

Ecoeficiência numa indústria metal mecânica da região de Campinas/SP: redução do tempo de setup e Pegada de Carbono

Roberto Donizeti Leme Júnior

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Graduação em Engenharia de Produção

Prof. Dr. Diogo Aparecido Lopes Silva

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia,
Departamento de Engenharia de Produção de Sorocaba



Objetivo

Reduzir **tempo**, **custos** e **emissão de carbono** em operações improdutivas de preparação de máquinas de usinagem, utilizando uma ferramenta da metodologia *Lean Production (SMED)* combinado ao *cálculo de Pegada de Carbono*, para uma empresa do setor metal mecânico.

Introdução

- O *Setup* é o tempo corrido desde o término da produção de uma peça do lote anterior até o início da produção de uma primeira peça do próximo lote (OHNO, 1997).
- Ele **reduz a produtividade** e **aumenta os custos** de fabricação, por se tratar de uma atividade que não agrega valor ao produto (OHNO, 1997).





Introdução

- A Pegada de Carbono, está associado à mensuração da quantidade de emissões totais de GEEs expressas em carbono equivalente (CO₂-eq.) geradas de forma direta ou indireta por determinada atividade ou produto.

Objeto de Estudo

- Empresa do segmento metal mecânico que confecciona moldes de injeção, extrusão, estamparia e ferramentas de alta precisão (ex. pedais de motos, carcaças de motores, peças do conjunto de suspensão de carros, etc.);
- Sistema de produção caracterizado como **make-to-order (MTO)**;
- **Clientes:** grandes montadoras do setor automotivo nacional e internacional.



Metodologias Aplicadas

- SMED

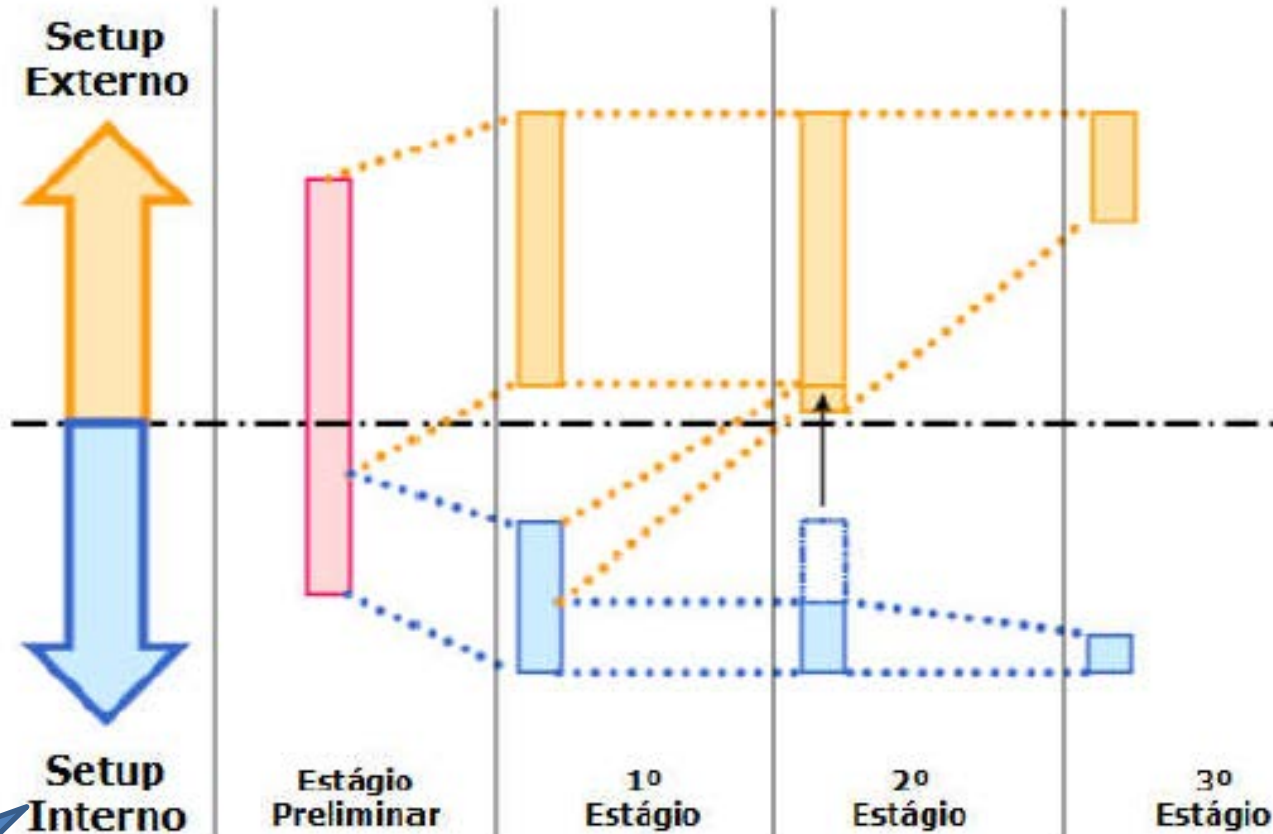
-Desenvolvido por Shingeo Shingo no Japão na década de 1950, se tornou uma ferramenta da metodologia Lean Production, pois foca na redução de desperdícios (tempo e recursos);

- A metodologia é dividida em 4 Etapas de aplicação.



