

Dissertação de Mestrado

Engenharia Eletrotécnica - Energia e Automação Industrial

Sistema de mobilidade elétrica de duas rodas de elevada eficiência e performance



José Carlos Marques da Silva
Dezembro de 2013

“Sistema de mobilidade elétrica de duas rodas de elevada eficiência e performance”

Objetivos da dissertação

Projetar uma bicicleta elétrica (e-bike) de elevada eficiência e performance;

Disseminar conhecimento rigoroso referente a esta forma de deslocação;

Ajudar a sensibilizar os intervenientes acerca dos grandes benefícios do uso da bicicleta elétrica;

Promover a mobilidade sustentável.

Estrutura da apresentação

1

- Introdução

2

- Cinemática do veículo de duas rodas

3

- Projeto da bicicleta

4

- Desenho do quadro

5

- “Branding”

6

- Simulações

7

- Conclusões

1

• Introdução

Situação atual:

A taxa de motorização em Portugal disparou a ritmo alucinante nos últimos anos;

Os transportes rodoviários são uma das principais fontes emissoras de poluentes para a atmosfera, traduzindo-se em consequências graves ao nível da degradação da qualidade do ar e na saúde pública;

Saturação crescente de automóveis nos espaços urbanos;

Agravamento do custo do estacionamento nesses espaços;

Aumento contínuo do custo do petróleo;

Diminuição geral do poder de compra.

1

• Introdução

Esta realidade leva-nos a procurar novos modelos de mobilidade, **sustentáveis, amigos do ambiente**, que maximizem o uso da energia produzida a partir de fontes renováveis e se integrem harmoniosamente no funcionamento e desenvolvimento das cidades.

Assim, é de todo o interesse



Reduzir emissões e ruídos, adotando sistemas não poluentes para viagens de curta distância;

