

1 Introdução

O fenômeno da combustão sempre esteve diretamente ligado à história da humanidade desde os primórdios de sua existência. No início, através do fogo espontâneo presente na natureza. Pelas suas características, efeitos fortes e dificuldade de ser controlado, o fogo despertava um sentimento misto de admiração e temor, ao mesmo tempo em que instigava a mente humana a desenvolver meios para gerá-lo e controlá-lo. O fogo foi a primeira fonte de energia descoberta e conscientemente controlada e utilizada pelo homem. A geração e controle do fogo representavam importante ferramenta de sobrevivência.

No formalismo acadêmico a expressão “geração e controle do fogo” enquadra-se dentro do contexto da Ciência da Combustão. Entretanto, a Teoria da Combustão é considerada uma ciência recente em função da complexidade dos fenômenos físicos envolvidos na combustão. Teve seu início no século XX, incorporando conceitos de mecânica dos fluidos, termodinâmica, transferência de calor, transferência de massa e cinética de reações químicas.

Os primeiros motores de combustão interna (MCI) foram construídos no século XIX, tendo seu desenvolvimento ligado a modelos termodinâmicos que descrevem seu funcionamento. No entanto, até a década de 60 do século XX, o empirismo dominou o desenvolvimento tecnológico destes motores. A partir desta década, a disponibilidade de meios computacionais mais baratos e poderosos vem tornando a simulação uma ferramenta importante na pesquisa de novos motores. Assim, obteve-se uma significativa melhora de desempenho, redução de emissão de poluentes e foram viabilizados sistemas de controle mais eficientes. Hoje em dia não é possível conceber um novo desenvolvimento sem o uso de ferramentas de modelagem. A capacidade de previsão dos atuais modelos é suficiente para eliminar configurações ineficientes reduzindo assim os custos da fase de experimentação de protótipos.

Apesar da área de simulação de motores ter evoluído muito nos últimos anos, as modelagens do combustível e dos processos de combustão ainda apresentam grandes desafios, relacionados à coexistência de diversos fenômenos físicos complexos. Os estudos nesta área envolvem, entre outros aspectos: características de construção das câmaras de combustão; processos de transferência de calor e massa; escoamentos turbulentos reativos, incluindo a cinética de muitas reações químicas de diferentes compostos orgânicos; características de propagação e de velocidade de chama e propriedades e características dos combustíveis.

Hoje, é impossível, por exemplo, representar de forma detalhada um combustível comercial como a gasolina ou o diesel, que apresentam centenas de componentes, nos programas de simulação de motores. Isto se deve, principalmente, ao elevado custo computacional, carência de dados termofísicos e propriedades de transporte, principalmente nas condições de operação do motor, e desconhecimento dos mecanismos de reações químicas envolvidos. A alternativa é representá-los por componentes simples, que não reproduzem todas as propriedades do combustível comercial. A representação dos combustíveis comerciais por misturas de alguns componentes tem sido adotada nos estudos de cinética química (Pitz et al., 2007), porém não se conhece seu comportamento em motor comercial e, conseqüentemente, não se conhece o grau de representatividade dessas misturas. Também carecem estudos sistemáticos de como os diferentes componentes interagem em mistura e influenciam os parâmetros de desempenho, as velocidades de queima e as características de combustão nos motores. Neste aspecto os combustíveis nacionais apresentam peculiaridades, com a utilização do etanol hidratado, adição do etanol anidro na gasolina e adição de biodiesel no diesel.

Outro aspecto importante da área de simulação de combustão em motores é a falta de dados experimentais sistemáticos em motores comerciais modernos que permitam desenvolver e validar modelos empíricos ou semiempíricos mais representativos e de menores custos computacionais. Estes modelos podem relacionar, por exemplo, propriedades físico-químicas dos combustíveis, como a velocidade de chama laminar, com a combustão turbulenta no interior do motor.

Os motores de combustão interna continuarão sendo nos próximos anos a principal forma de propulsão dos veículos, justificando as intensas atividades de

pesquisa e desenvolvimento que estão sendo feitas mundialmente no sentido de atender aos desafios de redução de consumo e emissões de poluentes. A Figura 1.1 mostra a condição em 2007 e uma projeção para o ano de 2030 da participação das vendas de diferentes tipos de tecnologias veiculares para as próximas décadas, para dois cenários mundiais. O cenário base considera que não haverá modificação nas políticas governamentais e medidas atualmente adotadas nos setores energéticos. O cenário 450 considera ampla cooperação mundial no desenvolvimento tecnológico e adoção de políticas coletivas para garantir níveis de 450 ppm de CO₂ equivalente como concentração atmosférica de longo prazo para os gases de efeito estufa.