Metodologias Aplicadas

Máquina operante



Máquina parada

Fonte: Santos, Whisky e Torres (2014).



Metodologias Aplicadas

- Cálculo Pegada de Carbono
 - Método proposto por Jeswiet e Kara (2008): **Sistemas que consomem energia elétrica na manufatura;**
 - Para o estudo, utilizou-se os valores (%) da matriz energética do Estado de São Paulo:

65%	Hidrelétricas
25%	Termelétricas de Biomassa
8,56%	Termelétricas Diesel
0,096%	Termelétricas Gás Natural
0,048%	Termelétricas Carvão Mineral

Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

FONTES:

JESWIET, J.; KARA, S. Carbon emissions and CESTM in manufacturing. CIRP Annals-Manufacturing Technology, v. 57, n. 1, p. 17-20, 2008.

TOLMASQUIM, M. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. Empresa de Pesquisa Energética (EPE) - 2016.

Metodologias Aplicadas

- Cálculo Pegada de Carbono

- Foram considerados também os valores de quilogramas de carbono emitidos para 1 JG de calor liberado (ΔCO_2), baseado em dados do IPCC.

Tabela 1: Quilogramas de carbono emitidos por 1 giga joule de calor liberado.

Fontes de Energia	(Kg/JG)
Biomassa	27,3
Óleo Diesel	20,2
Gás Natural	15,3
Carvão	25,8
Hidrelétrica	1,35

Fonte: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – IPCC (2006) e Fearnside (2015).

Metodologias Aplicadas

• Cálculo Pegada de Carbono

-A partir dos valores mostrados anteriormente, calculamos o valor de assinatura de carbono (CES) para cada fonte energética pela fórmula, considerando um rendimento (η) padrão de 34%:

$$CES = \eta \times [(\Delta CO_{2H} \times x\%H) + (\Delta CO_{2B} \times x\%B) + (\Delta CO_{2D} \times x\%T) + (\Delta CO_{2G} \times x\%T) + (\Delta CO_{2C} \times x\%T)]$$

- Em seguida, pelos valores de CES, a emissão de carbono (CE), pode ser encontrada pela fórmula abaixo, onde (EC) representa o consumo de energia da máquina.

$$CE \text{ (kgCO}_2\text{)} = EC \text{ (Gj)} \times CES \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{Gj}} \right)$$

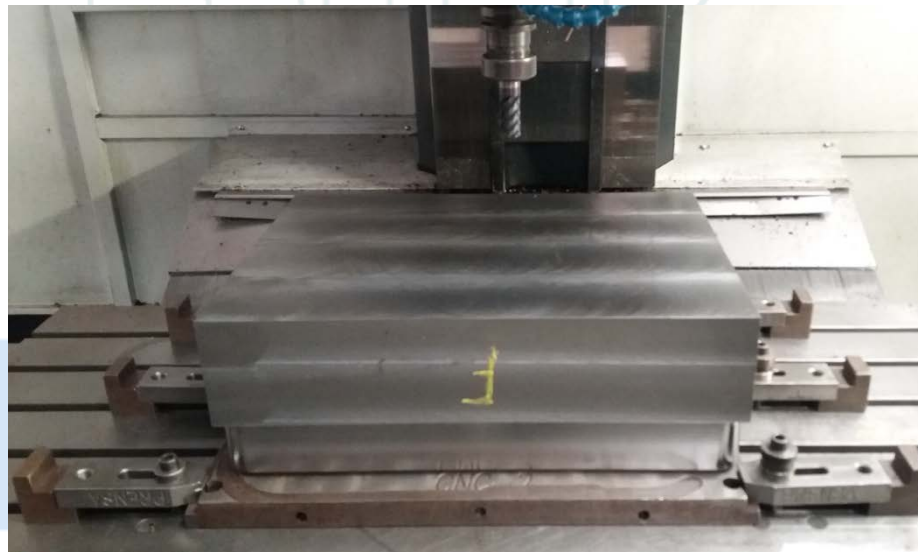
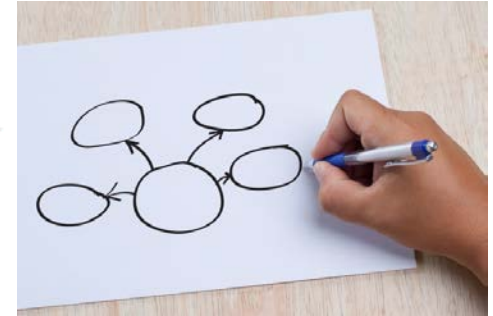
Aplicação

- O enfoque do estudo se deu no setor de usinagem, considerando 8 máquinas CNC, sendo 4 do modelo **ROMI FV-1300 Feeler** e 4 do modelo **ROMI Discovery 1250**, porém com parâmetros de usinagem similares.



Aplicação

- Foram analisados **5 cenários**:
- Cenários 1, 2 e 3 para peças de formato retangular de mesma dimensão (400-1000mm em X e 200-600 mm em Z) em três máquinas similares, distinguindo o operador que realizou o setup. Principal tipo de peça processada na empresa;



Aplicação

- Cenário 4 para peças em formato cilíndrico;



- Cenário 5 para peças de menor dimensão (menor que 400x400 mm).



