

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Giuliana Warda Scola de Moraes

**GREEN AIRPORTS – BENCHMARKING ENTRE
AEROPORTOS COM USO DE MÚLTIPLOS
CRITÉRIOS E ANÁLISE DE COMPONENTES
PRINCIPAIS**

**Trabalho de Graduação
2017**

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Giuliana Warda Scola de Moraes

**GREEN AIRPORTS – BENCHMARKING
ENTRE AEROPORTOS COM USO DE
MÚLTIPLOS CRITÉRIOS E ANÁLISE DE
COMPONENTES PRINCIPAIS**

Orientadora

Profa. Dra. Giovanna Ronzani Borille (ITA)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Warda Scola de Moraes, Giuliana

Green Airports – Benchmarking entre aeroportos com uso de múltiplos critérios e análise de componentes principais/ Giuliana Warda Scola de Moraes.

São José dos Campos, 2017.

49f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ano. Orientadora: Profa. Dra. Giovanna Ronzani Borille

1. Sustentabilidade 2. Aeroportos. 3. Benchmarking 4. Análise Multi-Critérios. 5. Análise por Componentes Principais. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Green Airports – Benchmarking entre aeroportos com uso de múltiplos critérios e análise de componentes principais

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MORAES, Giuliana Warda Scola de. **Green Airports – Benchmarking entre aeroportos com uso de múltiplos critérios e análise de componentes principais**. 2017. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Giuliana Warda Scola de Moraes

TÍTULO DO TRABALHO: Green Airports – Benchmarking entre aeroportos com uso de múltiplos critérios e análise de componentes principais

TIPO DO TRABALHO: Graduação / 2017

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização da autora.



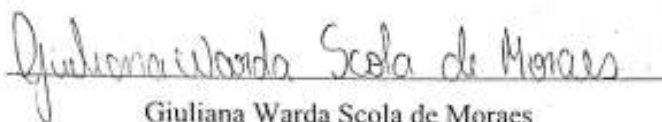
Giuliana Warda Scola de Moraes

Rua Piauí, 183.

52061-040, Recife - PE


GREEN AIRPORTS – BENCHMARKING ENTRE AEROPORTOS COM USO DE MÚLTIPLOS CRITÉRIOS E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Giuliana Warda Scola de Moraes

Autora



Prof. Dra. Giovanna Ronzani Borille (ITA)

Orientadora



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto (ITA)

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 13 de novembro de 2017

Dedico este trabalho ao meu avô Warda,
que eu sei que está feliz ao ver essa
conquista.

Agradecimentos

A todos os professores inspiradores que tive ao longo da vida, que despertaram e alimentaram o meu gosto por aprender e me incentivaram a querer mais. Agradeço em especial ao Valdemar, que me convenceu que eu tinha capacidade de vir estudar no ITA, e ao Vicente, pela dedicação em compartilhar seu grande conhecimento. Agradeço também à Micheli por todo o carinho e por me acolher nos momentos em que eu tanto precisava.

À professora Giovanna, minha orientadora, pelo comprometimento e por me ajudar a realizar este trabalho, e ao professor Wilson, pelas colaborações como relator.

Às minhas colegas de quarto e apartamento Sarah, Taise, Jéssica, Adriana e Ana, pela paciência e por serem minhas amigas apesar de todos os choros e reclamações. Aos meninos do 112, minha segunda casa. Obrigada também à Lélia, que esteve ao meu lado em tantos momentos bons e ruins desses anos de faculdade.

À Civil 16, turma que fez o curso valer a pena e que foi responsável por inúmeras lembranças felizes que eu tenho de uma das épocas mais duras do ITA. Obrigada também à Civil 17, que nos acolheu da melhor forma possível. Agradeço em especial ao João Victor, pelo companheirismo muito além do rancho, e aos meninos da Tabapuã, por me receberem em um período tão importante da minha vida.

À Edilaine, que me acompanhou das piores às melhores épocas e foi uma das pessoas que mais me ajudou a sair do ITA sendo uma pessoa melhor do que eu era quando entrei.

Aos meus amigos de Recife, que me ajudaram a chegar aqui e, apesar da distância física, sempre estiveram presentes na minha vida.

Aos amigos que fiz em Groningen, que me ajudaram a expandir minha cabeça e me mostraram que o mundo é grande e cheio de pessoas maravilhosas.

Às pessoas incríveis que conheci na GetNinjas, por todo aprendizado que eu venho tendo e por me mostrarem que existe vida após o ITA.

E por último e mais importante, aos meus pais e meu irmão, por todo amor que eu recebi ao longo da vida, por me ensinarem que eu podia ser o que eu quisesse, por confiarem nas minhas escolhas e por torcerem por mim e pela minha felicidade. Essa conquista também é de vocês.

" Sustainability can't be like some sort of a moral sacrifice
or political dilemma or a philanthropical cause.
It has to be a design challenge ”.
(Bjarke Ingels)

Resumo

Sustentabilidade é um tema que vem sendo muito discutido nas últimas décadas, assim como o conceito relacionado de desenvolvimento sustentável. Paralelamente, muitos aeroportos vêm apresentando iniciativas com o objetivo de se tornarem mais “verdes”, o que traz o desafio de avaliar essas iniciativas de forma objetiva. Kilkis & Kilkis (2015) propõem uma metodologia de comparação de aeroportos quanto à sustentabilidade em diversas áreas, e essa metodologia serviu de base para o desenvolvimento deste Trabalho de Graduação. Foi realizado um benchmarking entre os aeroportos de Malta, Viracopos, Austin, Christchurch e Bologna, aeroportos semelhantes em termos de tráfego anual de passageiros e que disponibilizam relatórios de sustentabilidade seguindo o padrão GRI (Global Reporting Initiative). Foram utilizadas quatro dimensões de sustentabilidade, a saber: (i) Serviços aeroportuários e qualidade, (ii) Geração e Consumo de energia, (iii) Emissões e mitigação de CO₂ e (iv) Gerenciamento ambiental e Biodiversidade, tendo cada uma das dimensões cinco indicadores. A aplicação da ferramenta comparativa foi enriquecida por uma posterior análise por componentes principais, permitindo a obtenção de relações entre aeroportos e entre indicadores de diferentes dimensões. As conclusões permitiram a observação de áreas que podem ser prioritárias para cada aeroporto em ações voltadas a sustentabilidade. Além disso, a metodologia adotada mostrou-se eficiente por permitir a comparação entre aeroportos diferentes com a consideração de diversos aspectos e a obtenção de sugestões práticas. Futuros trabalhos podem refinar ainda mais a metodologia em questão, incluindo novas dimensões e indicadores.

Abstract

Sustainability is a subject that has been constantly discussed in the last decades, such as the related concept of sustainable development. At the same time, many airports have been developing initiatives aimed at a more “green” status, which brings the challenge of make an objective assessment of those initiatives. Kilkis & Kilkis (2015) bring a comparing methodology between airports regarding sustainability in different areas, and this methodology was a basis for this work. A benchmarking was made between the airports of Malta, Viracopos, Austin, Christchurch and Bologna, airports that have a similar annual passenger traffic and provided sustainability reports according to the GRI (Global Reporting Initiative) standards. Four dimensions of sustainability were addressed in this work, namely: (i) Airport Service and Quality, (ii) Energy Consumption and Generation, (iii) CO₂ emissions and mitigation and (iv) Environmental Management and Biodiversity, where each dimension had five indicators. The use of the comparative tool was enriched by a Principal Components Analysis, showing related data between airports and between indicators in different dimensions. The work’s conclusions allowed the development of suggestions of priority areas where the airports could invest in their sustainability efforts. In addition, the methodology used in this work showed efficiency since it allowed comparing different airports considering distinct aspects and it made available enough information to the rise of practical suggestions. Future work can refine this methodology, including new dimensions and indicators.

