

JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
(ORGANIZADORES)

---

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
(ORGANIZADORES)

---

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C697 Collection: applied electrical engineering / Organizadores  
João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta  
Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-858-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.585222801>

1. Electrical engineering. I. Dallamuta, João  
(Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III.  
Título.

CDD 621.3

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

Neste livro temos uma diversidade de temas, níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A MODEL BASED DESIGN APPROACH FOR KNOCK CONTROL IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING MACHINE LEARNING**

Eduardo Vieira Falcão

Vinicius Mafra Melo

Péricles Rezende Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228011>

### **CAPÍTULO 2..... 15**

#### **DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL TOOL FOR DIMENSIONING AND ANALYZING THE ECONOMIC FEASIBILITY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**


David Coverdale Rangel Velasco

Elivandro Tavares Lôbo

Welder Azevedo Santos

Wagner Vianna Bretas


Rodrigo Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228012>

### **CAPÍTULO 3..... 21**

#### **OTIMIZAÇÃO DE OPERAÇÕES MODULARES ATRAVÉS DO USO DE PSEUDO-MÓDULOS**

Augusto Cezar Boldori Vassoler

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228013>


### **CAPÍTULO 4..... 33**

#### **OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA USANDO SIMULAÇÃO MATEMÁTICA E TESTES EXPERIMENTAIS**

Eduardo G. Silva

Alexandre S. Caporali

Cesar da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228014>

### **CAPÍTULO 5..... 49**

#### **MAPAS COGNITIVOS FUZZY DINÂMICOS ADAPTATIVOS APLICADOS EM PROCESSO INDUSTRIAL**

Márcio Mendonça

Francisco de Assis Scannavino Junior

Wagner Fontes Godoy

Lucas Botoni de Souza

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Fábio Rodrigo Milanez

Carlos Alberto Paschoalino


Michele Eliza Casagrande Rocha

Vicente de Lima Gongora

Ricardo Breganon

Marcio Aurélio Furtado Montezuma

Emanuel Ignacio García

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228015>

**CAPÍTULO 6..... 61**

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DIDÁTICO SOBRE FILTROS PROBABILÍSTICOS EMPREGADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO EM ROBÓTICA MÓVEL

José Lucas Araújo dos Santos

Luciano Buonocore

Luiz Eugênio Santos Araújo Filho


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228016>

**CAPÍTULO 7..... 74**

EFFECTO DE LA IMPLANTACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA ESPAÑOLA

Paula Romo Santos

Begoña Lapeña Barrio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228017>

**CAPÍTULO 8..... 90**

INSTALAÇÃO DE MEDIÇÃO NOS ALIMENTADORES DAS SUBESTAÇÕES

Adalberto Leandro da Silva

Fabio Coelho de Santana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228018>

**CAPÍTULO 9..... 106**

PROJETO DE OUVIDORIA DA DISTRIBUIÇÃO DA EDP SÃO PAULO – ANÁLISE DE DEMANDA DE MAIOR IMPACTO

Márcia Lúcia Lopes de Souza Jesus

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5852228019>

**CAPÍTULO 10..... 114**

DIAGNÓSTICO, CRESCIMENTO E ATENUAÇÃO DE RISCOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM FAVELAS

Márcio Mendonça

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Fábio Rodrigo Milanez

Wagner Fontes Godoy

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Carlos Alberto Paschoalino


Francisco de Assis Scannavino Junior

Vicente de Lima Gongora

Lucas Botoni de Souza

Michele Eliza Casagrande Rocha

José Augusto Fabri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280110>

**CAPÍTULO 11..... 127**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA EDIFICAÇÃO DA CIDADE DE PORTO VELHO - RO**


Angelina Lidiane Moura Cunha  
Felipe Alexandre Souza da Silva  
Antonio Carlos Duarte Ricciotti  
Viviane Barrozo da Silva  
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280111>

**CAPÍTULO 12..... 140**

**O DESEMPENHO E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM PALMAS - TO: ANÁLISE EM FUNÇÃO DO PONTO CARDEAL E VARIAÇÃO ANGULAR DAS PLACAS**


Aline Silva Magalhães  
Jabson da Cunha Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280112>

**CAPÍTULO 13..... 153**

**SIMULADOR DE CARGA UTILIZANDO MECANISMO DE FRENAGEM ELETROMAGNÉTICA PARA ENSAIOS DE COMPORTAMENTO DE MÁQUINAS ASSÍNCRONAS**