Resultados – ANTES do SMED

Cenário 1

Peça:	Matriz (barra em formato retangular)	
Máquina:	Centro de Usinagem - Feeler 1300	
Data:	05/10/2016	
Nº	Atividade	Tempo Cronometrado
1	Abrir Máquina	00:00:12
2	Ir pegar <u>pegar</u> vassoura e pá	00:01:46
3	Voltar para a máquina	00:00:28
4	Limpar Máquina	00:04:13
5	Pegar carrinho de disposição de cavacos	00:00:56
6	Colocar cavacos no carrinho	00:02:12
7	Levar Carrinho com cavacos até a caçamba	00:01:08
8	Depositar cavacos na caçamba	00:01:23
9	Guardar carrinho	00:00:36
10	Buscar Carrinho para pegar peças e Ponte Rolante	00:00:34
11	Buscar Ponte Rolante	00:00:26
12	Levar Ponte Rolante e <u>carrinho</u> até o Local da Peça	00:00:40
13	<u>Afaster</u> mesa máquina Fresa	00:01:05
14	Colocar a Peça no Carrinho	00:00:40
15	Desprender a Peça da Ponte	00:00:19
16	Levar a Peça até a bancada de preparação	00:00:17
17	Tirar o Imã da Peça	00:00:02
18	Prender Talha Manual da Peça	00:00:27
19	Posicionar a Peça para Limpeza a jato de ar	00:00:32
20	Limpar a Peça	00:01:15

Resultados – ANTES do SMED

Cenário 1

21	Colocar a Peça na Bancada	00:00:27
22	Tirar o Gancho da Talha da Peça e prender no Suporte	00:00:03
23	Posicionar Suporte em cima da Peça	00:00:09
24	Limpar Peça e Suporte	00:00:08
25	Descer Peça no Suporte	00:00:06
26	<u>Bucar</u> Parafusos para prender o Suporte na Peça	00:00:25
27	Prender o Suporte na Peça	00:02:40
28	Lixar Suporte	00:00:13
29	Prender Talha Manual na Peça	00:00:53
30	Levar Peça até a Máquina	00:00:58
31	Guardar Talha Manual	00:00:30
32	Pegar Ferramentas na Gaveta	00:00:11
33	Colocar Relógio	00:00:10
34	Posicionar a Peça	00:00:20
35	Tirar Gancho da Peça	00:00:13
36	Prender Suporte	00:00:29
37	Zerar Ferramenta	00:01:21
38	Apertar Parafusos Suporte	00:00:50
39	Zerar Peça	00:04:26
40	Guardar Ferramentas Usadas	00:00:05
41	Tirar Relógio	00:00:17
42	Chamar Posição Ferramenta de Corte	00:00:25
43	Colocar Ferramenta de Corte	00:00:08
44	Zerar Ferramenta de Corte na Peça	00:00:55
Total		00:35:33

Cenário 1

Resultados - 1^a e 2^a Etapa SMED

Peça:	Peça em formato retangular	Legenda Setup
Máquina:	ROMI Modelo FV-1300 Feeler	Interno
Data:	05/10/2016	Externo
Nº	Atividade	Tempo Cronometrado
1	Abrir Máquina	00:00:12
2	Ir pegar vassoura e pá	00:01:46
3	Voltar para a máquina	00:00:28
4	Limpar Máquina	00:04:13
5	Pegar carrinho de disposição de cavacos	00:00:56
6	Colocar cavacos no carrinho	00:02:12
7	Levar Carrinho com cavacos até a caçamba	00:01:08
8	Depositar cavacos na caçamba	00:01:23
9	Guardar carrinho	00:00:36
10	Buscar Carrinho para pegar peças e Ponte Rolante	00:00:34
11	Buscar Ponte Rolante	00:00:26
12	Levar Ponte Rolante e carrinho até o Local da Peça	00:00:40
13	Afastar mesa máquina Fresa	00:01:05
14	Colocar a Peça no Carrinho	00:00:40
15	Desprender a Peça da Ponte	00:00:19
16	Levar a Peça até a bancada de preparação	00:00:17
17	Tirar o Imã da Peça	00:00:02
18	Prender Talha Manual da Peça	00:00:27
19	Posicionar a Peça para Limpeza a jato de ar	00:00:32
20	Limpar a Peça	00:01:15
21	Colocar a Peça na Bancada	00:00:27
22	Tirar o Gancho da Talha da Peça e prender no Suporte	00:00:03
23	Posicionar Suporte em cima da Peça	00:00:09
24	Limpar Peça e Suporte	00:00:08
25	Descer Peça no Suporte	00:00:06

Cenário 1

Resultados – 1ª e 2ª Etapa SMED

26	Buscar Parafusos para prender o Suporte na Peça	00:00:25
27	Prender o Suporte na Peça	00:02:40
28	Lixar Suporte	00:00:13
29	Prender Talha Manual na Peça	00:00:53
30	Levar Peça até a Máquina	00:00:58
31	Guardar Talha Manual	00:00:30
32	Pegar Ferramentas na Gaveta	00:00:11
33	Colocar Relógio	00:00:10
34	Posicionar a Peça	00:00:20
35	Tirar Gancho da Peça	00:00:13
36	Prender Suporte	00:00:29
37	Zerar Ferramenta	00:01:21
38	Apertar Parafusos Suporte	00:00:50
39	Zerar Peça	00:04:26
40	Guardar Ferramentas Usadas	00:00:05
41	Tirar Relógio	00:00:17
42	Chamar Posição Ferramenta de Corte	00:00:25
43	Colocar Ferramenta de Corte	00:00:08
44	Zerar Ferramenta de Corte na Peça	00:00:55
Tempo Total do Setup		00:35:33
Tempo Atividades Setup Interno		00:12:56
Tempo Atividades Setup Externo		00:22:37

Resultados – 1^a e 2^a Etapa SMED

A divisão das atividades em setup interno e externo no Cenário 1 já representou uma redução do tempo total de *setup* de **35 minutos e 33 segundos** para **12 minutos e 56 segundos**, sendo este um ganho **63,62%** com a redução de tempo ocioso.