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Metodologia proposta por Kilkis & Kilkis (2015).....	17
Figura 2.2 Determinação dos valores de Medidas de economia e produção de energia (Fonte: Kilkis & Kilkis, 2015).	19
Figura 2.3 Gráfico de dispersão das características de acordo com os escores dos dois primeiros componentes principais (Fonte: Varella, 2008).....	28
Figura 2.4 Gráfico de dispersão das variáveis X1 e X2 (Fonte: Varella, 2008).....	29
Figura 2.5 Gráfico de dispersão das componentes principais Y1 e Y2 (Fonte: Varella, 2008)	29
Figura 4.1 – Matriz de Correlações Amostral	41
Figura 4.2 - Análise das variâncias de cada componente principal.....	42
Figura 4.3 - Representação dos resultados dos indicadores para os aeroportos	43

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Análise com Múltiplos Critérios idealizada por Kilkis & Kilkis (2015)	18
Tabela 3.1 - Câmbio entre moedas	32
Tabela 3.2 - Equações utilizadas para cada indicador	33
Tabela 4.1 - Dados obtidos na dimensão 1 (Serviços aeroportuários e qualidade)	35
Tabela 4.2 - Indicadores da dimensão 1 (Serviços aeroportuários e qualidade)	35
Tabela 4.3 - Dados obtidos na dimensão 2 (Geração e Consumo de energia)	36
Tabela 4.4 - Indicadores da dimensão 2 (Geração e Consumo de energia)	37
Tabela 4.5 - Dados obtidos na dimensão 3 (Emissões e Mitigação de CO ₂)	38
Tabela 4.6 - Indicadores da dimensão 3 (Emissões e Mitigação de CO ₂)	38
Tabela 4.7 - Dados obtidos na dimensão 4 (Gerenciamento Ambiental e Biodiversidade)	39
Tabela 4.8 - Indicadores da dimensão 4 (Gerenciamento Ambiental e Biodiversidade)	39
Tabela 4.9 - Índices globais de sustentabilidade para cada aeroporto	40
Tabela 4.10 - Índices Globais de Sustentabilidade para cada aeroporto antes e após variação de pesos para cada dimensão	41

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Análises com múltiplos critérios.....	16
2.2	Dimensão 1: Serviços aeroportuários e Qualidade.....	18
2.3	Dimensão 2: Geração e Consumo de Energia	19
2.3.1	Certificação ISSO 50001	20
2.3.2	Certificações construtivas.....	20
2.4	Dimensão 3: Emissões e mitigação de CO2	21
2.4.1	Poluição sonora e atmosférica	21
2.5	Dimensão 4: Gerenciamento ambiental e Biodiversidade	22
2.5.1	Gestão de recursos hídricos	22
2.5.2	Padrão ISO 14001	25
2.6	Disponibilidade de Dados.....	25
2.7	Produção acadêmica no Brasil	26
2.8	Análise por Componentes Principais.....	26
2.9	Considerações sobre a revisão de literatura.....	30
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	Seleção de aeroportos	31
3.2	Coleta de dados	32
3.3	Cálculo dos indicadores	32
3.4	Aplicação do Método das Componentes Principais.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Resultados da Dimensão 1: Serviços aeroportuários e qualidade.....	35
4.2	Resultados da Dimensão 2: Geração e Consumo de energia	36
4.3	Resultados da Dimensão 3: Emissões e Mitigação de CO2.....	37
4.4	Resultados da Dimensão 4: Gerenciamento Ambiental e Biodiversidade	39
4.5	Ranking geral de sustentabilidade	40
4.6	Análise de Componentes Principais.....	41
5	CONCLUSÃO.....	45
6	REFERÊNCIAS	47

1 Introdução

A questão do desenvolvimento sustentável é um assunto bastante discutido atualmente, sendo a sua relevância crescente desde que o conceito foi proposto pelo Relatório Brundtland (Brundtland, 1987). O Relatório em questão define esse termo como o desenvolvimento que atende as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades. Essas necessidades são definidas no Relatório como as necessidades básicas que os seres humanos têm, como alimento, vestimentas, abrigo, empregos, assim como oportunidades para perseguir suas aspirações a uma vida melhor.

Para atender a essas necessidades essenciais dos seres humanos, porém, é necessário haver crescimento econômico. Assim, deve haver um equilíbrio entre a proteção ambiental e o desenvolvimento econômico, o que é um desafio complexo que envolve diversos campos como o desenvolvimento tecnológico, a geração de energia, o gerenciamento de recursos naturais e os impactos na sociedade e nos ecossistemas (Brundtland, 1987).

Essa necessidade de equilíbrio entre impactos ambientais e crescimento econômico é evidente no setor da aviação e do desenvolvimento aeroportuário. O crescimento do setor aéreo está ligado ao desenvolvimento de uma sociedade mais globalizada, mas traz desafios como um consumo cada vez maior de energia e a geração de poluição que traz riscos à saúde pública (Pitt et al, 2003).

A organização ACI (Airports Council International) define a sustentabilidade aeroportuária como uma “abordagem holística à gestão de um aeroporto de forma a garantir a integridade da viabilidade econômica, eficiência operacional, conservação de recursos naturais e responsabilidade social do aeroporto”. Thomas (citado por Ferrulli, 2016) diz que o conceito de desenvolvimento sustentável é a habilidade do aeroporto continuar crescendo. Ferrulli (2016) propõe uma definição semelhante, de que desenvolvimento sustentável em um aeroporto está relacionado a ter uma infraestrutura para facilitar o crescimento a longo prazo do aeroporto quando um crescimento de demanda pedir por esse crescimento, e essa flexibilidade tem forte relação com os impactos ambientais das atividades aeroportuárias. Assim, existe o desafio no setor aeroportuário de buscar atingir os objetivos econômicos dentro de certos limites impostos por questões ambientais, como padrões de qualidade de ar e de emissão de resíduos (Upham et al, 2003). Existem também vantagens da expansão de aeroportos que, além de econômicas, apresentam um viés social, como a criação de empregos e o aumento da acessibilidade, de forma

que aspectos econômicos, sociais e ambientais podem ser levados em conta para considerar um aeroporto sustentável (Koç e Durmaz, 2015).

Um outro conceito relevante no tema é o de capacidade ambiental de aeroportos. A capacidade do aeroporto pode englobar aspectos distintos, a saber: (i) a capacidade operacional (ligada à capacidade do terminal de passageiros), (ii) a capacidade de gestão e (iii) a capacidade ambiental. Esta última é definida como a capacidade do ambiente afetado pelas atividades do aeroporto de tolerar o impacto dessas atividades, sendo esse ambiente formado por componentes humanos e não-humanos. Esses fatores não-humanos vão desde as espécies locais aos recursos naturais, como no caso da contaminação de água por produtos químicos e combustíveis utilizados pelo aeroporto (Upham et al, 2003; Nunes et al, 2011). Para maximizar a capacidade ambiental do aeroporto, é essencial colocar os aspectos ambientais como um dos focos do planejamento estratégico do aeroporto, dado que muitas vezes medidas voltadas à sustentabilidade exigem investimentos consideráveis de curto prazo com vista em retornos a longo prazo (Upham et al., 2003).