Murilo Meneghetti Caramori  
Alexandre Dalla Rosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280113>

**CAPÍTULO 14..... 184**

**PROPOSTA DE GEOMETRIAS DE NÚCLEOS USADOS EM ACOPLAMENTOS DE SISTEMAS ATRAVÉS DO FLUXO MAGNÉTICO**

Lucas Lapolli Brighenti  
Walbermark Marques Dos Santos  
Denizar Cruz Martins


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280114>

**CAPÍTULO 15..... 198**

**DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA DE ESTIRENO-BUTADIENO (SBR) PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO**

Harison Franca do Santos  
Arthur Pimentel de Carvalho  
Carlos Toshiyuki Hiranobe  
Eduardo Roque Budenberg  
Gabriel Deltrejo Ribeiro  
Giovanni Barrera Torres  
Jose Francisco Resende  
Leonardo Lataro Paim  
Leandra Oliveira Salmazo  
Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Renivaldo José dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58522280115>

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>210</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>211</b>

## A MODEL BASED DESIGN APPROACH FOR KNOCK CONTROL IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING MACHINE LEARNING

*Data de aceite: 10/01/2022*

*Data de submissão: 07/10/2021*

### **Eduardo Vieira Falcão**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande – PB  
<http://lattes.cnpq.br/8249702768753558>

### **Vinicius Mafra Melo**

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa – PB  
<http://lattes.cnpq.br/4978035137067732>

### **Péricles Rezende Barros**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande – PB  
<http://lattes.cnpq.br/0722445222056063>

**ABSTRACT:** Knock is the byproduct of an abnormal combustion taking place in the combustion chamber and is associated to high vibration levels, undesirable noise, increased emissions and degraded fuel economy. Conventional control strategies address knock in a corrective fashion by tuning the spark timing in order to decrease in-cylinder pressure and temperature. Although effective in avoiding engine's prolonged exposure to the harmful vibratory forces, it may induce excessive spark retard and is implemented through a considerable number of calibrations. Recent breakthroughs on knock investigation show that knock intensity inherits random behavior and this statement plays a crucial role on how to appropriately design knock control laws. By leveraging this assumption using

machine learning concepts and treating knock occurrence as a classification problem, a logistic regression model dependent on in-cylinder pressure, compressed mixture temperature and engine RPM is defined. The Likelihood Ratio Test is performed to validate the suggested hypothesis and McFadden's pseudo-R<sup>2</sup> is calculated to quantify its accuracy. By leveraging the hypothesis stated, a proportional gain feedback control is designed to account for steady state operation of combustion engines around a target knock rate. Simulation results show the performance of both logistic regression model and proportional gain knock control against a conventionally defined knock control.

**KEYWORDS:** Engine Knock, Logistic Regression, Machine Learning, Model based Design.

**RESUMO:** Knock é o subproduto de uma combustão anormal ocorrendo na câmara de combustão e está associado a altos níveis de vibração, ruído indesejável, aumento de emissões e economia de combustível degradada. As estratégias de controle convencionais tratam da detonação de maneira corretiva, ajustando o tempo de ignição para diminuir a pressão e a temperatura no cilindro. Embora eficaz em evitar a exposição prolongada do motor às forças vibratórias prejudiciais, pode induzir retardo de ignição excessivo e é implementado por meio de um número considerável de calibrações. Avanços recentes na investigação de knock mostram que as variações na intensidade de knock herdaram comportamento aleatório e esta declaração desempenha um papel crucial em como projetar apropriadamente as leis de controle para conter

ou minimizar o fenômeno. Aproveitando essa suposição usando conceitos de aprendizado de máquina e tratando a ocorrência de knock como um problema de classificação, um modelo de regressão logística dependente da pressão no cilindro, temperatura da mistura comprimida e RPM do motor é definido. O Teste da Razão de Verossimilhança é realizado para validar a hipótese sugerida e o pseudo-R<sup>2</sup> de McFadden é calculado para quantificar sua precisão. Aproveitando a hipótese declarada, um controle de feedback de ganho proporcional é projetado para levar em conta a operação em estado estacionário dos motores de combustão em torno de uma taxa de knock alvo. Os resultados da simulação comparam o desempenho do modelo de regressão logística e do controle de detonação de ganho proporcional em relação a um controle de detonação definido convencionalmente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Batida de motor, Regressão Logística, Aprendizagem de Máquina, Desenvolvimento baseado em Modelos.