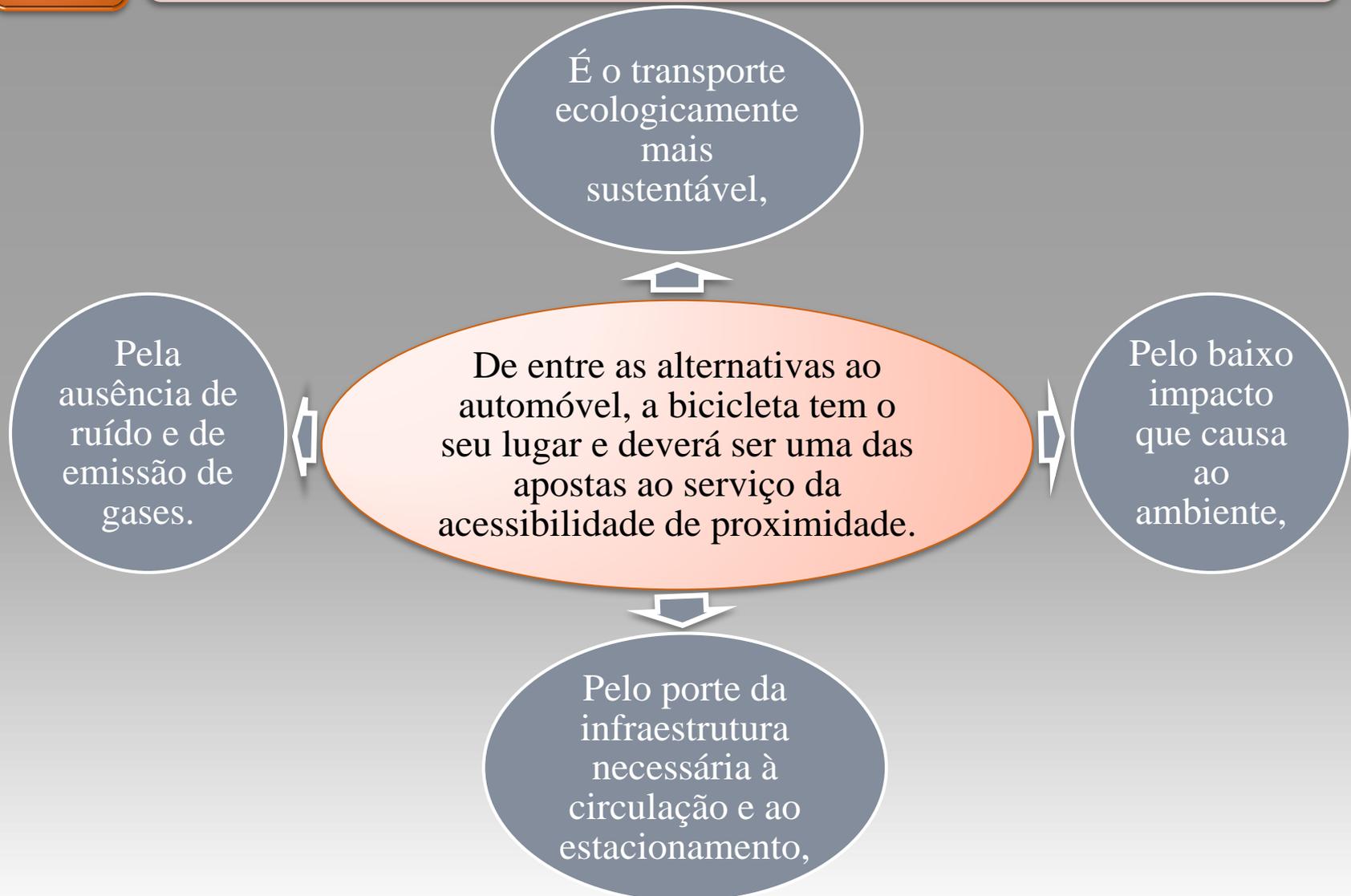
O que leva a uma



Necessária redução no uso do automóvel para garantir uma mobilidade urbana sustentável;

1

• Introdução



1

• Introdução



2

• Cinemática do veículo de duas rodas

Compreender os efeitos da ação das forças que interagem com o veículo e com o movimento.

Calcular qual a **força resistente total, ou força de tração (F_t)** necessária para manter um veículo a uma determinada velocidade.

$$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i$$

$$F_t = m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \text{sen}(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)$$

F_r → Força de resistência ao rolamento;

F_D → Força de atrito aerodinâmico;

F_g → Força gravítica (componente com a direção do movimento);

F_i → Força de inércia.

2

• Cinemática do veículo de duas rodas

Potência mecânica a aplicar na roda

$$P_m = F_t \times v$$

Potência elétrica

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_M \eta_E}$$

$$P_e = \frac{\left[(m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)) \right] \times v}{\eta_M \eta_E}$$

3

• Projeto da bicicleta

Power Drive

Baterias

Controlador

Motor

Parâmetros base do projeto

Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade máxima a alcançar em plano - \vec{v}	60	km/h
	16,67	m/s
Autonomia	60	km
Massa da bicicleta - m_1	30	kg
Massa do condutor - m_2	70	kg
Aceleração gravítica - \vec{g}	9,80665	m/s ²
Coefficiente de resistência ao rolamento - f_r	0,0045	
Densidade do ar - ρ	1,2	kg/m ³
Área frontal do veículo com condutor - A_f	0,5	m ²
Coefficiente de resistência aerodinâmica - C_D	1	
Velocidade do vento - \vec{v}_w	0	m/s
Ângulo de inclinação - θ	0	%
Rendimento da transmissão mecânica (Direct Drive) - η_M	100	%
Rendimento do power drive "controlador + motor" - η_E	80	%
Perímetro das rodas de 26 polegadas - P_r	2,08	m

3

• Projeto da bicicleta

Força resistente total - F_t

$$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i = 4,4 + 83,4 + 0 + 0 = 87,8 \text{ N}$$

Potência mecânica (P_m) a aplicar na roda motora para vencer esta força F_t

$$P_m = F_t \times v = 87,8 \times 16,67 \cong 1464 \text{ W}$$

Potência elétrica (P_e) a fornecer ao controlador

$$P_e = \frac{P_w}{\eta_M \eta_E} = \frac{1464}{0,8} = 1830 \text{ W}$$

4

• Projeto da bicicleta

Motor Crystalyte 5304

Brushless - sem escovas

Sensorless - sem sensores magnéticos de efeito de *Hall*

Gearless - sem engrenagens

Direct drive - com acionamento direto à carga



Controlador Crystalyte CT 4840

Controlador trifásico, com ligadores padrão e adequado para motores *brushless* e *sensorless*, com 12 Mosfet's na saída, permite uma potência máxima de 1920 W (48 V x 40 A).