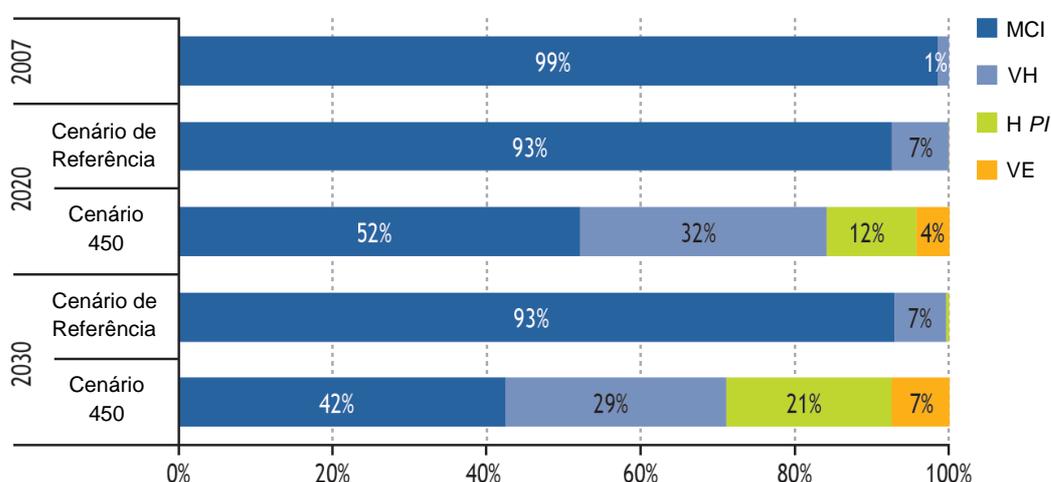


Figura 1.1 – Projeção da participação das vendas de veículos de passageiros por tecnologia de motor (MCI – Motores de Combustão Interna, VH – Veículos Híbridos, H PI – Híbridos *Plug-in*, VE – Veículos Elétricos) (adaptado de *World Energy Outlook 2009*, IEA, 2009).

Em ambos os cenários, a participação dos motores de combustão interna nos veículos novos é expressiva, seja nos tradicionais ou híbridos.

Na Figura 1.2 mostra-se a projeção para a participação das diferentes fontes e segmentos na demanda energética mundial, no cenário de referência, onde se observa a contribuição expressiva do segmento de transportes.

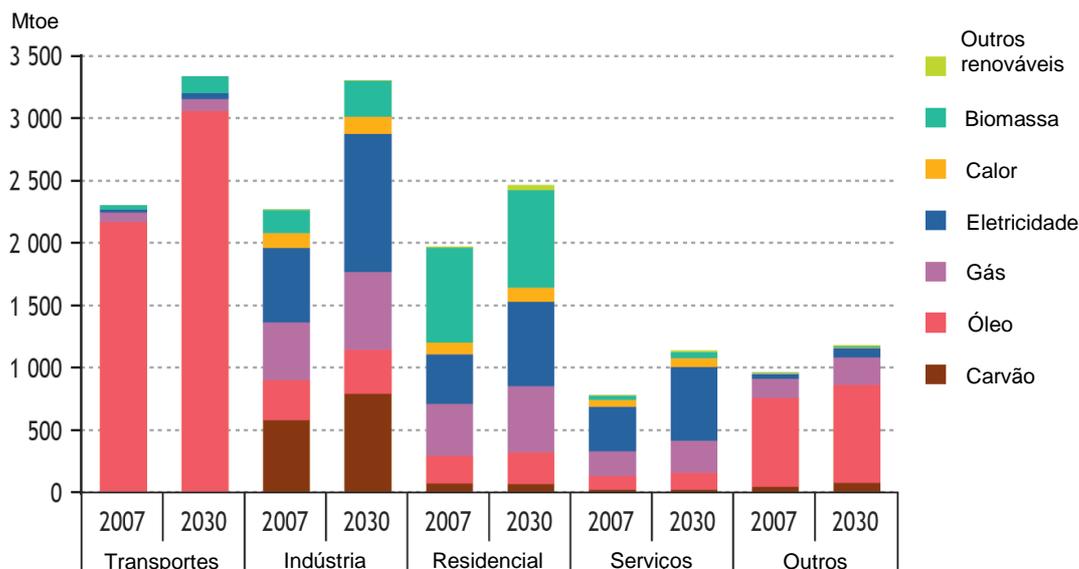


Figura 1.2 - Projeção do consumo energético mundial por combustível e setor no cenário de referência (adaptado de *World Energy Outlook 2009*, IEA, 2009).

Observa-se também na Figura 1.2, que os combustíveis tradicionais, derivados de petróleo, possuem expressiva participação no segmento de transportes e as projeções para as próximas décadas apontam para um crescimento da demanda, apesar do aumento da participação de outras fontes, principalmente os biocombustíveis. Neste caso, o Brasil é reconhecidamente um dos líderes mundiais.

Dentre as características dos combustíveis líquidos que justificam sua demanda expressiva estão a facilidade de manuseio e a elevada densidade energética, conforme pode ser visto na Figura 1.3.

