

## PRINCIPAIS TEMAS ABORDADOS NESTE MANUAL:

Regras de boa prática para o projeto de edifícios • Custo total de propriedade  
Indicadores-chave de desempenho • Sustentabilidade  
Colocar os técnicos de operações em primeiro lugar • Internet das coisas  
Análise dos dados operacionais



# PROJETAR para a EXCELÊNCIA OPERACIONAL

Projeto Intencionalmente Dirigido para a Eficácia  
da Operação e Manutenção dos Edifícios

Caleb Haynes, PE • Abby Perrine



# PROJETAR para a EXCELÊNCIA OPERACIONAL

Projeto Intencionalmente Dirigido para a Eficácia  
da Operação e Manutenção dos Edifícios

---

Esta publicação foi desenvolvida de acordo com os procedimentos para Publicações Especiais da ASHRAE e não é um documento desenvolvido na base de um processo de criação de um consenso. Foi desenvolvido no âmbito do Projeto Especial 144. Esta publicação foi supervisionada pela Comissão Ad Hoc criada para o efeito, nomeada pelo Presidente da ASHRAE em 2019–2020, Darryl K. Boyce, durante o ano 2019–2020.

---

Esta publicação foi traduzida em 2023 da versão inglesa publicada pela ASHRAE © 2022. A tradução é da responsabilidade do ASHRAE Portugal Chapter, tendo sido traduzida pela Eng.ª Luísa Vale, verificada pelo Presidente do Capítulo, Eduardo Maldonado, com a colaboração de Serafin Graña e Carlos Farto, e com o patrocínio da Comissão de Especialização de Engenharia de Climatização da Ordem dos Engenheiros. A ASHRAE não assume qualquer responsabilidade pela qualidade da tradução. Para aquisição da versão em língua inglesa, contactar a ASHRAE, 180 Technology Parkway, Peachtree Corners, GA 30092, EUA, [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org).

This publication was translated with permission in 2023 from the English edition published by ASHRAE © 2022. Translation by Luísa Vale of the ASHRAE Portugal Chapter, verified by Chapter President Eduardo Maldonado in collaboration with Serafin Graña and Carlos Farto, and sponsored by the HVAC Committee of Portuguese Ordem dos Engenheiros. ASHRAE assumes no responsibility for the accuracy of the translation. To purchase the English-language edition, contact ASHRAE, 180 Technology Parkway, Peachtree Corners, GA 30092, USA, [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org).

Atualizações e a errata referentes a esta publicação serão disponibilizados no website da ASHRAE em [www.ashrae.org/publicationupdates](http://www.ashrae.org/publicationupdates).

# PROJETAR para a EXCELÊNCIA OPERACIONAL

Projeto Intencionalmente Dirigido para a Eficácia  
da Operação e Manutenção dos Edifícios

Caleb Haynes, PE • Abby Perrine

Traduzido para Português sob licença da ASHRAE



Peachtree Corners, GA

ISBN 978-1-947192-75-1 (paperback)  
ISBN 978-1-947192-76-8 (PDF)

© 2022 ASHRAE. Todos os direitos reservados.

ASHRAE  
180 Technology Parkway, Peachtree Corners, GA 30092  
www.ashrae.org

Impresso nos Estados Unidos da América.

Fotografia da capa da Sede da ASHRAE em 180 Technology Parkway © Jonathan Hillyer.  
Capa e design do livro da responsabilidade de Laura Haass.

---

A ASHRAE é uma marca registada no U.S. Patent and Trademark Office, propriedade da Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, Inc.

A ASHRAE preparou esta publicação com todo o cuidado. No entanto, nem a ASHRAE nem e os seus parceiros de publicação verificaram, e rejeitam expressamente essa obrigação, a referência a qualquer produto, serviço, processo, procedimento, projeto ou similar que possa ser aqui descrito. A utilização de quaisquer dados técnicos ou material editorial nesta publicação não constitui uma aprovação, garantia ou aval da ASHRAE e dos seus parceiros a qualquer produto, serviço, processo, procedimento, projeto ou afins aqui descritos.

A ASHRAE e os seus parceiros de publicação não garantem que a informação contida nesta publicação esteja isenta de erros e não concordam necessariamente com todas as declarações ou opiniões nela contidas. O risco total da utilização de qualquer informação contida nesta publicação deve ser assumido pelo utilizador.

Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida sem autorização prévia por escrito da ASHRAE, exceto por revisores, que podem citar breves passagens ou reproduzir ilustrações num comentário, desde que seja dado o devido crédito à fonte utilizada. Nenhuma parte deste livro pode também ser reproduzida, armazenada num sistema que permita a sua distribuição ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio - eletrónico, fotocópia, gravação ou outro - sem autorização prévia por escrito da ASHRAE. Os pedidos de autorização devem ser solicitados para [www.ashrae.org/permissions](http://www.ashrae.org/permissions).