## 1 | INTRODUCTION

Knock is the audible noise that results from spontaneous ignitions that take place in the unburned zone of the air-fuel mixture enclosed in the combustion chamber and mainly characterized by fast heat releasing chemical reactions (Kiencke and Nielsen, 2005). As torque demand increases, spark timing has to be adjusted in a way that part of the combustion process is proportionally shifted towards the compression stroke in order to deliver more power. This leads to an increase in both temperature and pressure inside the cylinder as well as formation of hot spots in the combustion chamber. These conditions, occasionally, provide the reactive radicals in the fuel molecules with sufficient activation energy to ignite spontaneously. This causes an insufficient pressure equalization within the combustion chamber and high vibration levels are induced in the engine due to the fast expanding flame front colliding with cylinder wall, valves, spark plug and piston head but also from the spontaneous ignition flame front collision with the spark plug ignited flame front. Besides the harmful vibration levels that can damage engine components and undesirable noise, it is also associated to NO<sub>x</sub> formation (Jones et al., 2013).

Different control strategies were developed to address engine knock. A standard approach in the automotive industry is to retard the spark timing upon knock detection and incrementally advance it. This prevents engine's long exposure to the vibratory forces but sacrifices engine efficiency. Such a corrective approach bases itself on the statement that engine knock is a deterministic phenomenon when, in fact, knock intensity possesses strong random nature (Selmanaj et al., 2018). This baseline leads to the conclusion that for an effective control law to be designed there has to be a model that approaches the problem in accordance to the appropriate mathematical framework.

Logistic regression is a powerful predictive analysis technique that attempts to describe the relationship between one dependent categorical random variable and measurable quantities that correlate with it. By addressing knock occurrence as a classification problem

and defining a convenient features vector, it becomes feasible to apply logistic regression to compute statistical models in order to infer how engine knock is unraveling during its operation and define controllers that can prevent spark timing variability upon knock occurrence by maintaining engine operation around a target knock rate.

The work described in the following sections details the development of a predictive proportional gain knock control for internal combustion engines using logistic regression. Section 2 details engine knock and how it is traditionally addressed. Section 3 describes how logistic regression applies to knock detection and Section 4 describes the naturally aspirated combustion engine model. Section 5 shows how both conventional and proposed control strategies behave under the described control approach and Section 6 provides with information about next steps.

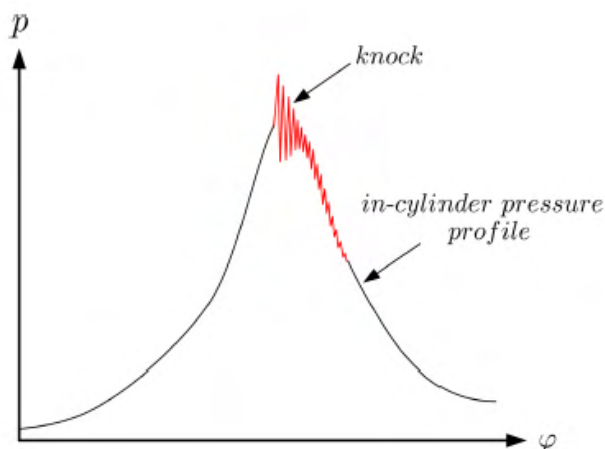


Figure 1: Typical in-cylinder pressure profile for a knocking cycle as function of crankshaft angle  $\phi$ . In red, the sharp pressure peak caused by the fast heat releasing combustion from spontaneous ignitions.

## 2 | ENGINE KNOCK

Knock is defined as the typical sound that may arise when spontaneous ignitions take place in the engine's cylinders causing rapid heat releasing chemical reactions. Figure 1 depicts the typical oscillations in the in-cylinder pressure profile during a knocking cycle. These oscillations induce vibration levels in the engine components such as piston head, valves and connecting rod. A number of attributes play a significant role on the occurrence of knocking cycles including aspirated air pressure and temperature, cylinder geometry, fuel composition and humidity (Guzzella and Onder, 2010). Upon detection of a knocking cycle the controller acts in a way to limit engine performance for the forthcoming cycles and prevent further abnormal combustion.