Essa necessidade de analisar os padrões de sustentabilidade em aeroportos e conciliar essa questão com a evolução das atividades nos mesmos se torna ainda mais importante diante de um cenário de crescimento, e o Brasil tem participação nesse cenário. A Comissão Europeia prevê crescimento do número de passageiros na América Latina em 8%, menor apenas do que no Oriente Médio (10,8%) (Comissão Europeia, 2013). As previsões também indicam que o mercado vai se voltar para Ásia, Oriente Médio e América Latina, e, portanto, deve haver grande volume de construção de aeroportos nessas regiões (Ferrulli, 2016). No contexto brasileiro, em 2009 muitos dos principais aeroportos brasileiros indicavam que necessitariam de expansões, e a previsão na época era que a demanda cresceria 5,1% ao ano até 2030, exigindo que a capacidade dos aeroportos brasileiros mais que dobrasse até lá em relação à data inicial. (McKinsey & Company, 2010).

Assim, pode-se ver que tratar a sustentabilidade em aeroportos tem uma forte ligação com questões econômicas e exige um planejamento adequado. Entretanto, o tema é complexo, e a necessidade de análises objetivas de sustentabilidade dentro do setor de transporte aéreo gera uma demanda por indicadores da área (CEIT, 2009).

Conforme Solomon e Hughey (2007), possíveis soluções para essa necessidade de avaliações objetivas são análises levando em conta múltiplos critérios. Esse tipo de análise pode trazer benefícios frente a problemas complexos como aqueles envolvidos no cenário da aviação. Assim, uma pesquisa focando em diversos critérios e comparando diferentes aeroportos pode

trazer uma visão e um direcionamento mais claros do panorama de aeroportos quanto ao desenvolvimento sustentável.

Além disso, pode-se observar que os aeroportos são avaliados e ranqueados principalmente quanto à qualidade do serviço para o passageiro, o que estimula uma contínua melhora nos padrões de níveis de serviço oferecidos. Paralelamente, índices que avaliem o desempenho de um aeroporto quanto a questões ambientais podem auxiliar os aeroportos a promover melhoras nessa área também (Chao et al, 2017).

Assim, o objetivo deste trabalho é realizar um benchmarking entre aeroportos em relação à sustentabilidade com uso de uma ferramenta analítica que leve em conta múltiplos fatores associados aos impactos ambientais. A ferramenta utilizada tem como base o índice de sustentabilidade proposto pelo estudo de Kilkis & Kilkis (2015), que fornece indicadores associados às diferentes dimensões. A análise desses indicadores, por sua vez, é complementada por meio da análise de componentes principais, método que permite a análise de números grandes de dados.

Espera-se que esse estudo amplie o panorama sobre as iniciativas de sustentabilidade tomadas pelos operadores dos aeroportos analisados. Os mesmos são os aeroportos europeus de Malta e Bologna (Itália), o brasileiro Viracopos, o aeroporto de Austin, nos Estados Unidos, e de Christchurch, na Nova Zelândia. A inclusão do Aeroporto de Viracopos tem o propósito de gerar insights, para os stakeholders do setor aéreo e indústria aeronáutica, sobre os rumos que podem ser tomados pela questão da sustentabilidade nos aeroportos brasileiros. Além disso, pretende-se contribuir com a comunidade acadêmica ao apresentar uma metodologia a qual pode servir de base para estudos de benchmarkings similares e replicação em outros aeroportos com movimento expressivo de passageiros no Brasil e no mundo.

2 Revisão Bibliográfica

A presente revisão bibliográfica apresenta uma abordagem sobre o tema de sustentabilidade no setor aeroportuário. A seção 2.1 apresenta os tipos de análises feitas para tirar conclusões sobre medidas de sustentabilidades em aeroportos, além de apresentar e detalhar a metodologia proposta por Kilkis & Kilkis (2015), que será uma das bases para o desenvolvimento das próximas seções deste trabalho. As seções 2.2 a 2.6 detalham os componentes das áreas de sustentabilidade que são abordadas por Kilkis & Kilkis (2015), esclarecendo a relevância das mesmas e dos indicadores adotados. A seção 2.7 trata dos critérios e definições para seleção de aeroportos participantes de análises comparativas, como base para a seleção que será feita para a realização do benchmarking proposto neste trabalho. A seção 2.8 descreve a produção acadêmica no Brasil na área de sustentabilidade em aeroportos, mostrando quais caminhos ainda podem ser explorados em futuros estudos. Já a seção 2.9 descreve o método de análise por componentes principais e a fundamentação teórica utilizada para a aplicação do método. Finalmente, a seção 2.10 apresenta conclusões sobre a revisão bibliográfica.

2.1 Análises com múltiplos critérios

Dentre a produção acadêmica na área de sustentabilidade em aeroportos, há diversos estudos que focam no impacto de um determinado aeroporto, muitas vezes tratando de um aspecto em particular, como Couto et al (2014), que apresentou uma análise sobre o uso de água pluvial no Aeroporto Internacional Tancredo Neves. Enquanto isso, outros estudos realizam a comparação de múltiplos aeroportos, mas focando em um só tema, como energia ou gestão de água. É um exemplo Pitt & Smith (2003), que comparam métodos de gestão de lixo no Reino Unido. Estudos de comparação de aeroportos com base com múltiplos critérios não são tão comuns, apesar de terem grandes potenciais de análise e de terem de grande relevância (Kilkis & Kilkis, 2015).

Chao et al (2017) apresentam um modelo que, com base em uma série de indicadores, analisa o desempenho de um aeroporto em termos de economia de energia, redução de emissão de carbono e implementação de medidas ambientais, permitindo que os aeroportos identifiquem pontos de melhoria. O referido estudo levanta 16 indicadores em 4 áreas distintas, sendo: (i) design sustentável do aeroporto, (ii) conservação de energia e redução das emissões de carbono, (iii) uso de recursos renováveis e (iv) gestão sustentável em aeroportos.

Kilkis & Kilkis (2015) também propõem um índice que leva em conta diversos indicadores, muitos deles em comum com Chao et al (2017). Kilkis & Kilkis (2015), porém, realizam uma análise mais ampla, realizando um benchmarking de aeroportos de diversos países quanto à sustentabilidade. O método utilizado no estudo está resumido na figura 2.1.



Figura 2.1 - Metodologia proposta por Kilkis & Kilkis (2015)

O índice desenvolvido pelos autores supracitados considera 5 dimensões distintas: serviços aeroportuários e qualidade; geração e consumo de energia; emissões de gás carbônico e planejamento para mitigação das mesmas; gerenciamento ambiental e biodiversidade; e atmosfera e uso de tecnologias de transporte de baixa emissão. Cada uma dessas dimensões é avaliada por meio de cinco indicadores. Os indicadores do método e cada dimensão correspondente encontram-se na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Análise com Múltiplos Critérios idealizada por Kilkis & Kilkis (2015)

Dimensão	Indicador	Unidade
D1 – Serviços aeroportuários e qualidade	$I_{1,1}$ – Tráfego anual de passageiros	Adimensional (milhões de passageiros)
	$I_{1,2}$ – Crescimento anual do tráfego de passageiros	Porcentagem (%)
	$I_{1,3}$ – Transporte Anual de Cargas	Toneladas
	$I_{1,4}$ – Receita Anual	Milhões de reais
	$I_{1,5}$ – Total de funcionários	Adimensional
D2 – Geração e Consumo de energia	$I_{2,1}$ – Consumo de energia	Toe
	$I_{2,2}$ – Consumo de energia por passageiro	toe/Passageiro
	$I_{2,3}$ – Certificação ISO 50001	Adimensional
	$I_{2,4}$ – Medidas de economia de energia	Adimensional
	$I_{2,5}$ – Produção Local de energia	Adimensional
D3 – Emissões e mitigação de CO2	$I_{3,1}$ – Emissões de CO2 (escopos 1 e 2)	Toneladas
	$I_{3,2}$ – Emissões de CO2 por passageiro	Toneladas/Passageiro
	$I_{3,3}$ – Emissões de CO2 por unidade de energia	toneladas/toe
	$I_{3,4}$ – Nível de acreditação de carbono	Adimensional
	$I_{3,5}$ – Neutralidade de emissões	Adimensional
D4 – Gerenciamento ambiental e Biodiversidade	$I_{4,1}$ – Consumo de água	m ³
	$I_{4,2}$ – Certificação ISO 14001	Adimensional
	$I_{4,3}$ – Geração de Lixo	Toneladas
	$I_{4,4}$ – Porcentagem de lixo reciclado	Adimensional
	$I_{4,5}$ – Área de preservação de biodiversidade	Hectares
D5 – Atmosfera e Transporte de Baixa Emissão	$I_{5,1}$ – Poluição por PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	$I_{5,2}$ – Redução de ruído para dB (A) ≤ 60	Adimensional
	$I_{5,3}$ – Uso de veículos de baixa emissão	Adimensional
	$I_{5,4}$ – Taxa de acesso ao aeroporto por transporte público	Adimensional
	$I_{5,5}$ – Uso de biocombustíveis na aviação	Adimensional