---

### Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Names: Haynes, Caleb, 1985- author. | Perrine, Abby, 1987- author.  
Title: Designing for operational excellence : intentional design for effective operation and maintenance / Caleb Haynes, PE, Abby Perrine.  
Description: Peachtree Corners, GA : ASHRAE, 2021. | Includes bibliographical references. | Summary: "With principles of total cost of ownership, sustainability, and an "operator first" mindset as its focus, this book details the process and considerations for incorporating operational excellence in any building's design and provides building owners, managers, and designers with guidance to design buildings and systems that focus on long-term operational excellence"-- Provided by publisher.  
Identifiers: LCCN 2021013685 | ISBN 9781947192751 (paperback) | ISBN 9781947192768 (PDF)  
Subjects: LCSH: Engineering design.  
Classification: LCC TA174 .H39 2021 | DDC 620/.0042--dc23  
LC record available at <https://lcn.loc.gov/2021013685>

---

### Equipa da ASHRAE

Publicações Especiais

Cindy Sheffield Michaels, Editora  
James Madison Walker, Editor Diretor das Normas  
Mary Bolton, Editora Associada  
Robyn Weaver, Editora Assistente  
Michshell Phillips, Editor Coordenador Sénior

Departamento de Publicações

David Soltis, Diretor de Serviços de Produtos Eletrónicos e Publicações  
Jayne Jackson, Administradora da Circulação de Publicações

Diretor de Publicações e Educação

Mark S. Owen

## **SOBRE OS AUTORES**

**Caleb Haynes, PE**, é um *Registered Professional Engineer* com mais de doze anos de experiência como consultor de engenharia nas áreas de energia e arquitetura. É especialista no projeto, comissionamento e operações de edifícios energeticamente eficientes, para clientes nos setores da saúde e do ensino superior. Haynes é um membro ativo da ASHRAE desde há doze anos, tendo, no passado, desempenhado o cargo de presidente da comissão *Young Engineers in ASHRAE* (YEA) e sendo, atualmente, membro votante do SSPC 189.3 e membro sem direito de voto do SSPC 170. É também um membro ativo da *American Society for Health Care Engineering* (ASHE), fazendo, atualmente, parte do *ASHE Young Professional Taskforce* e desempenhando funções como Vice-presidente da 2021 PDC Conference. Haynes é responsável pelo gabinete da Bernhard's Birmingham, no Alabama, desde 2014 e, atualmente, é o Vice-presidente de Desenvolvimento da Bernhard. É bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade do Arkansas, em Fayetteville, e possui Licença como Profissional de Engenharia em sete Estados dos EUA.

**Abby Perrine** é autora de livros técnicos e profissional de marketing, com onze anos de experiência. Trabalhou no setor da arquitetura, engenharia e construção durante quatro anos, onde desenvolveu conteúdos de formação para um programa de operações e manutenção de sistemas AVAC. Perrine também contribuiu para a preparação de documentos técnicos e no desenvolvimento de materiais para conferências, para organizações ligadas à indústria, como a ASHRAE, a *American Society for Health Care Engineering* (ASHE) e a *International District Energy Association* (IDEA). Tem um Mestrado em Escrita Profissional e Técnica pela Universidade do Arkansas, em Little Rock. Atualmente, trabalha como Coordenadora de Marketing no White River Health System, em Batesville, no Arkansas.



# ÍNDICE

<b>NOTA INTRODUTÓRIA: MENSAGEM PARA PROJETISTAS E PROPRIETÁRIOS/TÉCNICOS DE OPERAÇÕES DE EDIFÍCIOS</b> .....	<b>xi</b>
<b>PREFÁCIO E AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>PRÊMBULO DA VERSÃO EM PORTUGUÊS</b> .....	<b>xv</b>
<b>1 / INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
Definição de Excelência Operacional	1
O Impacto do Projeto na Excelência Operacional	1
Avaliar a Excelência Operacional com Base em Indicadores-Chave de Desempenho	2
Glossário	2
<b>2 / DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DE PROJETO</b> ...	<b>5</b>
Requisitos do Dono de Obra (RDO)	7
Indicadores Chave de Desempenho (KPI)	8
<b>3 / O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÕES BASEADO NO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE</b> .....	<b>9</b>
Custo Total de Propriedade (TCO)	9
Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCC)	9
Custos Incluídos na LCCA	10
Adequação da LCCA ao Projeto	13
Exemplos de LCCA	14
<b>4 / ORÇAMENTAÇÃO DA OBRA E FINANCIAMENTO DO PROJETO</b> .....	<b>15</b>
Processo Contínuo de Orçamentação	17
Estimativa Orçamental Operacional	17
Financiamento e Fundos de Apoio ao Projeto	17
Medidas de Eficiência Energética	17
<b>5 / ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS INOVADORAS</b> .....	<b>19</b>
Aplicabilidade	19
Impacto no Custo	20
Impacto na Construção	22
Fiabilidade	22
Conhecimento Operacional	22
Questões Relevantes a Responder	23
<b>6 / COLABORAÇÃO E COORDENAÇÃO</b> .....	<b>25</b>
Construtibilidade	25
Considerações Sobre a Construtibilidade	26
Manutabilidade	27
Princípios de Projeto para a Manutabilidade	28
Modelos de Informação Integrada em Edifícios	31
Coordenação	32
Colaboração com Base n Nuvem	33
Gémeo Digital	34
O BIM Aplicado à Operação dos Edifícios	34
Realidade Aumentada	34
<b>7 / COMPARAÇÃO COM VALORES-PADRÃO (BENCHMARKING)</b> .....	<b>35</b>
Avaliação das Operações e Manutenção de Edifícios com Valores-Padrão	35
Fatores a Avaliar com Valores-Padrão	36