Pack de baterias LiFePO4

48V 30Ah, com BMS

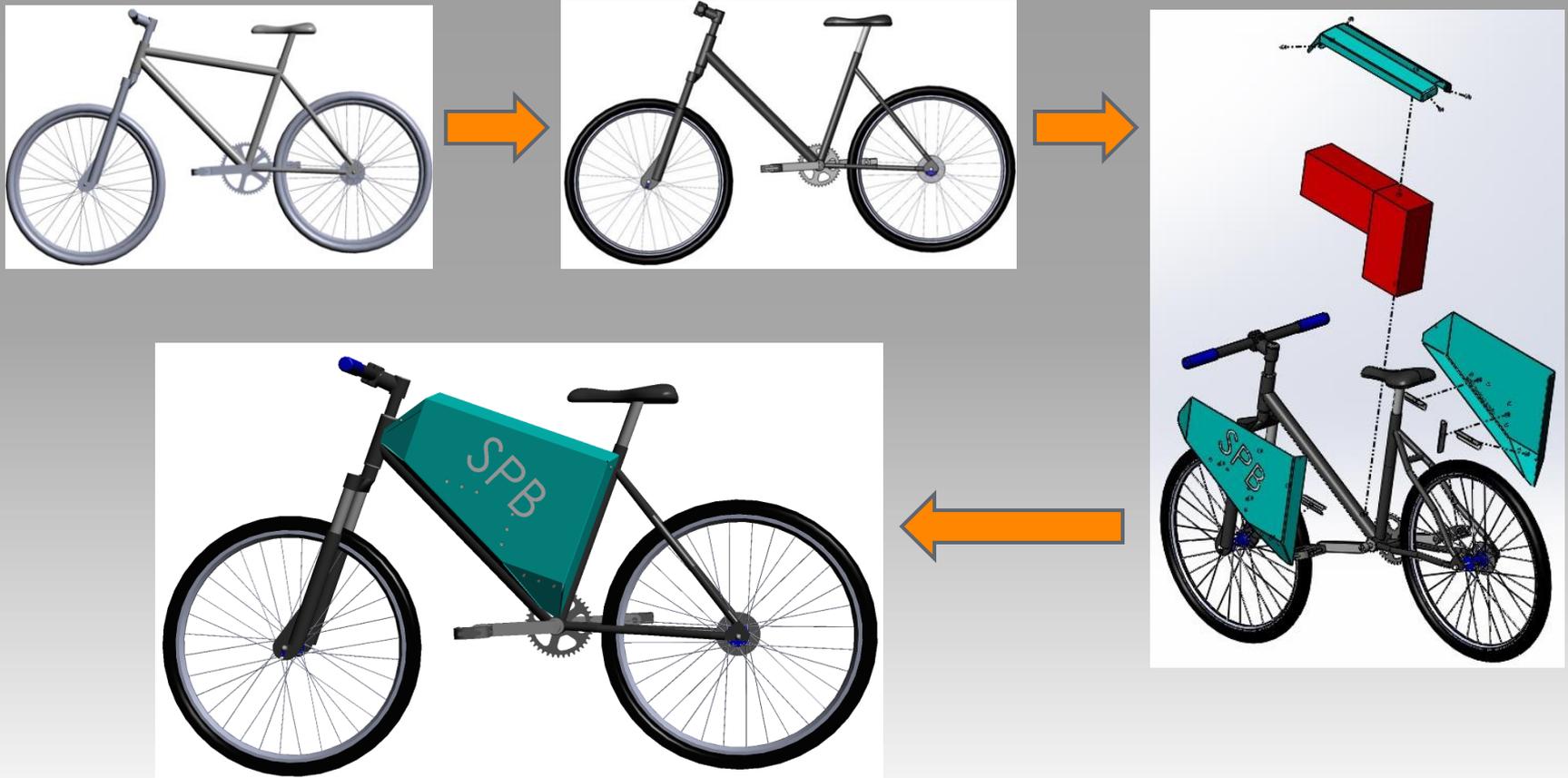
Capacidade superior a 80% após 2000 ciclos.



