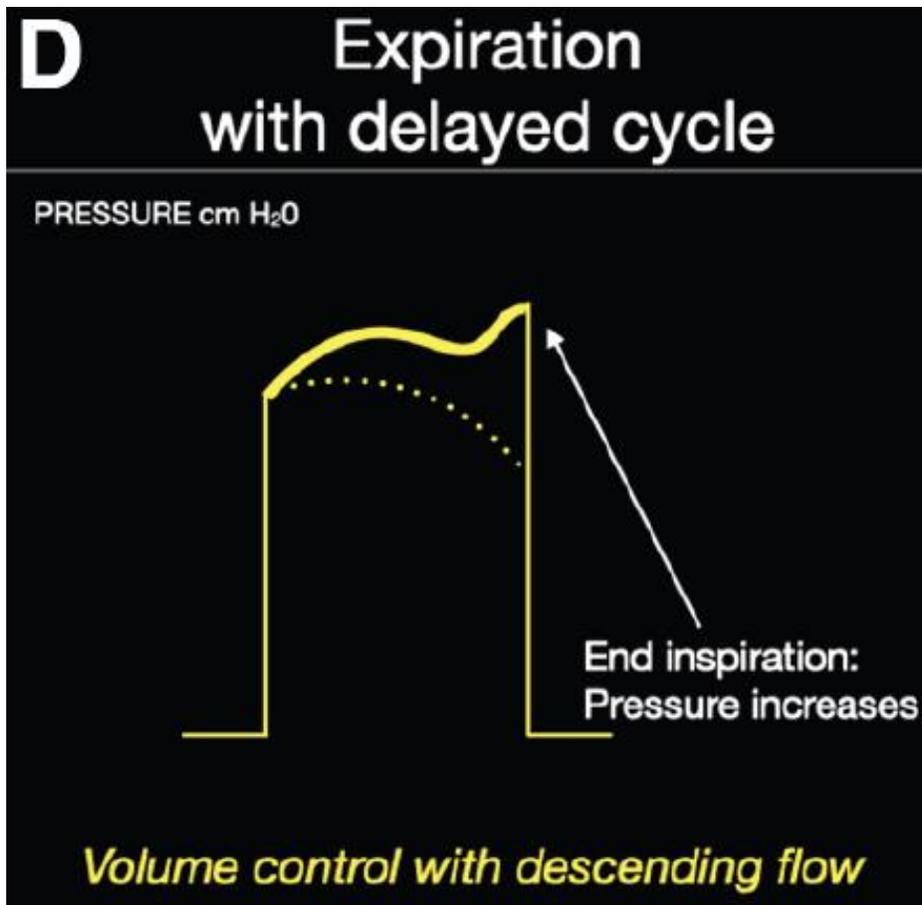
Inspiração: acima da linha de base

VCV: gráfico de pressão com fluxo descendente



Inspiração: acima da linha de base

VCV: gráfico de pressão com fluxo descendente

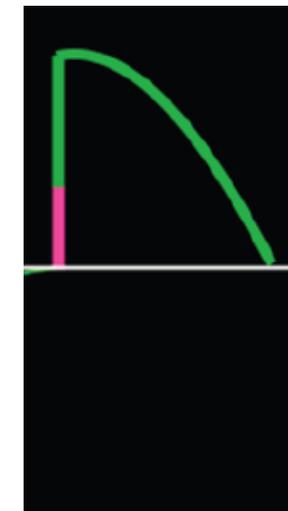
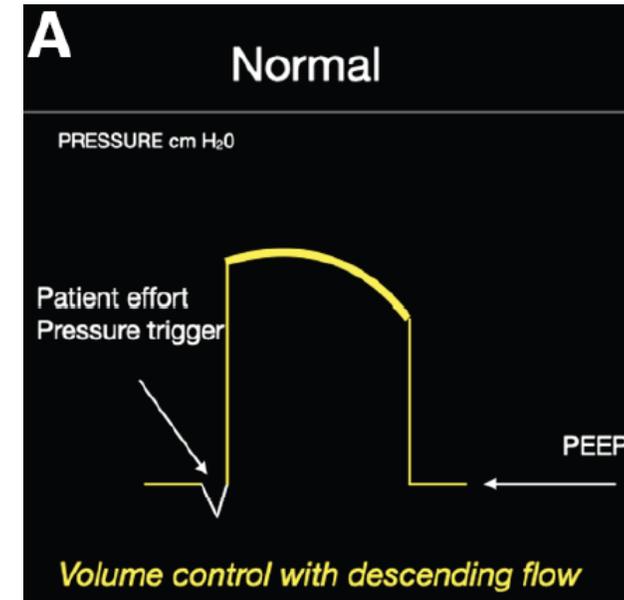