As próximas seções tratam da relevância de cada dimensão e dos indicadores adotados por cada uma, explicando como se dá a determinação dos indicadores.

2.2 Dimensão 1: Serviços aeroportuários e Qualidade

O foco da dimensão 1 são os impactos socioeconômicos do aeroporto e sua capacidade operacional. O indicador de crescimento do número de passageiros anual é tomado como uma proxy do nível de serviço oferecido aos passageiros pelo aeroporto (Kilkis & Kilkis, 2015).

2.3 Dimensão 2: Geração e Consumo de Energia

Em um aeroporto, há consumo de energia em diversas atividades, desde a necessidade de iluminação e aquecimento ou resfriamento até os data centers utilizados pela torre de comando para controlar o tráfego no aeroporto. Assim, os indicadores da dimensão 2 avaliam o cenário do consumo de energia atual do aeroporto e as medidas para diminuir esse consumo e para produzir energia no local.

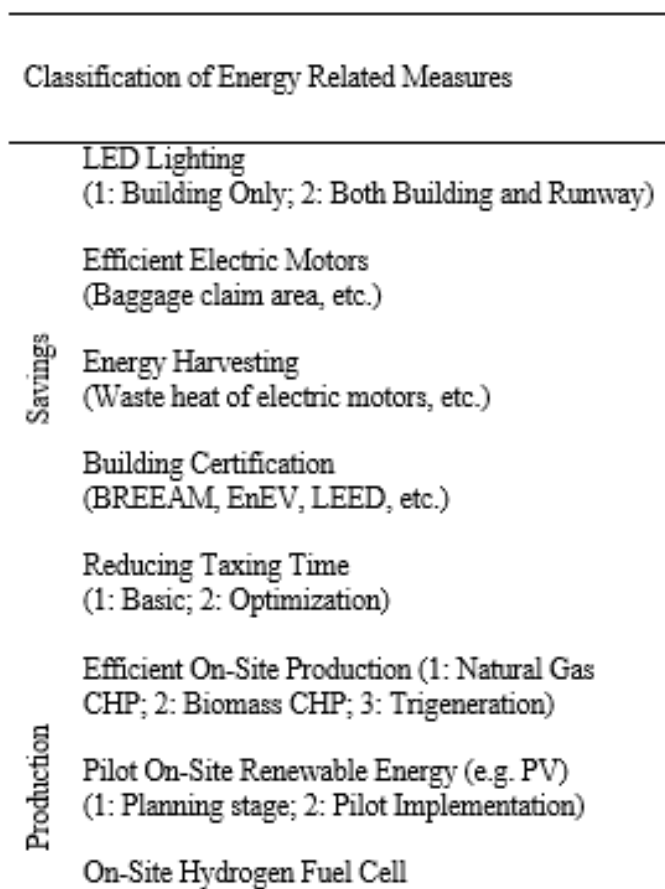


Figura 2.2 Determinação dos valores de Medidas de economia e produção de energia (Fonte: Kilkis & Kilkis, 2015).

Nessa dimensão, cabe destacar que o indicador $I_{2,3}$ (Certificação ISO 50001) é binário, ou seja, é atribuído a ele o valor 1 caso o aeroporto possua a certificação e 0 caso não possua. Já os indicadores $I_{2,4}$ e $I_{2,5}$ são calculados conforme a figura 2.2. As seções 2.3.1 e 2.3.2 explicam, respectivamente, sobre a certificação ISO 50001 e sobre certificações construtivas citadas na figura

2.3.1 Certificação ISSO 50001

O ISO 50001 é um padrão internacional de gestão que foca no aspecto do gerenciamento de energia. As ferramentas fornecidas por esse sistema propõem um ganho de eficiência que resultaria em diminuição de custos com energia. Essa otimização seria atingida com o desenvolvimento de uma política de energia robusta, composta por metas bem definidas e um plano de ação para alcançar esses objetivos. (ISO, 2016).

2.3.2 Certificações construtivas

Nas áreas de construção e arquitetura, existe uma tendência por parte de diversos governos de desenvolver padrões de sustentabilidade que devem ser seguidos, mas também de fornecer incentivos financeiros para estimular a adoção dessas práticas (Robichaud & Anantatmula, 2011). Para avaliar e guiar melhor esse processo, é importante o uso de ferramentas objetivas, alinhando as práticas com um caminho que leve a um desenvolvimento sustentável efetivo.

Para atender a essa necessidade existem sistemas de avaliação de construções sustentáveis, que fornecem requisitos para medir sustentabilidade de uma construção como um todo e permitem a comparação com outras construções. Existem diversos aspectos que podem ser levados em consideração ao fazer essa análise, assim, existem diversas ferramentas do tipo que levam em conta aspectos diferentes e, conseqüentemente, adequam-se aos projetos diferentes (Fowler & Rauch, 2006). Existem ferramentas utilizadas para medições, coletando dados para calcular indicadores relevantes, ferramentas para avaliação, comparando o desempenho do prédio com um critério estabelecido, e ferramentas que orientam um processo de mudança. Variações das condições físicas e econômicas entre países são uma das razões para existirem diferentes ferramentas, dado que uma só ferramenta de avaliação e comparação pode não ser adequada às situações muito distintas. Com o uso de ferramentas adequadas para cada situação, é possível obter informações que auxiliem no processo decisório e em um avanço em direção ao desenvolvimento sustentável (Reed et al., 2009).

Um exemplo de certificação de design e construção sustentável é a certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), originada nos Estados Unidos e expandida para outros países. O sistema promete flexibilidade para se adaptar a qualquer tipo de construção e o aumento de eficiência nas mesmas (U.S. Green Building Council, 2017). Outros exemplos de sistemas de avaliação utilizados atualmente são o sistema BEAM (Building Environmental Assessment Method), desenvolvido em Hong Kong, o japonês CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) e o sistema Green

Star da Nova Zelândia. Esses sistemas, assim como o LEED, têm suas diferenças de padrões e foram desenvolvidos em contextos distintos, mas têm em comum o foco nos aspectos de qualidade de ambientes internos, energia e materiais (Doan et al, 2017). A consideração de um prédio como sustentável, porém, é uma definição dinâmica, e deve considerar todo o tempo de vida do prédio, nas fases de design, construção, operação, manutenção, renovação e desconstrução (Ugur & Leblebici, 2017).