4

- Desenho do quadro

Adaptação dum quadro convencional



5

• Simulações

FOLHA COM CÁLCULO DE TODAS AS GRANDEZAS UTILIZANDO OS VALORES PREDEFINIDOS NO PROJETO

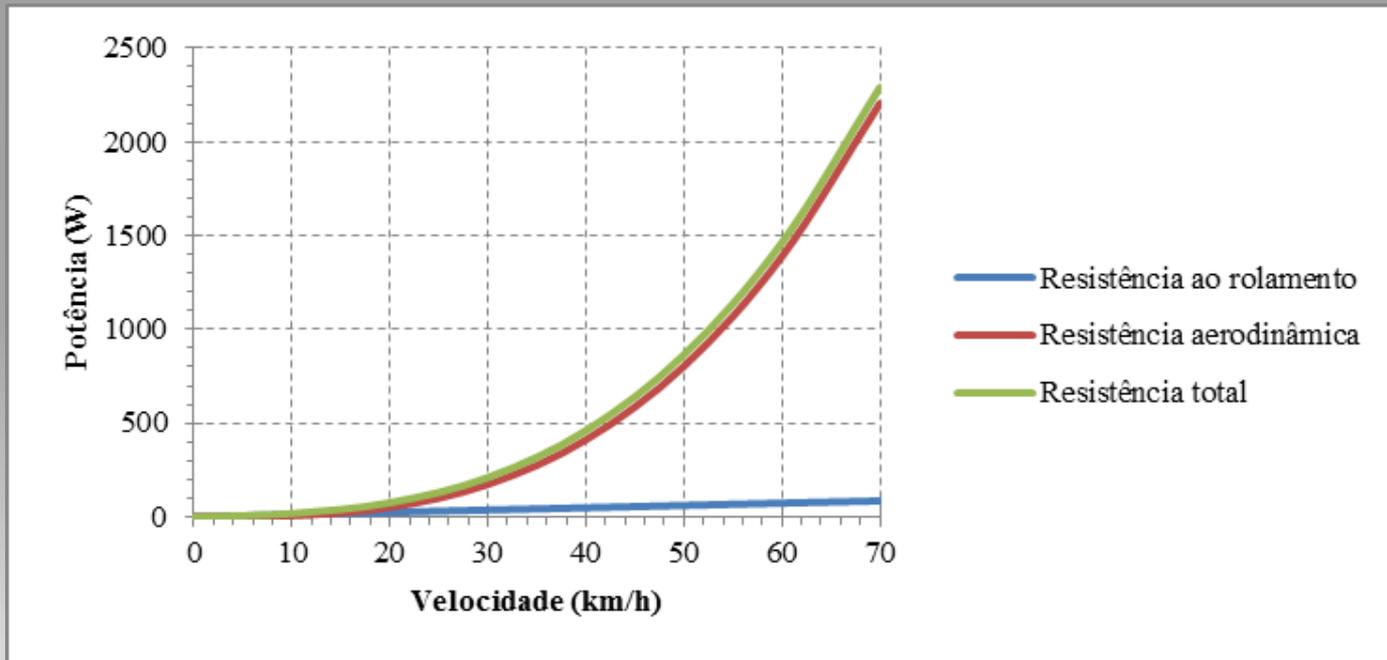
Nota: Inserir valores nas células verdes