Como Fazer a Avaliação do Desempenho com Valores-Padrão	37
Avaliação do Desempenho Energético	38
<b>8 / COMISSIONAMENTO</b> .....	<b>41</b>
Tipos de Comissionamento	41
Normas e Boas Práticas	43
Colaboração com a Equipa Responsável pelo Comissionamento de um Edifício Novo	43
<b>9 / TRANSIÇÃO PARA A FASE DE O&amp;M</b> .....	<b>47</b>
Formação dos Técnicos de Operações	47
Sistema de Informação para Gestão da Manutenção	50
Resolução de Problemas Durante a Construção	52
<b>10 / IMPACTO AMBIENTAL</b> .....	<b>53</b>
Esforços para Minimizar as Necessidades de Energia Térmica e Elétrica	53
Redução das Emissões Relacionadas com a Produção de Energia	55
Conservação da Água	57
Eliminação de Resíduos Sólidos e Líquidos	58
Fluidos Frigoríficos	58
Resumo	58
<b>11 / A SATISFAÇÃO DOS OCUPANTES</b> .....	<b>61</b>
Conforto Térmico	61
Temperatura do Ar (Bolbo Seco)	62
Humidade Relativa do Ar	63
Qualidade do Ambiente Interior	65
Outras Considerações	67
Medição da Satisfação dos Ocupantes	69
<b>12 / SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO: CONFORMIDADE REGULAMENTAR</b> .....	<b>73</b>
Caminhos de Evacuação	73
Projeto de Segurança Contra Incêndio	73
Ascensores	77
<b>13 / RESILIÊNCIA E REDUNDÂNCIA</b> .....	<b>79</b>
Resiliência	79
Redundância	81
Data Centers	84
Resumo	85
<b>14 / EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b> .....	<b>87</b>
Instalações e Equipamentos Mecânicos	89
Considerações sobre Edifícios Existentes	91
<b>15 / SISTEMA DE AUTOMAÇÃO E CONTROLO DO EDIFÍCIO</b> .....	<b>93</b>
Arquitetura do Sistema	94
Sequências de Operação	94
Designação dos Pontos	95
Interface Gráfica para o Utilizador	97
Verificação Ponto a Ponto	97
<b>16 / MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO</b> .....	<b>99</b>
Directiva 14 da ASHRAE	99
Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP)	101

Plano de M&V	101	Aspetos a Considerar	109
Precisão	102	<b>18 / CONCLUSÃO .....</b>	<b>111</b>
Execução	102	<b>REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>113</b>
<b>17 / DETEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS ...</b>	<b>105</b>	Referências	113
Definição de Avarias	106	Bibliografia	116
Métodos de Implementação de um Processo de FDD	108		

## LISTA DE CASOS DE ESTUDO

SEDE DA ASHRAE – DEFINIÇÃO DOS RDO... 6	CENTRO PARA A SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA . . . . . 56
ORÇAMENTAÇÃO DE UMA RENOVAÇÃO . . . . . 16	SATISFAÇÃO DOS OCUPANTES DA SEDE DA ASHRAE . . . . . 66
TECNOLOGIA DE PAINÉIS RADIANTES APLICADA NO SUL DOS EUA . . . . . 21	RESILIÊNCIA E REDUNDÂNCIA NUM DATA CENTER . . . . . 82
A MANUTABILIDADE NO PROJETO . . . . . 28	RESILIÊNCIA, REDUNDÂNCIA E SEGURANÇA DOS OCUPANTES NUMA UNIVERSIDADE . . . . . 83
AVALIAÇÃO DA EXCELÊNCIA OPERACIONAL COM VALORES-PADRÃO . . . . . 37	A SUSTENTABILIDADE NO PROJETO DE UMA RESIDÊNCIA DE ESTUDANTES . . . . . 88
PROCESSO DE COMISSONAMENTO APLICADO NA OPTIMIZAÇÃO DE UM EDIFÍCIO EXISTENTE COM CERTIFICADO <i>LEED-GOLD</i> . . . . . 44	SISTEMA DE CONTROLO FLEXÍVEL E INTEGRADO . . . . . 96
AUMENTAR A EFICÁCIA DA EQUIPA DE OPERAÇÕES COM UM CMMS E RESPECTIVA FORMAÇÃO . . . . . 50	ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLO PARA UMA MAIOR VISIBILIDADE . . . . . 108
A EXCELÊNCIA OPERACIONAL NUM EDIFÍCIO DE BALANÇO NULO DE ENERGIA . . . . . 54	



# NOTA INTRODUTÓRIA: MENSAGEM PARA PROJETISTAS E PROPRIETÁRIOS/TÉCNICOS DE OPERAÇÕES DE EDIFÍCIOS

**AO LONGO DA ÚLTIMA DÉCADA**, as tecnologias relacionadas com os equipamentos e sistemas de controlo de edifícios têm sofrido grandes progressos. Contudo, continua a existir uma enorme discrepância entre o desempenho operacional previsto em projeto para os edifícios e aquele que realmente se verifica na prática. Esta discrepância tem impacto na qualidade do ambiente interior e na forma como é utilizada a energia em muitos edifícios, no mundo inteiro.