Na construção de um aeroporto, as práticas voltadas à sustentabilidade têm como base a redução do consumo de energia, da poluição de água e do ar local, a melhoria dos processos construtivos, o aumento da segurança no ambiente da construção, a geração de benefícios para as comunidades locais e a redução dos custos construtivos e do impacto nas operações do aeroporto (ACRP, 2011). Cabe destacar que para que haja a disposição e a habilidade para aplicar os princípios de sustentabilidade em construções, é necessário o desenvolvimento de uma educação para a sustentabilidade, de forma que haja profissionais aptos a atuar nesse sentido (Oto et al, 2012).

2.4 Dimensão 3: Emissões e mitigação de CO₂

As emissões de CO₂ estudadas nesta dimensão são relacionadas aos escopos 1 e 2, que são referentes às premissas do aeroporto até a interface entre lado-terra e lado-ar. O escopo 3, que não é tratado, inclui o ciclo LTO (landing and take off, ou seja, pouso e decolagem). Assim, as emissões tratadas em Kilkis & Kilkis (2015) têm forte relação com a questão energética.

Um indicador que deve ser especificado quanto à sua determinação é o $I_{3,4}$, onde o nível 1 corresponde a mapeamento das emissões, o nível 2 a redução das mesmas, o nível 3 a otimização e o 4 a neutralidade em relação a CO₂. Já o indicador $I_{3,5}$ é binário, sendo 1 para aeroportos que alcançaram a neutralidade de carbono e 0 caso contrário.

2.4.1 Poluição sonora e atmosférica

Grampella et al (2017) analisa os efeitos de diferentes fatores no impacto ambiental das operações de um aeroporto, abordando os ângulos da poluição atmosférica e sonora. Considerando a poluição atmosférica gerada pelas aeronaves, a queima de combustível durante operações nos aeroportos contribui para aumento dos níveis de poluição locais, enquanto os impactos da fase de cruzeiro dos voos, associados às companhias aéreas, estão mais relacionados ao aquecimento global. Há diversos fatores que podem ter pesos diferentes em termos de impacto de poluição, e Grampella et al (2017) sugere a inclusão dessas externalidades

nas tarifas aeroportuárias, já levando em conta as restrições impostas por regulações. Muitos países aplicam taxas relativas à poluição sonora, enquanto poucos adotaram relacionadas às emissões. Grampella et al (2017) considera os efeitos de poluição sonora e atmosférica de forma a tornar possível o incentivo de investimentos que reduzam os impactos ambientais de uma forma mais integrada, além de tornar mais claro quando e como um aeroporto pode expandir sem causar, ou até mitigando, tantos efeitos negativos ao meio-ambiente. Esse tipo de raciocínio mostra que, apesar de haver uma divisão entre indicadores e dimensões, os tópicos de sustentabilidade podem ser relacionados, o que ocorre em Grampella et al (2017) com poluição sonora e atmosférica.

Entre os fatores que Grampella et al (2017) destacam pelos impactos ambientais, alguns estão relacionados mais diretamente com as operações das companhias aéreas e podem variar entre elas (como a idade e o tamanho das aeronaves que operam) e outros estão mais relacionados com a capacidade do aeroporto em si (como a configuração de taxiways e o tempo que se leva entre um finger e a pista de decolagem). Observa-se que essa questão da configuração do aeroporto também está interligada com o quarto indicador da dimensão 2 (Medidas de economia de energia), dado que a configuração do aeroporto influencia no tempo que os aviões levam ao se deslocar na pista.

2.5 Dimensão 4: Gerenciamento ambiental e Biodiversidade

Essa dimensão se refere à interação do aeroporto com os arredores, que se dá também por meio dos fluxos de água e de resíduos sólidos. Entre os indicadores a serem determinados, destaca-se que o indicador $I_{4,2}$ (Certificação ISO 14001) é binário, recebendo o valor 1 caso o aeroporto possua a certificação e 0 caso não possua. A seção 2.5.1 explora a gestão de recursos hídricos em aeroportos e a seção 2.5.2 traz mais informações sobre a certificação ISO 14001.

2.5.1 Gestão de recursos hídricos

Um aspecto pouco explorado no sistema de avaliação de Kilkis & Kilkis (2015) é a gestão de água, que apresenta um indicador relativo ao consumo, mas poderia ter outros indicadores relacionados.

O uso de água tem uma posição relevante no grau de sustentabilidade de aeroportos, que são instalações que utilizam grandes quantidades de água para fins não potáveis. Entretanto, a maioria dos aeroportos que implementaram medidas para redução do uso de água foram motivados por enfrentarem problemas relacionados à escassez da mesma. Além disso, muitos

dos aeroportos que abordam a questão implementaram soluções isoladas, enquanto o ideal é aplicar soluções integradas.

O gerenciamento do uso de água pode focar em diminuir a demanda de recursos hídricos, desenvolvendo tecnologias que consumam menos água, ou abordando o problema pelo lado da oferta, procurando fontes alternativas como água pluvial ou água cinza, que é definida como água residual de lavatórios, chuveiros e pias de cozinha, por exemplo (Couto et al, 2014).

O consumo de água nos aeroportos com maior tráfego de passageiros pode chegar a ser equivalente ao consumo de cidades de médio porte (Carvalho et al, 2013; Moruzzi et al, 2016). Entretanto, a relação entre número de passageiros e o consumo de água não é linear. Existem diversos fatores que interferem nessa relação, e a adoção de práticas para consumo racional de água é apenas um desses fatores. Exemplos de características que também exercem influência são o clima, a quantidade de carga transportada pelo aeroporto e se o aeroporto é doméstico ou internacional. O consumo de água por passageiro também não apresenta necessariamente um crescimento à medida que o tráfego de passageiros aumenta, dado que medidas de economia de água, por exemplo, podem evitar o crescimento do consumo per capita. (Carvalho et al, 2013; Moruzzi et al, 2016).

Uma das ações tomadas por aeroportos para gestão de recursos hídricos é a medição do consumo de água, permitindo o controle de onde e como a água está sendo utilizada e a identificação de vazamentos e perdas. O Aeroporto de Confins, por exemplo, implementou um modelo do tipo com 48 pontos de medição. Uma outra medida popular é a adoção de sistemas de descarga que consumam menores quantidades de água do que o convencional. No cenário brasileiro, destacam-se o Aeroporto de Recife, que implementou descargas a vácuo, e do Aeroporto do Galeão, que renovou uma boa parte da sua infraestrutura de distribuição de água, incluindo linhas e redes de distribuição, válvulas de controle de fluxo, unidades de armazenamento e estações elevatórias.

Carvalho et al (2013) classifica as medidas de reuso de água nas categorias de água pluvial, água cinza, água marinha e água efluente de esgoto. O uso de água pluvial para fins não potáveis é uma medida relativamente popular, adotada em diferentes locais do mundo e em diversas indústrias distintas, e pode ser adequada ao setor aeroportuário devido ao fato dos aeroportos terem a necessidade de impermeabilização do solo, oferecendo a possibilidade de drenagem superficial de volumes substanciais de água. Entretanto, esse volume depende também de onde o aeroporto está localizado e das tecnologias disponíveis para tratamento dessa água. O Aeroporto do Galeão implementou em 2009 uma estrutura para reuso de água pluvial no seu sistema de refrigeração. No caso da reutilização de águas pluviais, a questão da viabilidade

econômica é um ponto que merece cuidado, dado que ela pode impedir a realização de medidas do tipo. Tendo esse ponto em vista, o reservatório representa uma boa parte do investimento em relação aos outros componentes do projeto, assim, o dimensionamento do mesmo é uma parte do projeto que pode receber atenção especial. Moruzzi et al (2016) apresenta um dimensionamento para o Aeroporto Internacional de Guarulhos do reservatório de um sistema com reutilização de água pluvial para atender ao sistema de refrigeração do terminal de passageiros (TPS) e correspondente tempo de amortização do investimento, propondo também um sistema que atendesse aos sanitários do TPS.