Cenário 1

Resultados – 3ª Etapa SMED

Nº	Atividade	Procedimento	Tempo Atual	Tempo Melhoria	Tempo Reduzido
4	Limpar Máquina	Colocar mais um operador para ajudar nessa atividade	00:04:13	00:02:07	50%
37	Zerar Ferramenta	Mudar procedimento:	00:01:21		75%
39	Zerar Peça	Atual: Zeramento com relógio apalpador e calço Proposto: Uso de ferramenta de pré-set	00:04:26	00:00:20	92%
44	Zerar Ferramenta de Corte na Peça	com relógio e base magnética. Investimento: R\$800,00	00:00:55		64%

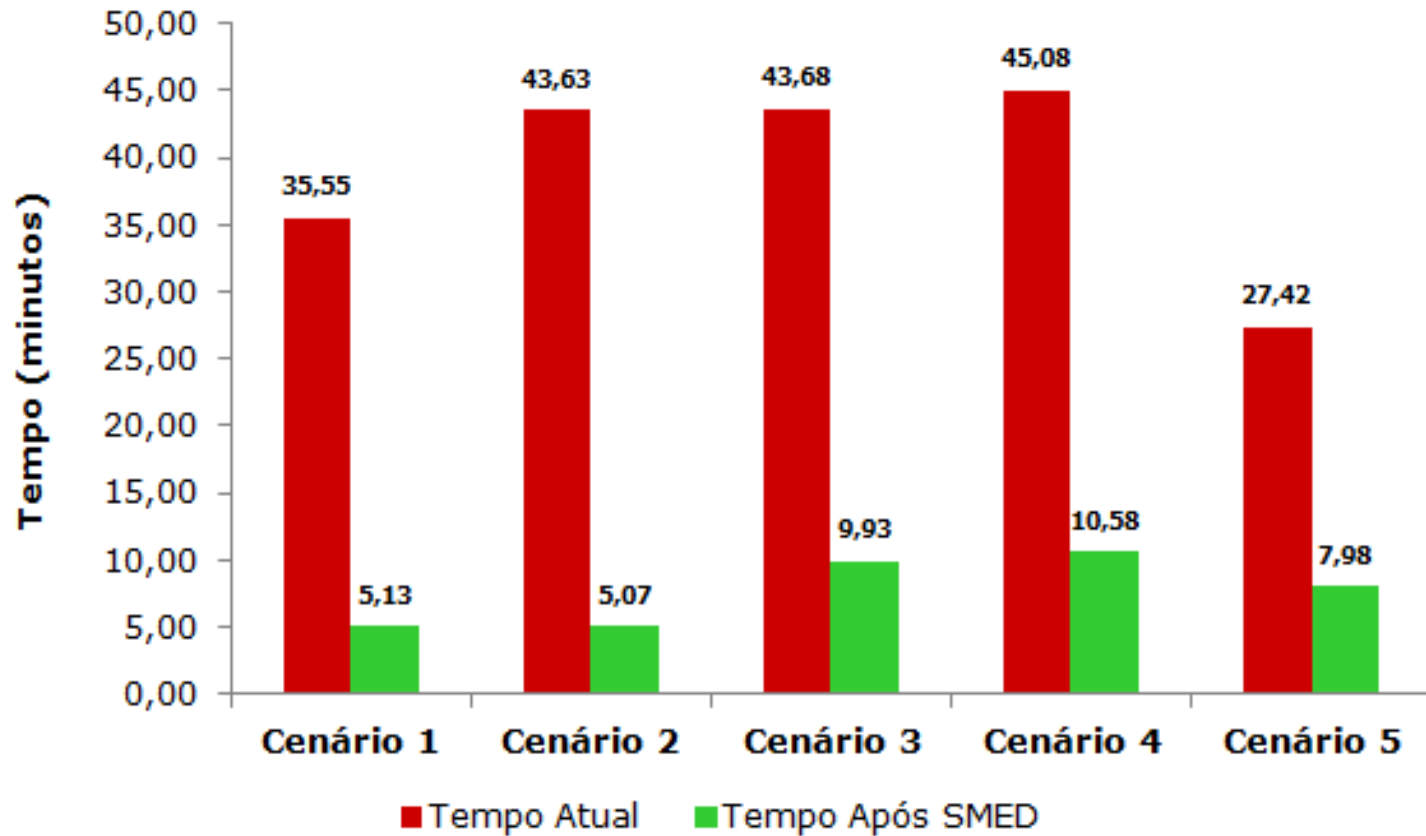
Resultados – 3ª Etapa SMED

Com a inclusão das melhorias propostas, o tempo total de setup do Cenário 1 é reduzido de **35 minutos e 33 segundos** para **5 minutos e 8 segundos**, portanto, atingindo a casa de um dígito de tempo proposto por SHINGO (2000), o que representa uma redução de **85,6%** no tempo de *setup*



Todos os cenários!