Passsei mais de 40 anos a trabalhar no setor dos edifícios, como projetista, gestor de energia, a supervisionar o projeto e a construção de novos edifícios e, finalmente, como diretor dos serviços técnicos de uma universidade, onde fui responsável por todos os aspetos relacionados com as infraestruturas físicas das suas instalações. Como resultado, pude constatar, em primeira mão, que, demasiadas vezes, os melhores projetos e intenções acabam por não se concretizar. Esta situação ocorre por várias razões, entre as quais:

- os projetistas nem sempre desenvolvem o projeto com o foco na operacionalidade – é essencial que os projetistas desenvolvam os seus bons projetos com o foco na sua operação eficaz,
- os edifícios são cada vez mais complexos – utilizamos cada vez mais as tecnologias disponíveis para melhorar as operações,
- os edifícios nem sempre funcionam de acordo com o pretendido e, muitas vezes, os técnicos de operações não dispõem dos conhecimentos para corrigir a situação – é necessário disponibilizar-lhes orientação e formação eficazes.

Há numerosos estudos que concluíram que o proprietário/operador do edifício pode potenciar o capital humano no edifício através da otimização da qualidade do ambiente interior, uma vez que, desta forma, contribui para melhorar o seu desempenho. Isto pode ser conseguido através da manutenção das condições de conforto recomendadas, que se sabe que permitem que o corpo e o cérebro humanos funcionem com o máximo potencial. Estas condições dizem respeito ao ar limpo e oxigenado, às condições térmicas de temperatura, humidade e movimento do ar, às condições de iluminação, à acústica e ao layout do espaço.

Em 2015, os autores do estudo de Harvard também avaliaram os resultados do seu estudo anterior em termos de custo/benefício. Concluíram que duplicar a taxa de ventilação iria custar menos de 40 dólares por pessoa por ano, em todas as zonas climáticas estudadas, e melhoraria o desempenho dos trabalhadores em 8 %. Esta melhoria de desempenho foi contabilizada num aumento da produtividade dos trabalhadores equivalente a 6500 dólares por ano (MacNaughton e al. 2015). Também atualizaram os números obtidos, corrigindo o valor das poupanças anuais de 125 mil

milhões de dólares, em 1993, para cerca de 186 mil milhões de dólares, em 2015. Observaram, ainda, que mesmo com estimativas conservadoras, o aumento da produtividade de um funcionário é mais de 150 vezes superior aos custos de energia associados ao aumento da ventilação (MacNaughton et al. 2015).

É um facto amplamente reconhecido que as melhorias do ambiente interior dos edifícios podem trazer grandes vantagens no que respeita ao desempenho dos seus ocupantes. Durante a pandemia de COVID-19 de 2020, também se observou que foi dada uma maior importância à qualidade do ambiente interior, pela sua relação com a saúde dos ocupantes dos edifícios.

Por outro lado, embora o desempenho dos ocupantes seja extremamente importante, não devemos esquecer o nosso compromisso para com o ambiente, pelo que temos que conseguir proporcionar um ambiente interior eficaz, mas sem desperdício de energia. O recurso às mais recentes tecnologias, à *Internet of Things* (IoT) e a técnicas de análise operacional pode contribuir para a operação bem-sucedida dos edifícios, de modo a garantir ambientes interiores com capacidade de adaptação, ao mesmo tempo que minimizam a utilização de energia.

Este livro foi desenvolvido com o objetivo de ajudar os proprietários, projetistas, as equipas de comissionamento e os técnicos de operações de edifícios a garantir condições de segurança, conforto e eficiência do ambiente construído, de forma economicamente sustentável. A ASHRAE vê uma necessidade imediata de disponibilizar recursos úteis que permitam às equipas responsáveis pelas instalações dos edifícios identificar e avaliar as inúmeras opções e oportunidades operacionais, à medida que estas se tornam disponíveis no mercado. *Projetar para a Excelência Operacional: Projeto Intencionalmente Dirigido para a Eficácia da Operação e Manutenção dos Edifícios* disponibiliza aos proprietários, gestores e projetistas de edifícios as orientações de que necessitam para compreender as exigências operacionais dos edifícios e para projetar e conduzir a operação dos sistemas neste contexto de procura da excelência operacional. Este livro foca-se nos procedimentos concretos necessários para projetar um edifício com vista à excelência operacional.