The torque chain of a combustion engine powered vehicle comprises both slow and

fast paths where the former refers to the air mass ow control and the latter relates to the spark timing. Adjustments in the torque chain are done to account for optimal vehicle driveability and safety compliance. Tuning the spark timing in the context of knock avoidance means retarding the combustion process beyond the optimal timing for maximum engine efficiency to be achieved. In general, the automotive industry addresses knock mitigation by means of the control law described in Equation 1 (Kiencke and Nielsen, 2005)

$$\phi(n) = \phi(n - 1) - \Delta\phi + \beta\Delta E_k(n) \quad (1)$$

Where  $\phi(n)$  is the spark angle for the  $n$ th cycle,  $\Delta\phi$  the incremental spark advance and  $\beta\Delta E_k(n)$  the spark retard applied upon a knocking cycle based on the knock intensity above a threshold  $E_0$ ,  $\Delta E_k(n) = E_k(n) - E_0$ . In other words, retard is applied to the spark timing upon knock occurrence and incrementally advanced in case of increasing vehicle load. This behavior is depicted in Figure 2. Knock has increased severity as load increases and engine speed decreases (Jones et al., 2013) and for higher knock rates, the control law described in Equation 1 leads to substantial variability of the actuator signal. The main downside of this approach lies on the fact that heavy knocking conditions lie in a region of engine operation of optimal fuel economy.

Considering the importance of maximizing the efficiency of combustion engines due to both environmental and driver experience reasons, a number of alternative knock control approaches were proposed throughout the recent years including standard deviation knock occurrence control (Schmillen and Rechs, 1991) and the use of fuzzy sets for spark timing adjustment (Yue and Li, 2004). In fact, the assumption of knock random nature plays a crucial role on knock control advancements and its strong correlation with peak in-cylinder pressure (Lezius and Drewelow, 2007) further supports the usage of a probabilistic framework on the definition of knock controllers.

By leveraging this concept and recent studies on how machine learning techniques can be conveniently applied to forecast knocking conditions (Panzani et al., 2017), this work delivers further research on how to alternatively address the phenomenon.

### 3 | LOGISTIC REGRESSION APPLIED TO KNOCK DETECTION

Assuming knock occurrence as a random variable with two possible outcomes, it is possible to define the knock signal  $k(n)$  as (Panzani et al., 2017)

$$k(x) = \begin{cases} 1, & E_k(n) > E_0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Given that  $k$  follows a Bernoulli distribution, its prediction defines a classification problem. One can leverage logistic regression in order to perform statistical inferences about how knocking conditions unravel by cyclically calculating log-linear models to accurately estimate the probability  $p$  of ending up with a knocking cycle. Log-linear models are of the



form

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n = \theta \quad (3)$$

Where  $\theta$  is the linear predictor. The probability  $p$  modeled by the logistic function is

$$p = P(k = 1|X) = \frac{e^\theta}{1+e^\theta} \quad (4)$$

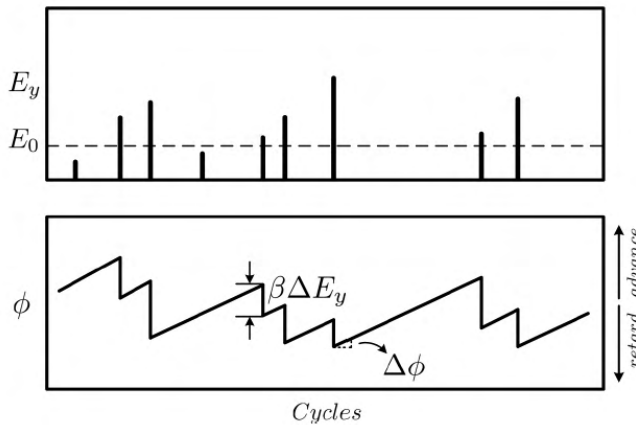


Figure 2: Conventional controller operation sketch (Kiencke and Nielsen, 2005)