Resultados



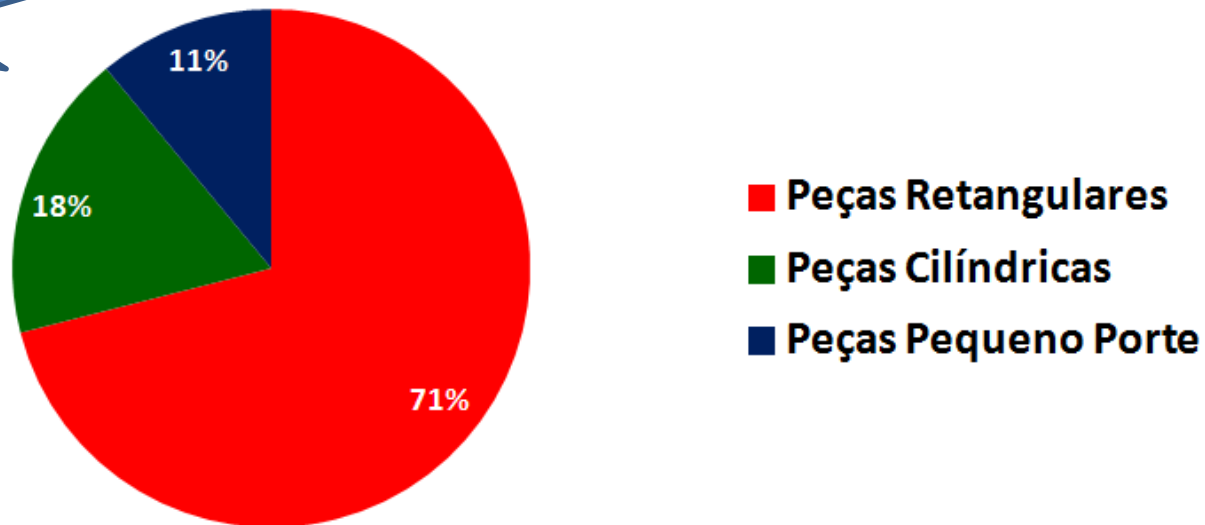
Resultados

- **Cenário 1** - Peça Retangular: redução de **85,6%** do tempo total de *setup*;
- **Cenário 2** - Peça Retangular : redução de **88,4%** do tempo total de *setup*;
- **Cenário 3** - Peça Retangular : redução de **77,35%** do tempo total de *setup*;
- **Cenário 4** - Peça Cilíndrica : redução de **76,5%** do tempo total de *setup*;
- **Cenário 5** - Peça Pequena Dimensão : redução de **70,9%** do tempo total de *setup*;

Resultados

- O gráfico a seguir mostra o tempo total gasto com o *setup* no terceiro trimestre de 2016:

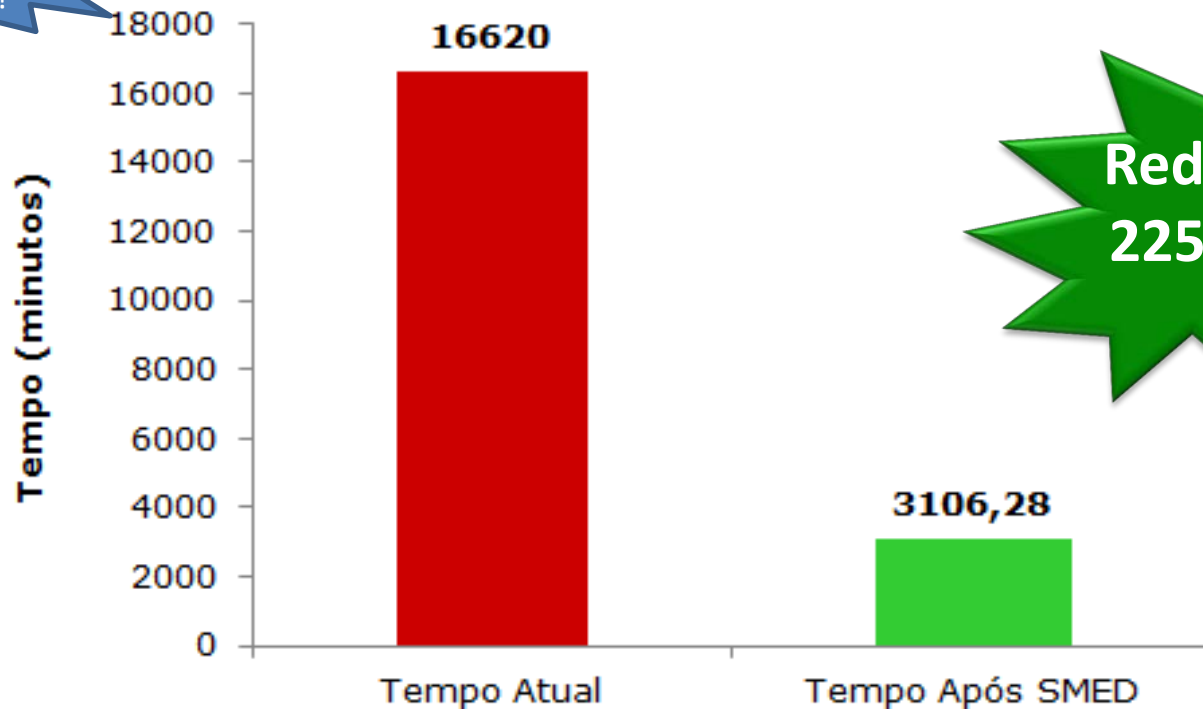
Todos os cenários!