Assincronias: Ausência de Esforço do Paciente ou Resposta do Ventilador

▪ Etapa 4: Identificar a origem do disparo

Disparo

- O esforço do paciente ou o tempo desencadeiam a inspiração
- O esforço do paciente pode desencadear uma respiração por:
 - Variação de pressão (deflexão negativa no gráfico de pressão)
 - Variação do fluxo contínuo do circuito

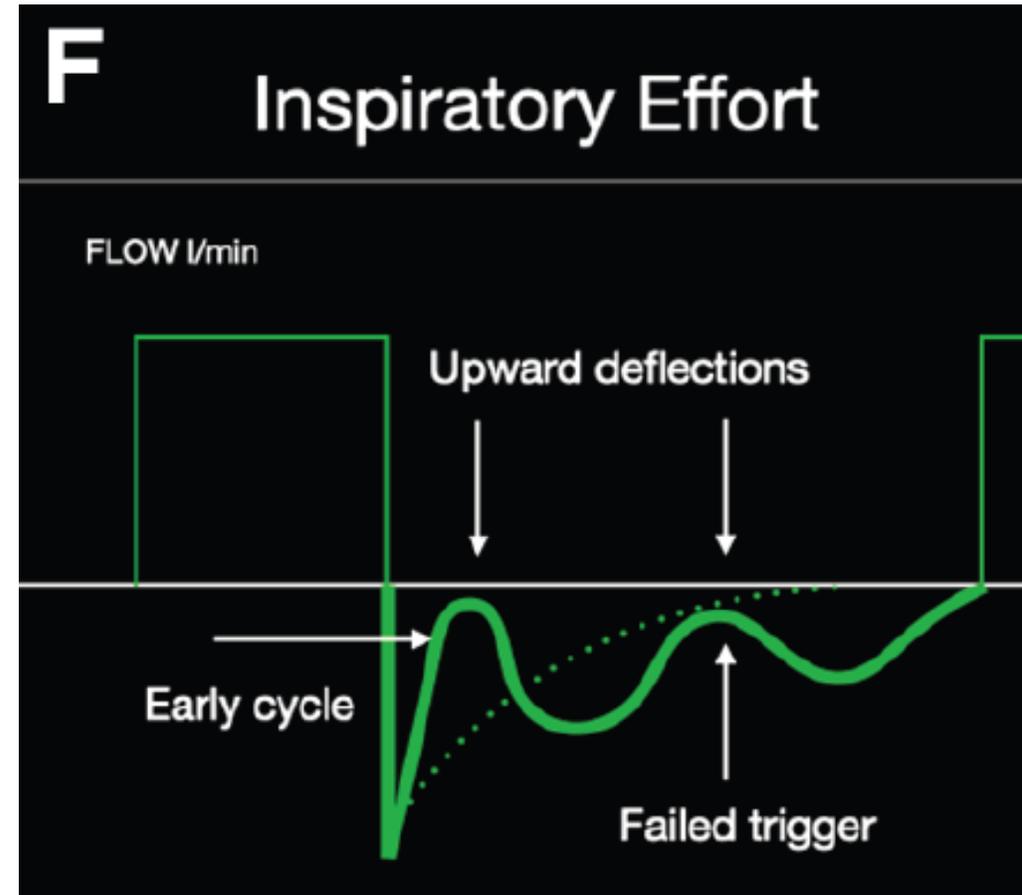


Assincronias: Ausência de Esforço do Paciente ou Resposta do Ventilador

▪ Etapa 4: Identificar a origem do disparo

Disparo ineficaz

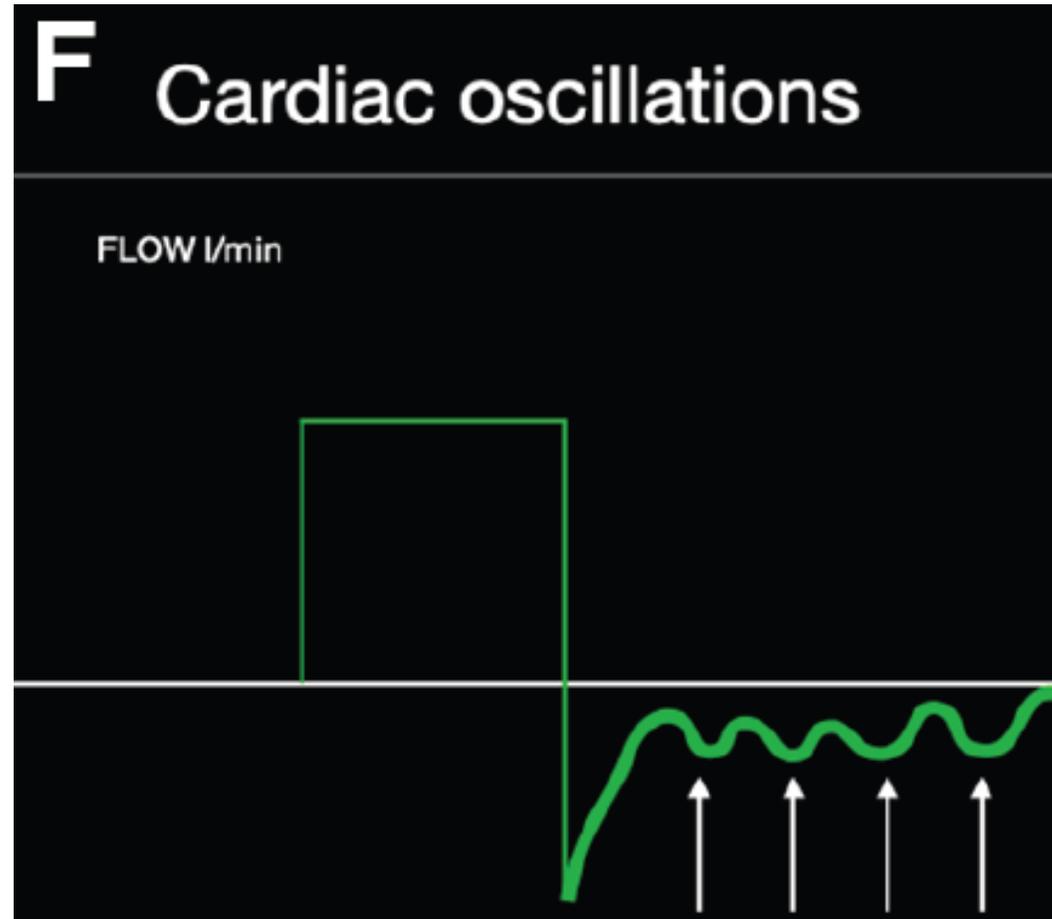
- Causa comum: auto-PEEP
- Sugestão: mudança da sensibilidade para fluxo