The logistic function is defined by the unknown parameter  $\beta_0$  and  $\beta=[\beta_1 \beta_2 \dots \beta_n]^T$  and the features vector  $X=[x_1 x_2 \dots x_n]$ . The value of  $p$  is determined based on the estimation of the unknown that maximize the likelihood function  $L(\beta_0, \beta|x)$  relative to the respective probability density function of the random variable  $k$ , and based on a set of  $n$  observations,

$$L(\beta_0, \beta|x) = \prod_{i=1}^n p^{y_i} (1-p)^{1-y_i} \quad (5)$$

To ease the computational effort in estimating the unknown parameters it is possible to leverage the monotonic property of the logarithm function. In this case, the log-likelihood function  $l(\beta_0, \beta|x)$  is maximized instead, whose defies the cost function

$$l(\beta_0, \beta|x) = \sum_{i=1}^n \ln(1-p) + \sum_{i=1}^n y_i \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad (6)$$

The log-linear model proposed in this work is defined by features that correlate with knock occurrence and in order to validate it, a 1.3 liter naturally aspirated SI engine high pressure is modeled. The engine model encompasses combustion, heat transfer and piston kinematics models as well as a knock generator that draws the knock signal based on peak in-cylinder pressure values, a quantity that strongly correlates with knock intensity (Lezius and Drewelow, 2007).

## 4 | INTERNAL COMBUSTION ENGINE MODEL

The 1.3 liter naturally aspirated internal combustion engine model encompasses the compression and expansion strokes of a four stroke spark ignited engine. Its parameters are described in Table1.

In this model it is assumed that the torque generation can be taken as a lumped parameter process such that the gas states are not space dependent and the laws for ideal gases can be applied, characterizing an one-zone-model.

Rated Engine Parameters	
Displacement volume [L]	1.3
Number of cylinders	4
Compression ratio	13.2:1
Piston bore [mm]	70

Table 1: 1.3L naturally aspirated spark ignited engine specification

According the first law of thermodynamics

$$dU = dQ - pdW \quad (7)$$

Where  $dU$  and  $dQ$  are the incremental quantities for internal energy and supplied heat, respectively, and  $pdW$  the related mechanical work. For a combustion engine model dependent on the crankshaft angle  $\varphi$  the energy balance from Equation 7 can be described in terms of released and transferred heat, fuel properties and piston displacement as (Isermann, 2014)

$$\frac{dU}{d\varphi} = \frac{dQ_f}{d\varphi} - p \frac{dV}{d\varphi} - \frac{dQ_w}{d\varphi} \quad (8)$$

Where  $Q_f$  is the gross released heat from combustion,  $Q_w$  the heat convectively transferred to the cylinder walls,  $m_f$  the fuel mass,  $V$  the cylinder volume and  $p$  the in-cylinder pressure. For the internal energy of the enclosed gas at constant volume, holds

$$\frac{dU}{d\varphi} = m_g c_v \frac{dT_g}{d\varphi} \quad (9)$$

with  $m_g$  and  $T_g$  denoting the mixture mass and temperature, respectively, and  $c_v$  the specific heat at constant volume. Equation 9 assumes that the air-fuel mixture is homogeneous and completely atomized. Based on the ideal gases equation and assuming stationary ideal gas constant  $R$ , the derivative of Equation 9 w.r.t. the crankshaft angle is

$$m_g R \frac{dT_g}{d\varphi} = \left( \frac{dp}{d\varphi} V + p \frac{dV}{d\varphi} \right) \quad (10)$$

Plugging Equation 10 in Equation 9,

$$\frac{dU}{d\varphi} = \frac{c_v}{R} \left( \frac{dV}{d\varphi} V + p \frac{dV}{d\varphi} \right) \quad (11)$$

Finally, inserting Equation 11 in Equation 8 and solving for the incremental pressure changes yields

$$\frac{dp}{d\varphi} = \frac{R}{c_v V} \left( \frac{dQ_f}{d\varphi} - \frac{dQ_w}{d\varphi} - \left( 1 + \frac{c_v}{R} \right) p \frac{dV}{d\varphi} \right) \quad (12)$$

Figure 3 shows different in-cylinder pressures profiles for different spark advances w.r.t the Top Dead Center of the compression stroke. Positive spark advances mean that the spark timing happens during the compression stroke.