**Darryl K. Boyce, P.Eng.**

Presidente da ASHRAE 2019–2020

Vice-presidente assistente (aposentado)

(Gestor das Instalações e Planeamento)

Universidade Carleton

Otava, Canadá



# PREFÁCIO E AGRADECIMENTOS

**À SEMELHANÇA DO QUE ACONTECE COM OS MELHORES PROJETOS DE EDIFÍCIOS**, este livro é o produto da visão, dedicação e trabalho árduo de um grupo diversificado de pessoas. Teve início com conversas entre os membros da Comissão Consultiva do Presidente Eleito, Darryl Boyce, que trabalhava no tema e nas atividades prioritárias definidas para o ano de 2019-2020. Havia, entre os membros da equipa, o desejo de produzir um produto tangível que capturasse os conceitos de excelência operacional e desse orientações para que os edifícios possam funcionar de forma ideal para os ocupantes e os proprietários durante toda a sua vida útil.

Para gerir este processo, foi reunida uma comissão presidencial ad hoc, constituída por pessoas provenientes de vários setores-chave da ASHRAE. Cada um destes participantes contribuiu livremente com o seu tempo e conhecimento, através de reuniões virtuais mensais e da revisão offline das várias versões que a equipa de autores foi preparando, ao longo do processo. Todos estes profissionais fizeram contribuições importantes para o produto final.

Quero reconhecer as contribuições individuais desta extraordinária equipa de membros e responsáveis voluntários da ASHRAE. As ideias e a orientação para este livro tiveram origem diretamente no Presidente da ASHRAE, Darryl Boyce, P.Eng., que identificou uma lacuna relativa à inexistência de orientações para projetistas sobre este tema e participou ativamente no desenvolvimento desta publicação, tanto quanto os seus deveres presidenciais o permitiram. O Dr. David Claridge, da Texas A&M University, contribuiu com as suas excelentes competências editoriais e partilhou conhecimentos sobre o comissionamento de edifícios existentes. William Dean, P.Eng. foi presidente da comissão e participou com a sua perspetiva sobre as operações de edifícios existentes e os condicionalismos da operação de edifícios em climas frios. Jennifer Isenbeck, P.E., Diretora dos Serviços das Instalações Técnicas da Universidade de Tampa, contribuiu com os seus conhecimentos sobre as operações do campus e com a sua perspetiva sobre o funcionamento de edifícios num clima quente e húmido. Frank Mills, C.Eng., é um engenheiro consultor inglês, na Frank Mills Consulting, que permitiu estabelecer a nossa ligação aos conceitos e às melhores práticas utilizadas na Europa. O ex-Presidente da ASHRAE, Kent Peterson, P.E., presidente da P2S Engineering, teve uma capacidade incrível de supervisão, que permitiu garantir que nenhuma ideia importante fosse esquecida durante a conceção deste livro.

Um agradecimento especial aos Técnicos de Instalações de Ensino Superior (APPA), pela sua parceria neste esforço e pelas contribuições do seu representante, David Handwork, P.E., que é Vice-Presidente Assistente para a Gestão das Instalações na Universidade Estatal do Arkansas e que representou a APPA na produção deste livro. Geoffrey M. Wardle, sócio da Clark Wardle LLP, é membro da *Building Owners and Managers Association* (BOMA) e é atualmente o Presidente da Comissão para os Assuntos Governamentais da BOMA. Representou essa organização na Comissão Ad Hoc.

Gostaria também de agradecer a contribuição de alguns membros da equipa da ASHRAE. Lilas Pratt prestou um excelente apoio logístico e sugestões ponderadas ao longo de todo o processo, com base na sua experiência em projetos semelhantes. Além disso, Stephanie Reiniche, Diretora de Tecnologia, prestou apoio em todas as questões técnicas que

foram surgindo. Cindy Michaels, da equipa de publicações da ASHRAE, foi responsável por compilar todos os documentos finais entregues pelos autores e pela criação do livro que está nas suas mãos.

A equipa do Investigador Principal Caleb Haynes, PE e da Escritora Técnica Abby Perrine desenvolveu o conteúdo deste livro e o seu conhecimento e experiência foram fatores essenciais na criação de um produto final útil e abrangente. Foram eles que traduziram os conceitos sugeridos pela Comissão Ad Hoc da ASHRAE de forma a produzir o conteúdo especializado e os gráficos excecionais apresentados neste livro. Foram apoiados pelos seus especialistas na Bernhard, que incluem os seguintes colaboradores:

Tony Robeson, PE, CxA	Emily Brockway
Mark Francis, PE	James Hess, PE
Mike Barnett, PE	Jay Keazer, PE
Mark Wolthuis, PE	Haley Robson, LC
Jerry Williams, PE	Tosha Meaux, LC
Kyle Bridges, PE, SE	Paige Busch
Gary Griffis	Jack Medford
Jeremy Morrison	Michael Vocque
William Leatherbury, PE	Michael Brennan, PE
Alex Halloran, PE	Ken Jones, PE
Phil Watson, PE	Gary Sims
Trent Cleghorn, PE	Tim Nix
Jessi Bienert, CEM	Chris Galloway, PE
Adam McElderry, PE	Tommy Spears, PE
Jason Mazurek, PE	Bert Jones
Justin Carter, PE	Charles Kvamme
Rachel Poff	
Brooke Foster	