No caso do reuso de água cinza, há um esforço maior para encontrar os melhores tratamentos físicos, químicos e biológicos, mas também há casos de aeroportos que utilizam essa medida para uso de água em fins não-potáveis. O uso de água marinha não é tão popular, uma vez que também exige tratamentos, mas pode ser uma alternativa para aeroportos localizados no litoral. O Aeroporto de Hong Kong, por exemplo, faz uso dessa alternativa, utilizando a água tratada para fins como uso para descargas dos vasos sanitários e para o sistema de refrigeração. Finalmente, o uso de água efluente de esgoto exige uma avaliação cuidadosa do sistema de tratamento e de qualidade de água resultante, mas é uma solução empregada por alguns aeroportos, principalmente em locais onde há pouca disponibilidade de recursos hídricos. A água obtida dessa forma é utilizada para fins não potáveis como irrigação, controle de incêndio e sistemas de ar condicionado (Carvalho et al 2013).

Ribeiro et al (2013) analisam essa abordagem para reaproveitamento de água, focando em águas residuais no Aeroporto de Guarulhos, em que essas águas residuais referem-se aos efluentes domésticos. No caso da utilização desses efluentes, a qualidade da água obtida após o tratamento é um ponto que deve ser considerado, mesmo que para fins não potáveis. A qualidade dos efluentes tratados na planta de tratamento do Aeroporto de Guarulhos atende aos padrões para descarte em águas superficiais, mas quanto ao reuso não há no Brasil um padrão estabelecido, apenas recomendações. Comparando a qualidade dos efluentes tratados com padrões e recomendações de outros países, Ribeiro et al (2013) concluem que seriam necessários tratamentos adicionais para uso dos efluentes para fins não potáveis como irrigação, uso em descargas, combate a incêndio e sistemas de refrigeração, apesar do volume de efluentes ser suficiente para suprir essas demandas. Assim, o estudo sugere a adição de uma etapa de tratamento além das existentes utilizando a tecnologia de filtração por membrana.

Em casos como o do Aeroporto de Guarulhos, por exemplo, há uma pressão sobre as fontes convencionais, então a busca de fontes de água alternativas para fins não potáveis é uma

oportunidade de tornar mais eficiente e sustentável a gestão da oferta de recursos hídricos (Moruzzi et al, 2016; Ribeiro et al 2013).

2.5.2 Padrão ISO 14001

Sistemas de gestão ambiental são ferramentas utilizadas por operadores aeroportuários (e outras organizações) para gerenciar operações com impactos ambientais, tendo muitas vezes como base o padrão internacional ISO 14001 (Upham et al, 2005). O sistema de gestão ISO 14001 traz um conjunto de ferramentas que auxiliam as organizações a gerenciar os seus impactos ambientais, garantindo que eles estão sendo medidos corretamente e que os processos que causam esses impactos estão sendo mitigados. O sistema propõe alinhar as questões ambientais com o planejamento estratégico da organização, por meio da melhoria da imagem da mesma perante stakeholders, uma maior eficiência no uso de recursos e possibilidade de reduzir custos (ISO, 2015).

2.6 Disponibilidade de Dados

Em Kilkis & Kilkis (2015), o critério inicial para o benchmarking de aeroportos foi a seleção dos 20 aeroportos mais movimentados do mundo em número de passageiros anual de acordo com o ACI e dos 20 melhores aeroportos do mundo de acordo com o Skytrax, organização que ranqueia os aeroportos com base em pesquisas de satisfação de passageiros. Na sequência, foram selecionados apenas os aeroportos que apresentavam relatórios de sustentabilidade com os dados necessários para o cálculo dos indicadores. Esse fator é importante, pois para comparar aeroportos diferentes com base em uma ampla gama de indicadores, é importante que os dados necessários estejam disponíveis. As chances de obter as mesmas informações de diferentes relatórios (e assim ter uma base melhor para comparar organizações diferentes) aumentam se os mesmos seguem um padrão. Um padrão estabelecido para relatórios de sustentabilidade é o da GRI (Global Reporting Initiative), uma organização sem fins lucrativos que estabelece critérios para a elaboração de relatórios corporativos de sustentabilidade, de forma que as orientações fornecidas pela organização são consideradas as mais detalhadas, sendo um padrão internacionalmente conhecido. Ainda assim, ainda há muito o que se progredir nessa área, visto que a frequência de resposta dos indicadores propostos pelo padrão GRI é de 46,6% dos relatórios de sustentabilidade, sendo 9,8% desse valor relativo a respostas de apenas parte dos indicadores.

2.7 Produção acadêmica no Brasil

Na produção acadêmica sobre o tema de sustentabilidade para a realidade brasileira existem alguns estudos focados em aspectos ambientais de aeroportos brasileiros analisados de forma individual. Couto et al. (2014) estudaram o tratamento de água cinza em aeroportos, fazendo um estudo de caso no Aeroporto Internacional Tancredo Neves. Neto et al. (2012) também apresentam um estudo de caso do Aeroporto Internacional Tancredo Neves quanto à reutilização de água de chuva. Outros estudos focam em aspectos específicos comparados entre vários aeroportos. Carvalho et al. (2013), por exemplo, fazem uma revisão de práticas de economia de água em diferentes aeroportos brasileiros, destacando que ações nesse sentido podem gerar grandes impactos devido aos aeroportos consumirem grandes volumes de água e de grande parte desse volume ser consumido em atividades que não requerem água potável. Ramis e Santos (2013) apresentam uma análise de três aeroportos brasileiros (Guarulhos, Confins e Viracopos) quanto ao conforto térmico e consequente impacto no consumo de energia. Assim, percebe-se que ainda há um amplo potencial de exploração do tema na realidade brasileira, inclusive em análises considerando múltiplos critérios.

2.8 Análise por Componentes Principais

A análise por componentes principais é uma ferramenta da análise multivariada. É uma ferramenta de análise exploratória que possibilita a redução da quantidade de dados com a retenção do máximo possível de informação. Os componentes principais são combinações lineares dos dados originais, mas são independentes entre si. Uma das funções dessa análise é o agrupamento dos grupos de dados de acordo com as suas variações. Esse tipo de análise é bastante comum em campos da biologia e da psicologia, mas também é aplicado em diversos outros campos de conhecimento (Varella, 2008). Neste trabalho, esse tipo de análise será utilizada para mostrar tendências de agrupamento dos aeroportos de estudo em relação aos indicadores coletados.

A análise por componentes principais parte de uma matriz com 'p' características e 'n' indivíduos. No presente trabalho, as características são os indicadores e os indivíduos são os aeroportos. Essa é a matriz de dados, comumente chamada de matriz X. O objetivo da análise é obter, a partir de X, uma estrutura com as variáveis Y_1, Y_2, \dots, Y_p , não correlacionadas e ordenadas pelas suas variâncias. Ordenando essas variáveis pela variância, é possível utilizar apenas as que têm maior variância e assim comparar os indivíduos, isto é, os aeroportos (Varella, 2008).

As análises multivariadas podem ser feitas a partir da matriz de covariância ou da matriz de correlação, e dependendo de qual for utilizada o resultado obtido pode ser diferente. No caso das componentes principais, costuma-se utilizar a matriz de correlação. Um outro ponto que se deve destacar é que quando as entradas da matriz de dados estão em unidades de medida diferentes, elas devem ser padronizadas (Varella, 2008). No caso deste projeto, esse tratamento não será necessário, pois as entradas já são indicadores adimensionais normalizados de 0 a 1.