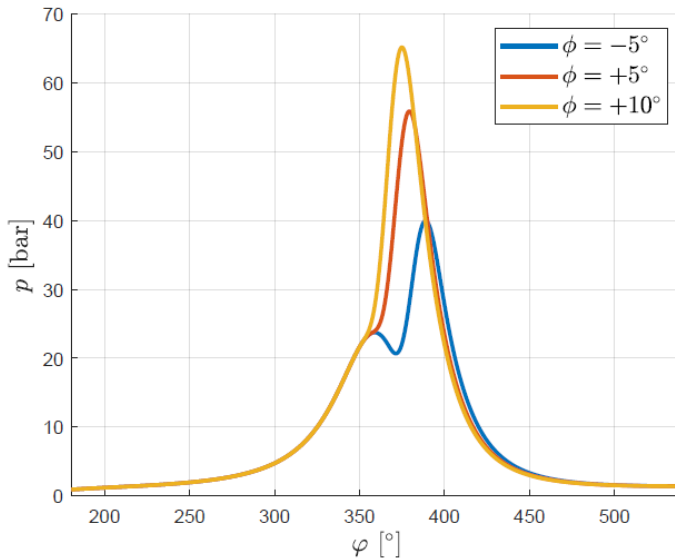


Figure 3: In-cylinder pressure profiles for different spark advance angles  $\phi$

The more spark advance added the greater the peak in-cylinder pressure. Since the compression stroke can be modeled as a polytropic process with sufficient accuracy (Eriksson and Andersson, 2002), the temperature of the homogeneous mixture  $T_g$  can be defined as

$$T_g = T_{IVC} \left( \frac{p}{p_{IVC}} \right)^{k-1} \quad (13)$$

Where  $T_{IVC}$  and  $p_{IVC}$  are the intake manifold air temperature and pressure measured at intake valve closure and  $k$  is the polytropic coefficient. The Equation 12 includes a heat exchange model as well as models for the crankshaft kinematics and the specific

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

ADMI 106, 108

Alimentadores 90, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105

Angulação 140, 141, 142, 143, 144, 147, 150, 151

Aprendizagem baseada em projetos 115, 118

Atenuação de riscos 114, 115

### B

Balanco energético 20, 90, 91, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Barramento magnético 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192

Bomba centrífuga 33, 35, 41, 46

Borracha sintética 199

### C

Circuitos digitais 21

Cliente 106, 108, 110, 112, 113

Controle adaptativo 50

Conversor CA/CC 153, 158

Conversor MAB 184, 187, 188

Correntes de Foucault 153, 155, 162

### D

Densidade de ligações cruzadas 198, 199, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 209

Descargas atmosféricas 119, 127, 128, 129, 130, 133, 134, 137, 138, 139

Direcionamento 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151

### E

Economic feasibility 15

Eficiência energética 33, 35, 40, 41, 140, 151

Electronic spreadsheet 15

Energia solar 20, 113, 140, 141, 143, 145, 150, 151, 152

Engenharia elétrica 49, 61, 62, 114, 115, 138, 152, 182, 184, 210

Engine knock 1, 2, 3, 13, 14

### F

Filtros probabilísticos 61, 62, 63, 72

Flory-Rehner 199, 201, 202, 204, 205

Freio eletromagnético 153, 154, 156, 158, 159, 161, 165, 166, 181, 182

Fuzzy cognitive maps 50, 51, 58, 59, 60

## **I**

Inversor de frequência 33, 34, 35, 39, 40, 43

## **L**

Localização 61, 62, 63, 64, 68, 69, 70, 71, 72, 132, 143, 144

Logistic regression 1, 2, 3, 4, 14

## **M**

Machine learning 1, 4

Medição de alimentadores 90

Misturador industrial 50

Model based design 1

Mooney-Rivlin 199, 202, 204, 205, 207

## **N**

Núcleos magnéticos 184

## **O**

Operações modulares 21

Ouvidoria 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113

## **P**

Perda de energia 90

Photovoltaic energy 15, 16, 20

Prazos serviços comerciais 106

Processamento digital de sinais 21

## **Q**

Qualidade de energia 90, 91, 92, 167

## **R**

Red de distribución eléctrica 74

Responsabilidade social 115, 116, 118

Robótica 61, 62, 63, 64, 67, 68, 72, 73, 162

## **S**

Satisfação 106, 108, 109, 111, 112, 113

SBR 198, 199, 200, 201, 206, 207, 208

Sistema de distribuição de água 33, 34, 35, 40, 41, 42, 43, 46

Sistemas de proteções contra descargas atmosféricas 128

Smart grid 74, 75, 86, 88

## **T**

Transformador de estado sólido 184

## **V**

Vehículo eléctrico 74, 75, 76, 77, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88




Videoaulas 61, 62, 72

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

  
Ano 2022

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

  
Ano 2022