Assincronias: Ausência de Esforço do Paciente ou Resposta do Ventilador

- Etapa 4: Identificar a origem do disparo

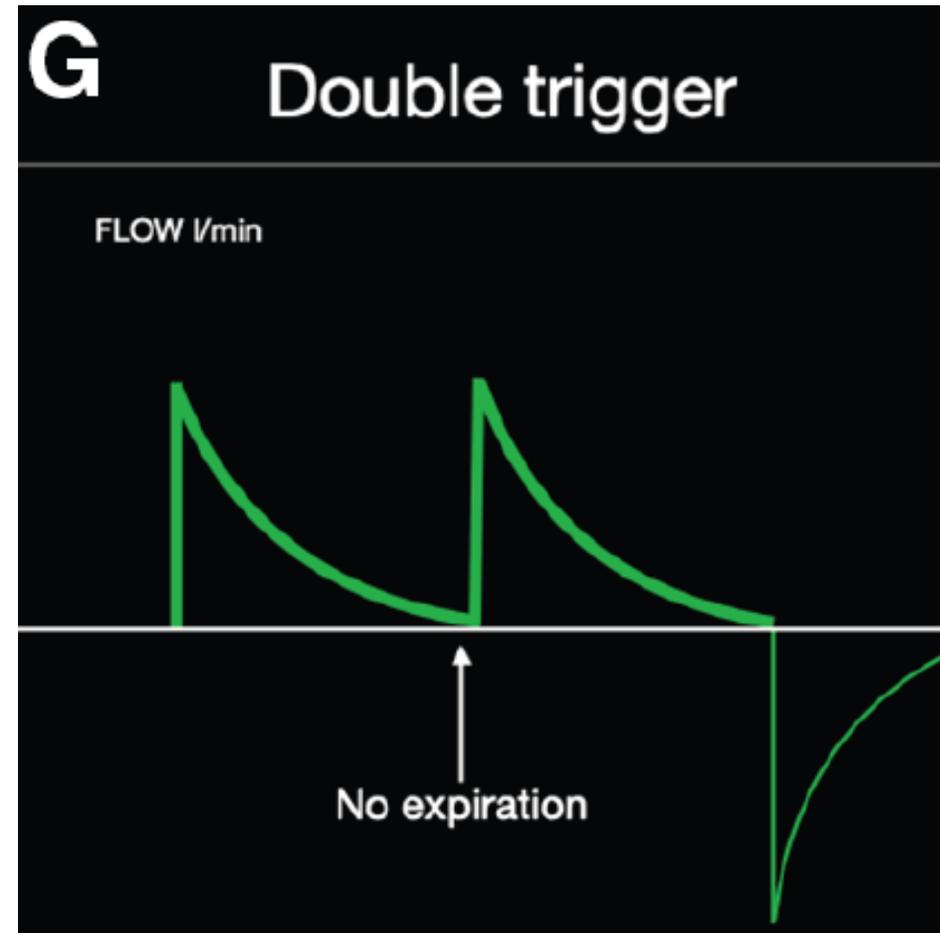
Auto disparo



Dissincronias: Incompatibilidade entre a Demanda do Paciente e a Resposta do Ventilador