Os principais membros da Comissão Ad Hoc da Sede da ASHRAE foram entrevistados, para obter contribuições para os casos de estudo da Sede da ASHRAE apresentados neste livro:

Ginger Scoggins  
Tim McGinn  
Shanti Pless  
Blake Ellis  
Jeff Littleton  
Paul Torcellini  
Darryl Boyce

Durante o desenvolvimento deste livro, o mundo foi confrontado com uma pandemia devastadora de COVID-19. A pandemia chamou a atenção para a importância de os edifícios funcionarem de forma saudável e eficaz. O objetivo deste livro é servir de ferramenta educativa para informar os projetistas de edifícios sobre as necessidades das operações e da manutenção dos edifícios e disponibilizar informações práticas sobre medidas concretas para preparar um edifício para funcionar de forma segura, saudável e sustentável. Por outras palavras, garantindo a excelência operacional.

## **K. William Dean, PEng**

Presidente da Comissão Ad Hoc para a preparação do Guia “Projetar para a Excelência Operacional”  
Vice-Presidente da ASHRAE, 2019–2021



# PREÂMBULO DA VERSÃO EM PORTUGUÊS

O ASHRAE Portugal Chapter tem colaborado com a Comissão de Especialização em Engenharia de Climatização da Ordem dos Engenheiros, juntamente com a secção portuguesa da REHVA, na organização das Jornadas de Climatização, que se têm vindo a realizar anualmente desde 2001, sendo a edição de 2023 a vigésima primeira edição, apenas interrompida nos 2 anos da pandemia COVID-19.

Um dos objetivos destas Jornadas tem sido o de criar uma coleção de literatura técnica em língua portuguesa, para melhor informação das novas tecnologias e das melhores práticas da arte para os profissionais do AVAC de língua portuguesa, a quinta mais falada em todo o Mundo. A série foi iniciada com a tradução de uma seleção dos Manuais REHVA mais importantes e, este ano, iniciou-se a colaboração com a ASHRAE ao traduzir o presente excelente texto sobre o tema fundamental da Excelência Operacional.

Com esta publicação, pretende-se dar sequência a uma série de iniciativas anteriores, incluindo algumas que já foram impostas regulamentarmente em Portugal mas que, entretanto, deixaram de ser de cumprimento obrigatório para passarem apenas a serem recomendações. Falamos do Comissionamento no final da construção de cada novo edifício ou grande renovação, da necessidade de instalação de sensores em pontos críticos para assegurar a manutenção e a monitorização do desempenho, da importância da recuperação de calor e do recurso a energias renováveis, a aplicação prática e efetiva das análises do custo de ciclo de vida, etc. Esta publicação serve assim de mote às Jornadas de Climatização de outubro de 2023, inteiramente dedicadas aos diferentes aspetos da atividade profissional dos Engenheiros que possibilitam ou potenciam a Excelência Operacional, desde a importantíssima fase de projeto, incluindo a utilização das ferramentas BIM, cujo uso tarda a arrancar em pleno no mercado português, e os desejáveis ajustes legislativos e da estrutura do Sistema de Certificação

Energética (SCE), em termos da aproximação das previsões à realidade do desempenho dos edifícios de serviços e respetivas classes energéticas emitidas.

Todo este trabalho de produção de uma coleção de bibliografia técnica AVAC em língua portuguesa teria sido impossível sem a colaboração de muitos voluntários que, ao longo dos anos, oferecem o seu tempo e esforço à Comissão da Especialização, à REHVA e ao ASHRAE Portugal Chapter, bem como ao apoio sempre incondicional de um alargado número de patrocinadores industriais que, aqui, não queremos deixar de reconhecer. Em 2023, os nossos especiais agradecimentos vão para os patrocinadores confirmados até de 31 de julho de 2023:

- Patrocínio Platina:
  - GEOTERME/DELTA CONTROLS
- Patrocínio Gold:
  - CARRIER
  - DAIKIN
- Patrocínio Silver:
  - BOSCH
  - CEST/AERMEC
  - CONTIMETRA/SISTIMETRA
  - FRANCE AIR
  - GRUNDFOS
  - SODECA
  - TERMOMAT
  - UPONOR

O ASHRAE Portugal Chapter agradece também a pronta adesão e o total apoio dos serviços da ASHRAE na produção deste livro.