Resultados

- A cada 3 meses de produção, **1 mês** é gasto com operações de *setup*.

Todos os cenários!

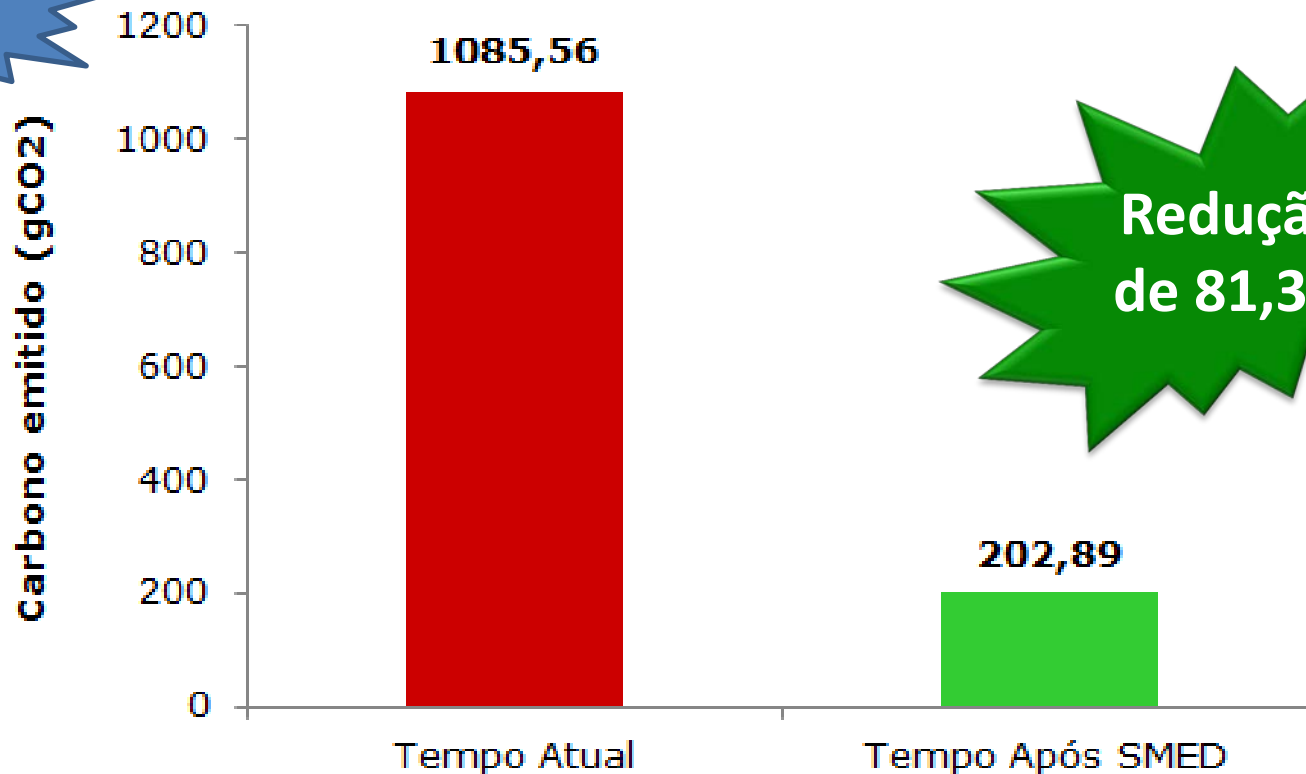


Redução de
225,29 Hrs.

Resultados

- Pelos cálculos de Pegada de Carbono, calculou-se o total gasto em **emissão de carbono** para as atividades de setup no trimestre analisado.