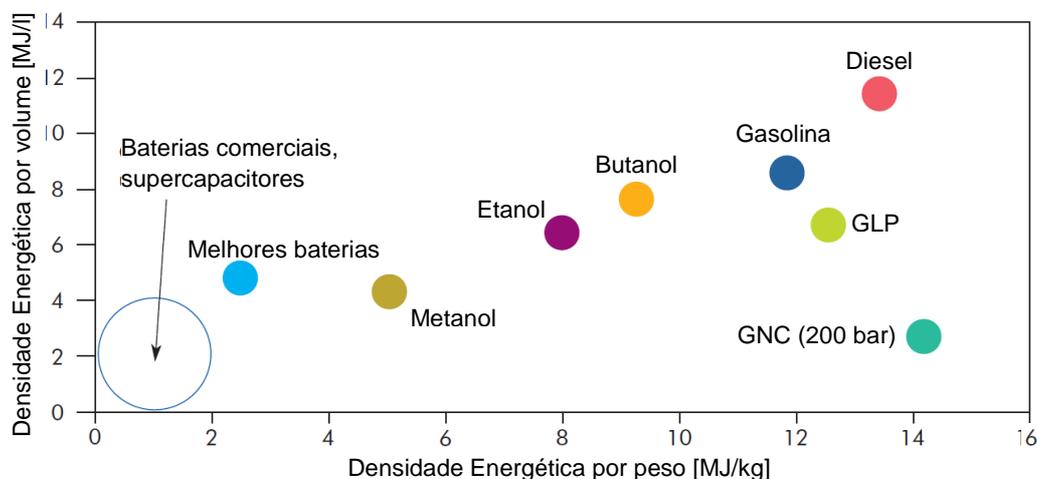


Figura 1.3 – Densidade energética de baterias e combustíveis (adaptado de *Energy Technology Perspectives 2008*, IEA, 2008).

No cenário de desenvolvimento contínuo esperado para as próximas décadas nos segmentos de motores de combustão interna e combustíveis, o melhor entendimento do papel de diferentes componentes e a melhor representatividade dos combustíveis e do processo de combustão nas ferramentas de simulação de motores têm importância fundamental. Estudos nestas áreas podem contribuir para reduzir custos de desenvolvimentos e auxiliar na formulação de combustíveis mais eficientes e menos poluentes, e também contribuir para o desenvolvimento de combustíveis para aplicações especiais, como em competições automotivas.

1.1. Motivação

Em função do exposto, a motivação do presente trabalho reside em fornecer contribuições inéditas de forma integrada nos seguintes temas: estudo de formulações reduzidas representativas de gasolinas oxigenadas nacionais, a partir da seleção apropriada de seus componentes; análise sistematizada da influência de componentes nas propriedades dos combustíveis, parâmetros de desempenho e combustão em motor; estabelecimento de metodologias de avaliação de velocidades de propagação de chama turbulentas em câmara de combustão de geometria complexa e estabelecimento de critérios para conversão das velocidades de chama laminares do combustível em velocidades de propagação de chama turbulentas nas condições operacionais do motor.

Os desenvolvimentos foram realizados a partir do levantamento de dados experimentais de desempenho e combustão em motor comercial multicilindro moderno, sob ampla faixa de condições operacionais. Espera-se que as metodologias implementadas e resultados obtidos possam contribuir na modelagem da combustão em motores e auxiliar no desenvolvimento e formulação de combustíveis mais eficientes.

1.2. Estrutura do trabalho

Nos capítulos subsequentes é apresentada, primeiramente, a Revisão Bibliográfica no Capítulo 2, com a descrição dos estudos, modelagens, problemas e desafios nas áreas de foco do presente trabalho, posicionando-o dentro do tema e

estado da arte atual. No Capítulo 3 caracteriza-se a relevância do trabalho e seus objetivos imediatos, considerando o estado da arte atual. Em seguida, são descritas no Capítulo 4 as metodologias adotadas e modelagens desenvolvidas para se atingir os objetivos propostos. No Capítulo 5 são apresentados os resultados experimentais e as indicações de formulações reduzidas representativas de gasolina comercial. No Capítulo 6 é analisada a influência dos componentes utilizados nas propriedades dos combustíveis e nos parâmetros de desempenho do motor. No Capítulo 7 são analisadas as influências dos componentes nos parâmetros de combustão em motor. No Capítulo 8 são apresentados os resultados e a influência dos componentes nas velocidades de propagação de chama turbulentas no interior do cilindro do motor. No Capítulo 9 são descritas as relações desenvolvidas e seus parâmetros propostos para conversão das velocidades laminares dos combustíveis na condição padrão em velocidades de propagação de chama turbulentas no interior do cilindro. O Capítulo 10 traz as conclusões gerais e sugestões para continuidade dos trabalhos.