**Eduardo Maldonado**

Presidente do ASHRAE Portugal Chapter 2022-23



# INTRODUÇÃO

# 1

**A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO** está hoje a avançar a um ritmo acelerado na adoção de novas tecnologias e procedimentos para otimizar processos de construção, eliminar desperdícios e entregar aos proprietários edifícios eficazes e eficientes. Sistemas inovadores de automação de edifícios e a Internet das Coisas (IoT) estão a permitir que os nossos edifícios ganhem vida como organismos tecnológicos complexos, que se ajustam e adaptam ao ambiente, quer exterior, quer interior, em permanente mudança. Estudos recentes sobre a interação entre os seres humanos e o seu ambiente têm mostrado correlações fortes entre as variáveis ambientais e a saúde e o bem-estar dos ocupantes. O movimento que visa combater os efeitos nocivos que os espaços construídos e os seus ocupantes exercem sobre o meio ambiente está a moldar-se face a fortes pressões sociais e económicas, com políticas de energia quase nula e programas de redução de emissões a serem implementados e operacionalizados com sucesso em todo o mundo. Todos estes temas dominantes têm-se tornado fatores-chave na abordagem da indústria ao planeamento, conceção e construção de edifícios.

Contudo, ao mesmo tempo, a indústria da construção vê-se também confrontada com o efeito adverso da cada vez maior falta de mão-de-obra especializada, tanto no setor da construção como no setor da operação de edifícios. Há cada vez menos trabalhadores jovens a enveredar por profissões especializadas de grande procura, optando antes por prosseguir formação superior, deixando por preencher vagas em empregos bem remunerados que não exigem formação tão dispendiosa. Este défice está a conduzir a uma carência significativa na disponibilidade e no nível de qualificação dos operários da construção civil e dos operadores de edifícios, sobre os quais recai o verdadeiro sucesso da operação e eficiência dos edifícios. Muitos responsáveis com experiência pela operação de edifícios estão a aproximar-se da idade da reforma, deixando atrás de si uma vasta

lacuna de conhecimento. Esta crise eminente de mão-de-obra qualificada conduzirá ao recurso a responsáveis pela manutenção de edifícios mais generalistas, em vez de operadores especializados.

Esta conjunção entre o avanço das tecnologias de construção e de operação de edifícios e a escassez de profissionais especializados, com formação para se adaptarem a esses progressos tecnológicos, é a tempestade perfeita para o ambiente construído. A discrepância entre os custos operacionais reduzidos previstos em projeto e os resultados, aquém do esperado, efetivamente alcançados levaram-nos a analisar o desfasamento entre o projetado e a operação real dos edifícios, e a procurar formas de colmatá-lo, de forma a alcançar a excelência operacional.

## DEFINIÇÃO DE EXCELÊNCIA OPERACIONAL

A *Excelência operacional* é o resultado de um desempenho consistente e fiável do edifício, que se traduz na otimização do custo total de propriedade (TCO), minimiza o impacto ambiental e maximiza a utilização favorável do edifício, tanto para o proprietário como para os seus ocupantes. Na prática, a excelência operacional é o culminar da operação eficaz do ambiente construído, que conduz às eficiências máximas de sistemas bem concebidos e bem construídos, que resulta na maximização da utilização de um edifício, com um nível mínimo de recursos desperdiçados.

## O IMPACTO DO PROJETO NA EXCELÊNCIA OPERACIONAL

O projeto torna possível a excelência operacional, ao assegurar a estrutura e os sistemas essenciais capazes de servir eficazmente as necessidades do edifício. Os projetistas têm a capacidade única de influenciar o funcionamento de um edifício a longo prazo, através de sistemas integrados e cuidadosamente concebidos. Frequentemente, o planeamento e a conceção de edifícios consistem num equilíbrio delicado entre condicionalismos

antagônicos, tais como a qualidade, o tempo e o custo. Contudo, da mesma forma, os constrangimentos operacionais, tais como a manutabilidade e a satisfação dos ocupantes, devem ter igual peso nesta equação. Como o planejamento, o projeto e a construção de um qualquer edifício representa apenas uma fração (normalmente inferior a 20%) do custo total do seu ciclo de vida, é fundamental que a sua conceção seja intencionalmente dirigida para garantir a possibilidade de uma manutenção e de uma eficiência operacional adequadas ao longo de toda a vida dos sistemas do edifício. Este livro visa trazer a operação dos edifícios para a linha da frente do processo de projeto.

Contudo, existe frequentemente uma discrepância entre a forma como um edifício é projetado e a forma como funciona que influencia a sua excelência operacional. Os projetos devem ser suficientemente específicos de modo a responderem aos objetivos principais do dono de obra e dos ocupantes, mas também flexíveis para se adaptarem a futuras alterações da sua utilização e de condições do ambiente interior exigidas pelos ocupantes. Se queremos ser verdadeiramente sustentáveis, devemos olhar para os sistemas dos edifícios como um investimento nas gerações futuras, e não apenas limitá-los estritamente aos critérios financeiros do presente.

## **AVALIAR A EXCELÊNCIA OPERACIONAL COM BASE EM INDICADORES-CHAVE DE DESEMPENHO**

Existe sempre uma diferença clara entre o desempenho real de um edifício e o desempenho previsto na sua fase de projeto. Compreender se a excelência operacional está realmente a ser alcançada obriga a uma avaliação utilizando indicadores chave de desempenho (KPI) quantificáveis subjetivamente, que possam ser monitorizados e utilizados para prever com precisão o estado operacional do edifício. No seu conjunto, estes KPI permitem uma avaliação em relação a uma base de referência, quer de edifícios semelhantes, quer de indicadores específicos de sucesso, sejam eles o retorno máximo do investimento, o TCO mínimo, o impacto ambiental mínimo, etc.