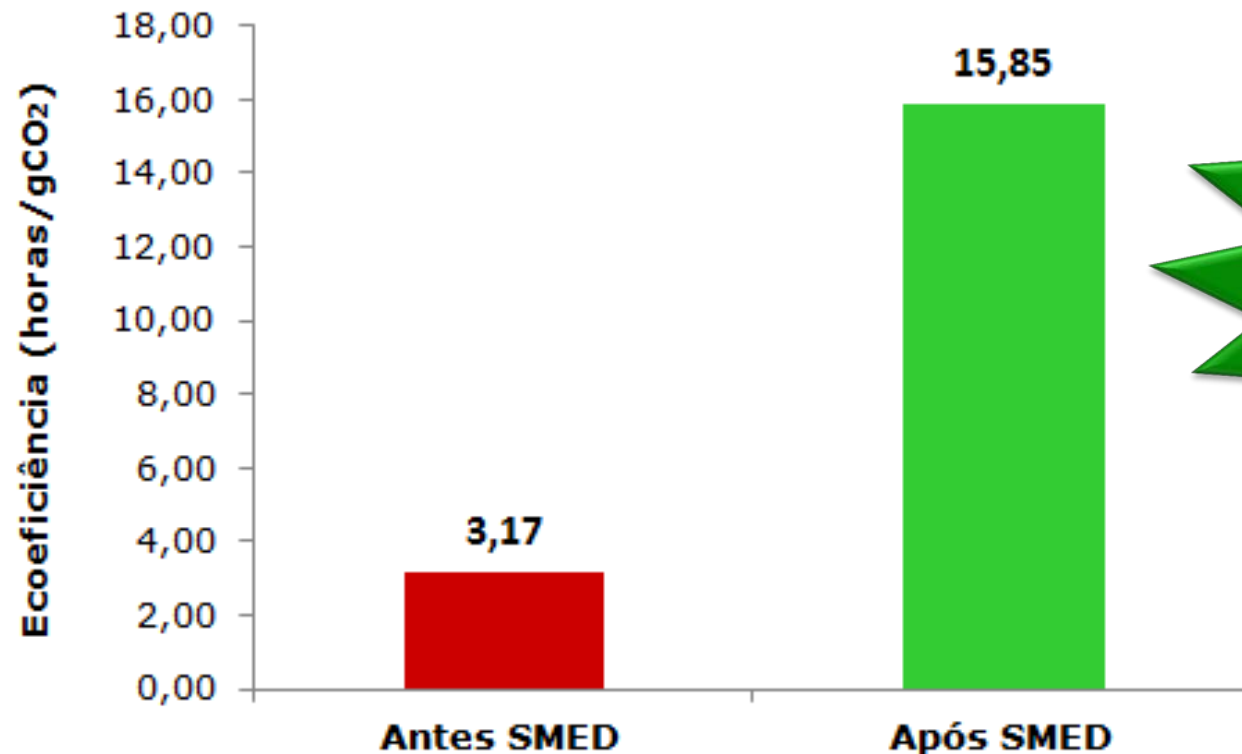
Todos os cenários!



Resultados

- Ecoeficiência analisando ganhos de emissões no Setup:

$$EE = \frac{\text{valor do bem ou do serviço}}{\text{influência ambiental}} = \frac{\text{Total Horas Produção no Trisemestre (Horas)}}{\text{Emissão de Carbono no setup (gCO}_2\text{)}}$$

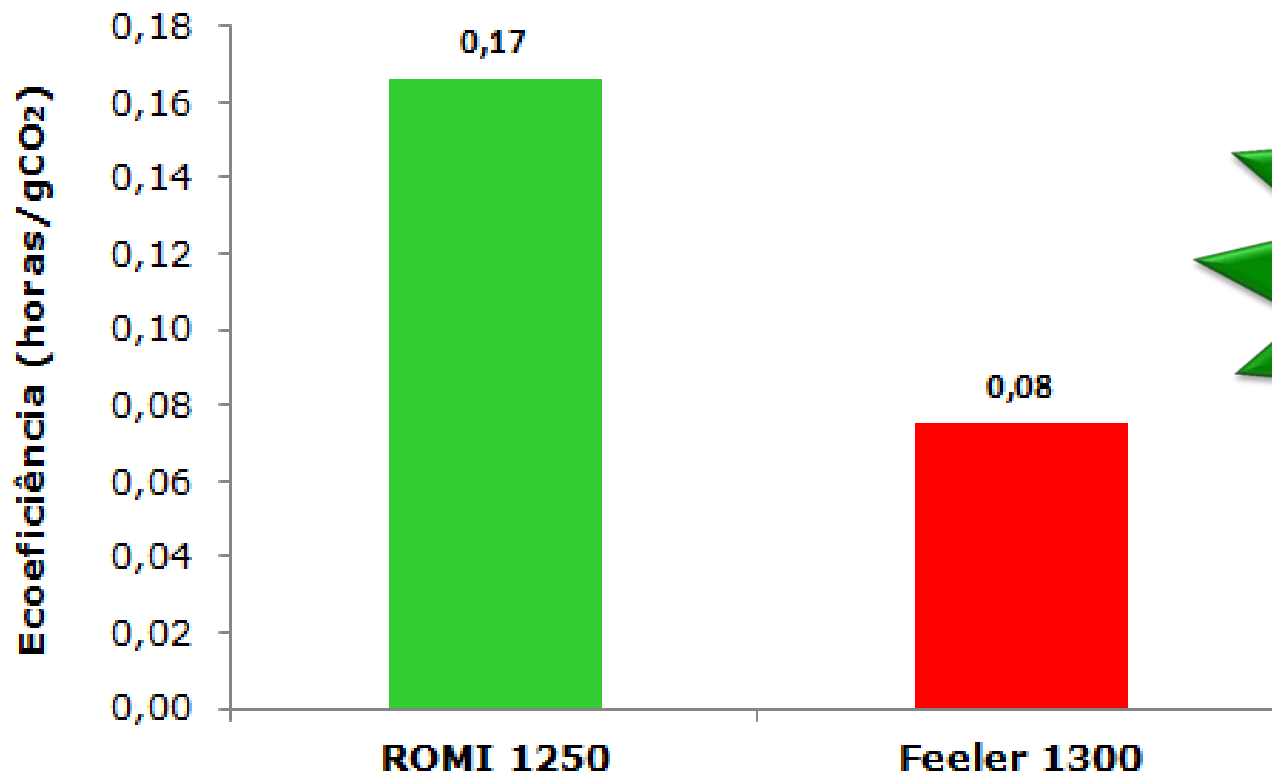


**Ganho 5
vezes maior**

Resultados

- Ecoeficiência Máquinas comparando Produção:

$$EE = \frac{\text{valor do bem ou do serviço}}{\text{influência ambiental}} = EE = \frac{\text{Total Horas Produção no Trismente} \left(\frac{\text{Hrs}}{\text{gCO}_2} \right)}{\text{Emissão de Carbono na Produção}}$$