- **Etapa 5:** Identificar o tempo entre a inspiração e a expiração (ciclo respiratório)

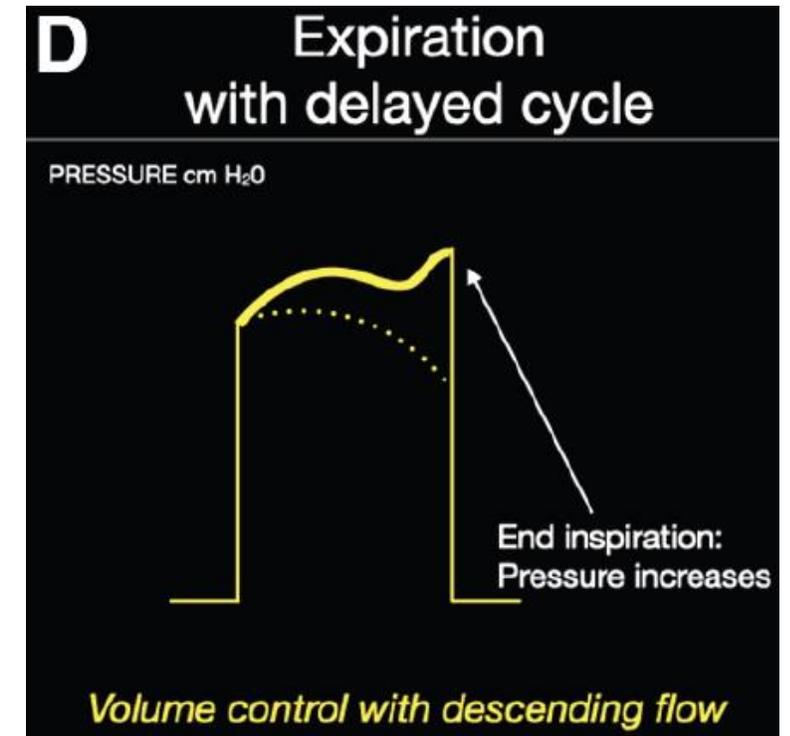
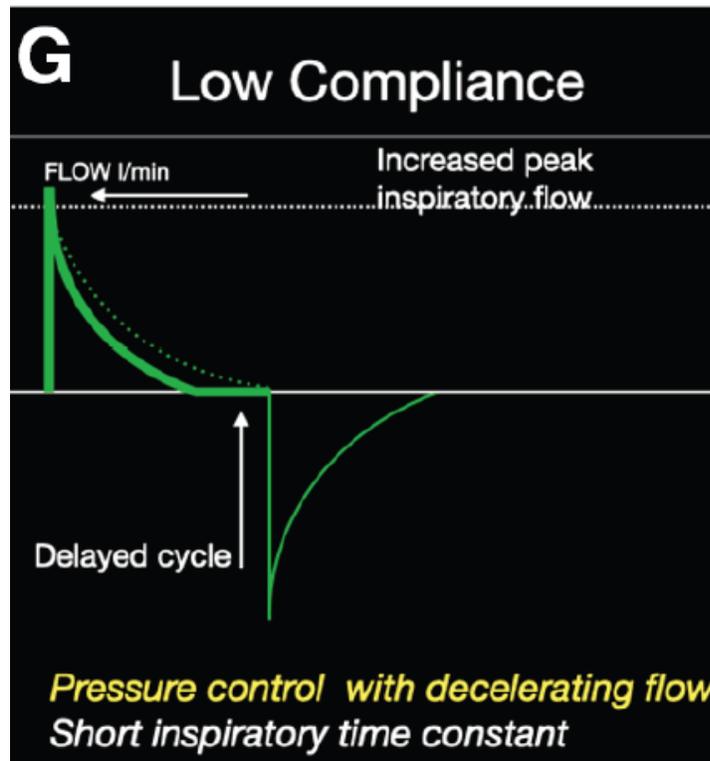
Ciclagem prematura (duplo ou múltiplos disparos)