Considerando a matriz de correlações R , a determinação dos componentes principais é feita resolvendo a equação característica da matriz R , determinando os autovalores. O i -ésimo componente principal Y_i é calculado conforme a equação 2.1 a partir dos valores de entrada, do autovalor λ_i e dos autovetores correspondentes \hat{a}_i .

$$Y_i = \sum_{j=1}^p a_{i,j} X_j \quad (2.1)$$

Uma consequência disso é que o primeiro componente principal é aquele com maior variância, e os demais estão ordenados em ordem decrescente de variância. Além disso, a soma das variâncias das variáveis originais é igual ao somatório de variância dos componentes principais. Assim, cada componente vai ter uma contribuição para a variância total. Isso significa que selecionar os primeiros k componentes principais retém uma certa quantidade de informação e perde o restante, e com isso pode-se decidir quanto de informação deseja-se reter a partir da seleção de componentes principais na análise final. Não existe um valor exato para essa escolha, que deve ser feita levando em conta também que um dos objetivos da análise é simplificar a análise de dados, então teoricamente o ideal seria obter informação suficiente apenas com o primeiro componente principal, isto é, reduzir o problema de p para k dimensões (Varella, 2008).

A análise final é feita a partir dos escores dos componentes principais que são ordenados pela variância, sendo os escores os próprios valores dos componentes principais. A partir da seleção dos componentes principais utilizados na análise, pode-se utilizar gráficos de dispersão das características observadas em duas ou três dimensões, se forem selecionados os dois ou três primeiros componentes principais, respectivamente. Um exemplo de gráfico de dispersão é apresentado na Figura 2.3. No gráfico, os eixos Y_1 e Y_2 correspondem aos escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente. Os pontos, neste exemplo, referem-se aos 'n' indivíduos.

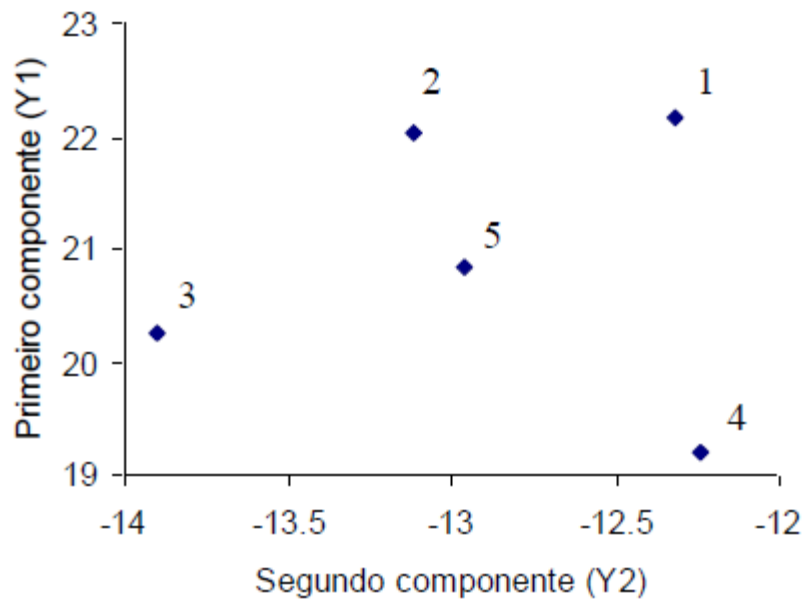


Figura 2.3 Gráfico de dispersão das características de acordo com os escores dos dois primeiros componentes principais (Fonte: Varella, 2008)

A transformação de eixos que ocorre, mudando a representação da dispersão, é ilustrada para um caso de matriz de entrada com duas variáveis (X_1 e X_2) nas figuras 2.4 e 2.5. Na figura 2.4, é ilustrado um gráfico de dispersão das variáveis X_1 e X_2 , em que cada ponto se refere a uma observação relacionando essas variáveis. Na figura 2.4, as linhas traçadas representam o novo sistema de eixos ortogonais formado pelos eixos Y_1 e Y_2 . Esses eixos correspondem às componentes principais do sistema inicial, e cada um dos pontos passa por uma transformação para ser representado nesse novo sistema de eixos, conforme representado na figura 2.5. Na figura 2.5, estão representados os escores das componentes principais, sendo Y_1 (eixo correspondente ao primeiro componente principal) o eixo de maior variação.

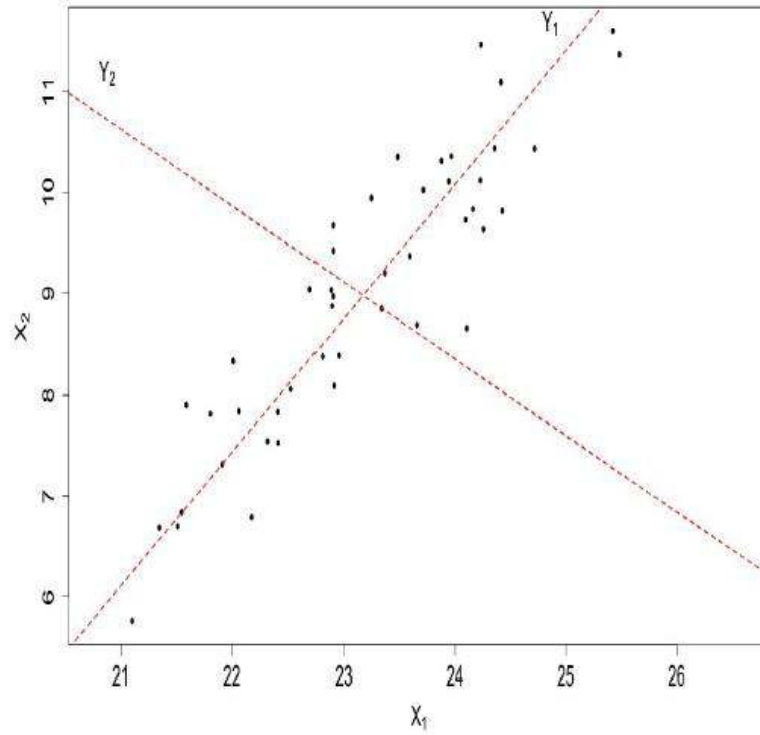


Figura 2.4 Gráfico de dispersão das variáveis X_1 e X_2 (Fonte: Varella, 2008)

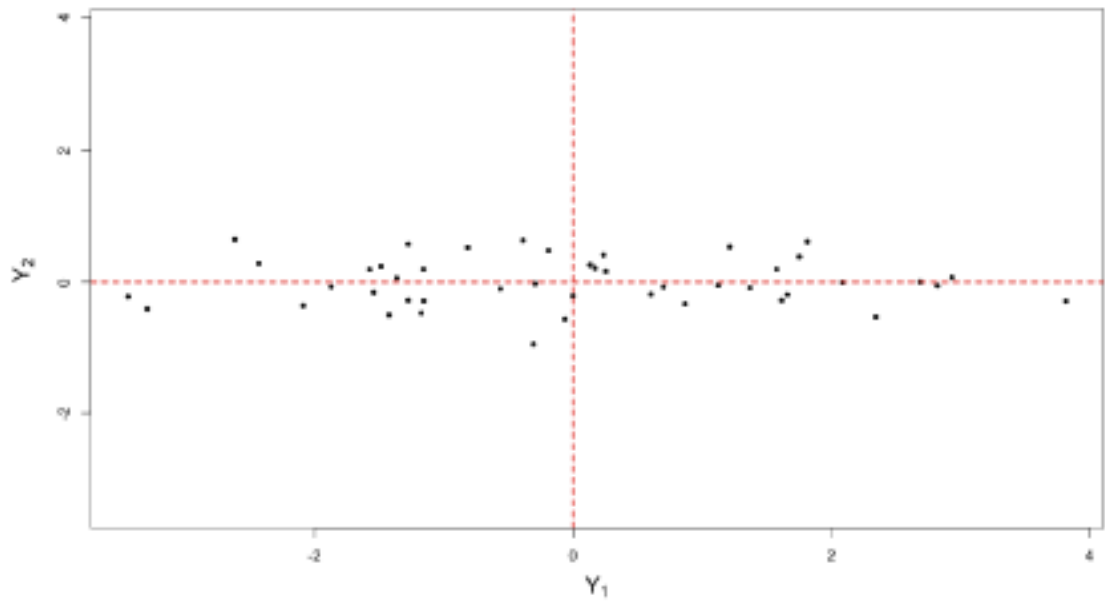


Figura 2.5 Gráfico de dispersão das componentes principais Y_1 e Y_2 (Fonte: Varella, 2008)