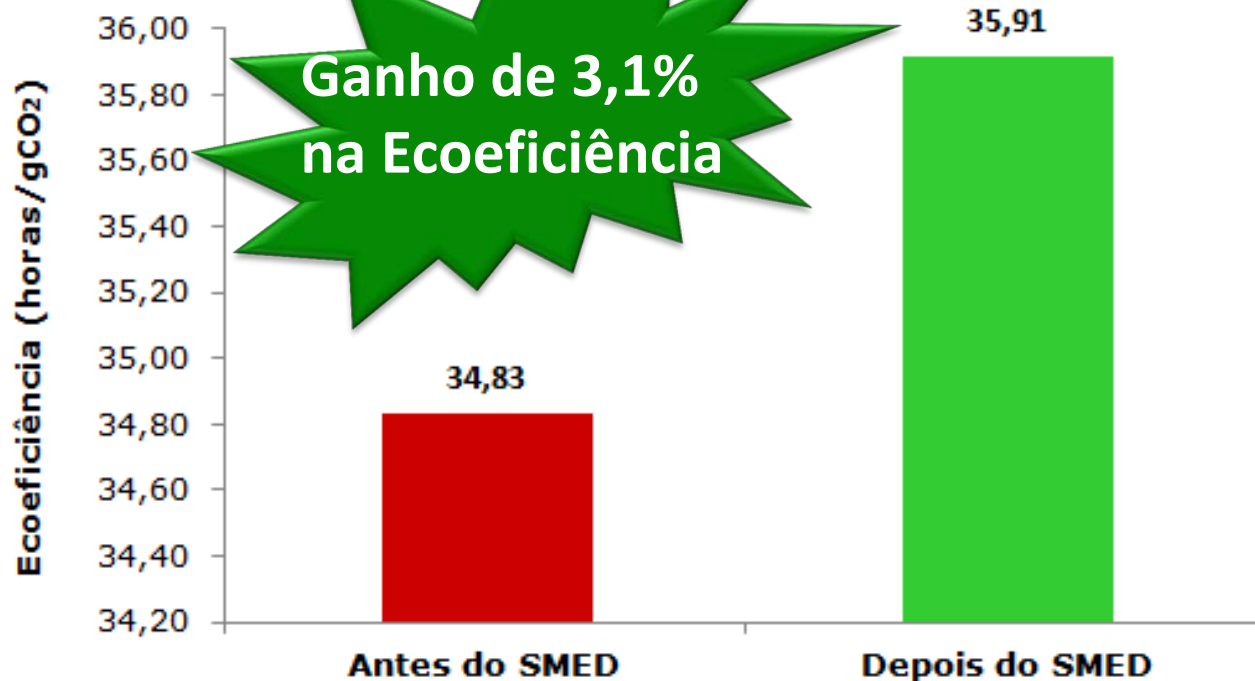


ROMI 1250
212,5%

Resultados

- Ecoeficiência considerando o ganho de tempo do SMED transformado em tempo de Produção:

$$EE = \frac{\text{valor do bem ou do serviço}}{\text{influência ambiental}} = EE = \frac{\text{Total Horas Produção no Trismente} \left(\frac{\text{Hrs}}{\text{gCO}_2} \right)}{\text{Emissão de Carbono (setup+produção)}}$$



**Aumento de 7,79%
na Produção**



Considerações Finais

- Importância da adoção de ferramentas *Lean Manufacturing* para redução de custos e otimização de processos;
- Facilidade de utilizar indicadores ambientais combinados com tais ferramentas, considerando o viés sustentável, cada vez mais importante em escala global, para a tomada de decisões gerenciais;
- *Trade-off* entre a mensuração da Pegada de Carbono com a aplicação do SMED:
 - **Eliminando tempos improdutivos, a capacidade das máquinas aumentam para realizar a atividade de usinagem, ou seja, mais tempo de trabalho em potências maiores e aumento da Pegada de Carbono. Mesmo assim, a ecoeficiência foi aumentada em 3,1%.**

OBRIGADO!!!

PROF. DR. DIOGO APARECIDO LOPES SILVA

Universidade Federal de São Carlos

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção de Sorocaba

<http://www.ppqeps.ufscar.br/>

✉ diogo.apls@ufscar.br / diogo.apls@gmail.com

☎ +55 15 3229 7454 / +55 15 981127843

CV: <http://lattes.cnpq.br/1101747760784249>

https://www.researchgate.net/profile/Diogo_Silva10/publications/

<https://br.linkedin.com/in/diogo-aparecido-lobes-silva-76142736>

Rod. João Leme dos Santos, Km 110 – SP 264

Bairro do Itinga

Sorocaba, SP, CEP 13565-905