Dissincronias: Incompatibilidade entre a Demanda do Paciente e a Resposta do Ventilador

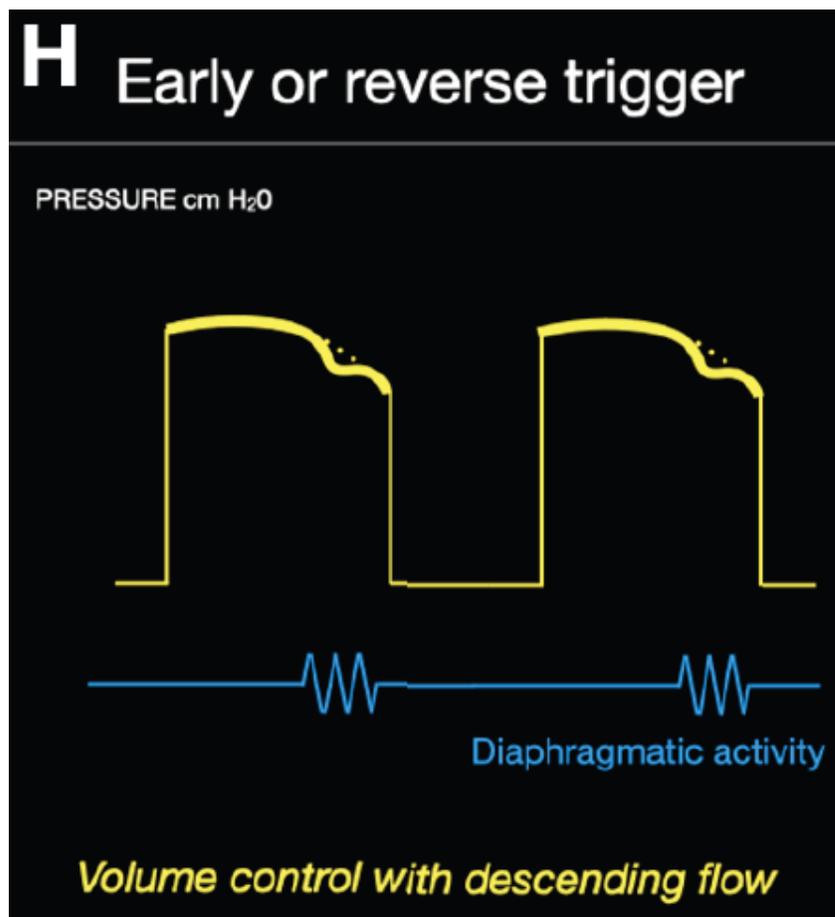
- **Etapa 5:** Identificar o tempo entre a inspiração e a expiração (ciclo respiratório)

Ciclagem tardia



Dissincronias: Incompatibilidade entre a Demanda do Paciente e a Resposta do Ventilador

- **Etapa 5:** Identificar o tempo entre a inspiração e a expiração (ciclo respiratório)



Disparo reverso

Resumo das etapas

- **Etapa 1:** Avaliar a forma de onda do fluxo expiratório para gerar uma hipótese fisiopatológica
- **Etapa 2:** Avaliar a forma de onda do fluxo inspiratório para corroborar o diagnóstico fisiopatológico
- **Etapa 3:** Avaliar as curvas de pressão inspiratória para confirmar o diagnóstico fisiopatológico
- **Etapa 4:** Identifique a origem do disparo
- **Etapa 5:** Identifique o tempo entre a inspiração e a expiração (ciclo respiratório)

Conclusão

- A análise gráfica do ventilador mecânico é um ferramenta de diagnóstico para identificar a fisiopatologia pulmonar
- Os gráficos de fluxo e pressão podem ser interpretadas para confirmar o diagnóstico e otimizar o gerenciamento do ventilador
- Esta revisão oferece ferramentas para o desenvolvimento de um modelo de hipótese mental da fisiopatologia pulmonar de um paciente e oferece uma abordagem gradual para aceitar ou rejeitar a hipótese

Obrigado