Este livro foca-se no papel que as melhores práticas de projeto e determinados elementos individuais desempenham na possibilidade de atingir a excelência operacional. Como intervenientes na primeira etapa da vida de um edifício, os membros da equipa de projeto têm a responsabilidade de tomar decisões impactantes no seu planejamento inicial, de modo a identificar, juntamente com os principais interessados, os KPI desejados para um determinado edifício e implementar decisões cujo efeito no edifício perdurarão por muito tempo.

## **GLOSSÁRIO**

Apresentam-se de seguida definições de vários conceitos discutidos neste livro. Trata-se de termos de utilização comum no seio da indústria da construção. As definições aqui apresentadas provêm, em grande parte, de publicações da ASHRAE, ou de outras fontes devidamente citadas.

**Análise do custo do ciclo de vida (Life-cycle cost analysis – LCCA):** Método para avaliar o custo total de propriedade do edifício durante toda a sua vida (Fuller 2016).

**Comparação com valores-padrão (Benchmarking):** Utilização de dados que permitem comparar um edifício com outro, com o propósito de monitorizar o seu desempenho.

**Conforto térmico:** Estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico envolvente determinado com uma avaliação subjetiva.

**Construtibilidade:** A integração eficaz e atempada dos conhecimentos da construção no planejamento inicial, no projeto, na construção e nas operações de campo de um edifício como ferramenta de garantia do cumprimento dos objetivos globais do edifício, no prazo mais curto e com o maior rigor possível, da forma mais rentável (CII 2020).

**Custo total de propriedade (Total Cost of Ownership – TCO):** Uma regra de boa prática da indústria da construção utilizada no processo de tomada de decisões financeiras, que contabiliza o custo de um edifício ou dos seus sistemas ao longo de toda a sua vida útil.

**Excelência operacional:** O resultado de um edifício operado eficazmente, que conduz às eficiências máximas de sistemas bem concebidos e bem executados, que se traduz na utilização plena de um edifício com um nível mínimo de desperdício de recursos.

**Indicador de Eficiência Energética (IEE):** Indicador que representa as necessidades específicas de energia de um edifício, expresso como o quociente entre a energia utilizada e a área bruta de pavimento.

**Indicadores chave de desempenho (KPI):** Parâmetros específicos utilizados para quantificar e validar o desempenho de um edifício.

**Manutabilidade:** Garantia de integração de conhecimentos de manutenção na conceção de um edifício.

**Medição e verificação (M&V):** Determinação das poupanças reais de energia e de água e da redução real das necessidades obtidas como resultado de uma ou mais medidas de conservação de energia. As poupanças não podem ser medidas diretamente uma vez que

correspondem à ausência de utilização de energia. Em vez disso, a poupança real é determinada por comparação da medição da utilização de energia antes e depois da implementação de uma medida e fazendo os devidos ajustes a todas as condições alteradas.

**Modelo Energético:** Representação computacional que contém informação sobre os sistemas (por exemplo, AVAC, iluminação, ocupação, equipamentos elétricos, envolvente do edifício) que afetam o consumo de energia de um edifício. A representação do edifício, juntamente com os dados meteorológicos, pode ser utilizada como dados de entrada para um programa de simulação. Quando executado, o programa simula a utilização e as necessidades de energia no edifício descrito pelo modelo, para um determinado intervalo de tempo. Dependendo do tipo de programa e da forma como é configurado, podem ser obtidos vários tipos de resultados.

**Processo de Comissionamento (Cx):** Verificação e documentação de que todos os sistemas e instalações comissionados são planeados, projetados, instalados, ensaiados, operados e mantidos de forma a cumprir os Requisitos do Dono de Obra (RDO).

**Processo de Comissionamento de Edifícios Existentes (EBCx):** Planear, analisar, implementar, verificar e documentar que o edifício e/ou os seus sistemas e equipamentos são operados e mantidos para cumprirem os requisitos em vigor (*Current Facility Requirements* – CFR).

**Qualidade do ar interior (QAI):** Ar em que não existem contaminantes conhecidos em concentrações nocivas, conforme determinadas por autoridades competentes, e relativamente ao qual uma maioria substancial de pessoas expostas (80% ou mais) não exprime insatisfação.

**Requisitos do Dono de Obra (RDO):** Documento que pormenoriza os requisitos funcionais de um projeto e as expectativas relativamente à forma como vai ser utilizado e operado.

**Resiliência:** Capacidade de atenuar significativamente as consequências de todos os riscos e incidentes e de rapidamente recuperar e restabelecer serviços críticos, com um mínimo de danos para a segurança e saúde públicas, a economia e a segurança nacional (ASCE 2013).