Grandeza	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmulas	Grandeza	Símbolo	Valor	Unidade
Massa do conjunto [bicicleta + condutor]	m	100	kg	$P = m \times g$	Peso	P	980,665	N
Aceleração gravítica	g	9,80665	m/s ²	$F_r = P \times f_r \times \cos(\theta)$	Força de resistência ao rolamento	F_r	4,41299	N
Coefficiente de resistência ao rolamento	f_r	0,0045						
Densidade do ar	ρ	1,2	kg/m ³	$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2$	Força de resistência aerodinâmica	F_D	83,3333	N
Área frontal [bicicleta + condutor]	A_f	0,5	m ²					
Coefficiente de resistência aerodinâmica	C_D	1						
Velocidade do veículo num dado instante	v	16,6666667	m/s	$F_g = m \times g \times \sin(\theta)$	Força gravítica	F_g	0	N
Velocidade do vento (sinal negativo se circular contra o vento)	v_w	0	m/s					
Ângulo de inclinação do plano	θ	0	graus					
Rendimento mecânico da transmissão	η_M	100	%	$F_i = m \times a \times (1 + \delta)$	Força de inércia	F_i		Desprezada
Rendimento elétrico do conjunto "bateria + controlador + motor"	η_E	80	%	$\delta = \frac{J}{m \times r^2}$				
Perímetro das rodas	p	2,08	m	$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i$	Força resistente total	F_t	87,7463	N
Cálculos auxiliares				$P_m = F_t \times v$	Potência entregue às rodas	P_m	1462,44	W
Velocidade do veículo num dado instante	km/h	m/s		$P_e = \frac{P_m}{\eta_M \eta_E}$	Potencia elétrica	P_e	1828,05	W
Conversão - km/h --> m/s	60	16,6666667						
Conversão - m/s --> km/h	0	0						
Ângulo de inclinação (subida)	%	Graus		$v_r = \frac{v \times 60}{2 \times \pi \times r_r}$	Velocidade das rodas	v_r	480,769	rpm
Conversão - Inclinação em % --> Graus	0	0						

5

• Simulações

Potência versus velocidade



5

• Simulações

Autonomia

Situação	Velocidade (km/h)	Autonomia (h)	Autonomia (km)	Consumo (Wh/km)
Sem apoio da pedalada	26,4	6,13	162	7,1
Com apoio da pedalada (60W)	26,4	10,24	270	4,3

Custos associados

Situação	Recarga total da bateria	Por cada 100 km	Por cada 100 km + valor de depreciação da bateria
Com apoio da pedalada	0,249 €	0,092 €	0,252 €

Impacte Ambiental

Considerando 300g/kWh de CO₂

129g de CO₂ por 100km

6

• “Branding”

Marca

SPB
*“Silent Power
Bike”*

Slogan

*Ecomobility
Systems*

Logotipo



Website

SPB - Silent Power Bike

Ecomobility Systems



7

• Conclusões

A bicicleta é o transporte ecologicamente mais sustentável.

As bicicletas elétricas apresentam inúmeras vantagens. São a forma mais eficiente de deslocamento, em termos energéticos.

Trocar o carro pela bicicleta constitui cada vez mais uma opção de mobilidade, pois traz múltiplas vantagens.

Atualmente a falta de segurança para o uso dos velocípedes constitui um dos principais fatores desincentivadores do uso da bicicleta nas estradas.

A implementação de raiz da bicicleta elétrica concebida neste projeto não fica muito econômica, fruto sobretudo do custo das baterias e da produção de apenas uma unidade.

7

• Conclusões

Trabalhos futuros

Carregamento solar;

Travagem regenerativa;

Motor de tração na pedaleira;

Diminuição do tamanho da caixa de alojamento das baterias, com a inserção célula a célula.

Construção do protótipo

Uma vez que não se verificou disponibilidade financeira por parte do DEE para a construção dum protótipo deste projeto, pessoalmente investi nesta área, que acredito e pretendo continuar a promover, convertendo uma bicicleta convencional numa elétrica que vou usando no meu dia a dia.



1978

Construção do protótipo



Fim da apresentação

Obrigado pela atenção

“A Mobilidade Sustentável é a capacidade de dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar-se livremente, aceder, comunicar, negociar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos hoje ou no futuro.”

World Business Council for Sustainable Development



Dissertação de Mestrado

Engenharia Eletrotécnica - Energia e Automação Industrial

Sistema de mobilidade elétrica de duas rodas de elevada eficiência e performance



José Carlos Marques da Silva
Dezembro de 2013