2.9 Considerações sobre a revisão de literatura

A revisão de literatura mostra que uma análise levando em conta múltiplos critérios pode trazer uma compreensão mais ampla sobre a situação da sustentabilidade em aeroportos. O sistema de avaliação de Kilkis & Kilkis (2015) mostra-se uma ferramenta interessante para realizar uma análise comparativa entre aeroportos distintos, levantando uma ampla gama de indicadores que tratam de áreas diferentes de sustentabilidade e estão comumente presentes em relatórios de sustentabilidade. Apesar disso, a questão da disponibilidade de dados se mostra uma lacuna, pois muitos aeroportos não fornecem relatórios de sustentabilidade ou não seguem um padrão quando desenvolvem esse tipo de relatório. Dessa forma, comparar aeroportos que seguem o padrão GRI é uma alternativa para obter uma quantidade de dados significativa nas diversas áreas de gestão ambiental de um aeroporto. Verificou-se, também, que há uma produção acadêmica na área no Brasil, mas há potencial para um benchmarking incluindo aeroportos brasileiros ou mesmo entre aeroportos brasileiros. Finalmente, o estudo do método de análise por componentes principais mostrou-se uma ferramenta que pode ser de grande utilidade em uma análise comparativa com grande quantidade de dados, dado que permite a simplificação das relações entre variáveis. Dessa forma, a aplicação de uma análise por componentes principais junto com o uso da metodologia proposta por Kilkis & Kilkis (2015) pode fornecer uma visualização melhor das relações entre aeroportos em relação a indicadores de diferentes dimensões.

3 Metodologia

Com base na revisão bibliográfica, pode-se concluir que uma análise multicritérios englobando diversos aeroportos fornece um panorama mais amplo de quais direções podem fazer sentido quando se trata de tornar os aeroportos mais “verdes”. Além disso, a intenção de incluir um aeroporto brasileiro nessa análise é apresentar informações sobre medidas que podem ser tomadas para o cenário do País. Assim, este trabalho consiste no benchmarking de diversos aeroportos com base no índice de sustentabilidade proposto por Kilis & Kilis (2015), incluindo o aeroporto brasileiro de Viracopos e aeroportos de outros países com dimensões semelhantes em termos de volume anual de passageiros. A metodologia para a realização desse benchmarking pode ser resumida nos seguintes passos:

3.2 Coleta de dados

A etapa de coleta de dados baseou-se nos relatórios de sustentabilidade publicados pelos operadores dos aeroportos. Em alguns casos, dados extras precisaram ser coletados dos relatórios anuais dos mesmos. Durante essa fase, verificou-se a baixa disponibilidade dos dados necessários para o cálculo dos indicadores da dimensão 5 (Atmosfera e Transporte de Baixa Emissão), então essa dimensão foi desconsiderada para a etapa seguinte. Além disso, verificou-se que o aeroporto de Tallin ainda estava iniciando a fase de mapeamento das suas emissões de CO2 e não incluiu o valor das mesmas no seu relatório, e, portanto, foi removido da lista de aeroportos descrita na seção 3.1.

Nessa etapa de coleta de dados, uma das considerações feitas que merece nota é em relação à receita anual. Para efeitos de comparação, os valores coletados devem estar na mesma moeda, e a moeda adotada foram reais. Assim, os valores de câmbio para as demais moedas encontram-se na Tabela 3.1. Os valores apresentados na referida tabela foram coletados a partir da cotação aproximada no momento da pesquisa.

Tabela 3.1 - Câmbio entre moedas

Moeda	Valor em Reais
Dólar (US\$)	3,16
Euro (€)	3,70
Dólar Neozelandês (NZ\$)	2,24

3.3 Cálculo dos indicadores

Para o cálculo de cada indicador, os dados obtidos na etapa anterior são normalizados de 0 a 1 entre os diferentes aeroportos de análise. A normalização se dá de forma que o valor 1 corresponde ao aeroporto mais sustentável naquele indicador e, conseqüentemente, o valor zero corresponde ao aeroporto menos sustentável. Para a normalização e a obtenção do valor em cada aeroporto, são utilizadas as equações 3.1 e 3.2, nas quais A_z é o aeroporto em questão, $I_{x,y}$ é o valor normalizado do indicador x da dimensão y e $i_{x,y}$ é o valor

$$I_{x,y}(A_z) = \frac{i_{x,y}(A_z) - \min(i_{x,y})}{\max(i_{x,y}) - \min(i_{x,y})} \quad (3.1)$$

$$I_{x,y}(A_z) = \frac{i_{x,y}(A_z) - \max(i_{x,y})}{\min(i_{x,y}) - \max(i_{x,y})} \quad (3.2)$$

Na Tabela 3.2 está indicada qual das duas equações é utilizada para cada indicador.

Tabela 3.2 - Equações utilizadas para cada indicador

Dimensão	Indicador	Equação utilizada
D1 – Serviços aeroportuários e qualidade	$I_{1,1}$ – Tráfego anual de passageiros	3.1
	$I_{1,2}$ – Crescimento anual do tráfego de passageiros	3.1
	$I_{1,3}$ – Transporte Anual de Cargas	3.1
	$I_{1,4}$ – Receita Anual	3.1
	$I_{1,5}$ – Total de funcionários	3.1
D2 – Geração e Consumo de energia	$I_{2,1}$ – Consumo de energia	3.2
	$I_{2,2}$ – Consumo de energia por passageiro	3.2
	$I_{2,3}$ – Certificação ISO 50001	3.1
	$I_{2,4}$ – Medidas de economia de energia	3.1
	$I_{2,5}$ – Produção Local de energia	3.1
D3 – Emissões e mitigação de CO2	$I_{3,1}$ – Emissões de CO2 (escopos 1 e 2)	3.2
	$I_{3,2}$ – Emissões de CO2 por passageiro	3.2
	$I_{3,3}$ – Emissões de CO2 por unidade de energia	3.2
	$I_{3,4}$ – Nível de acreditação de carbono	3.1
	$I_{3,5}$ – Neutralidade de emissões	3.1
D4 – Gerenciamento ambiental e Biodiversidade	$I_{4,1}$ – Consumo de água	3,2
	$I_{4,2}$ – Certificação ISO 14001	3.1
	$I_{4,3}$ – Geração de Lixo	3.2
	$I_{4,4}$ – Porcentagem de lixo reciclado	3.1
	$I_{4,5}$ – Área de preservação de biodiversidade	3.1

A seguir, também é calculado, para cada aeroporto, um índice agregado de todos os indicadores conforme a equação 3.3.

$$I(A_z) = \sum_{x=1}^4 \alpha_x \sum_{y=1}^5 I_{x,y}(A_z) \quad (3.3)$$

Em que: $\sum_1^5 \alpha_x = 1$, sendo α_x o peso de cada dimensão no resultado total. Neste trabalho será considerado um peso igual a 0,25 para todas as dimensões. Além disso, cabe

destacar que esse método de cálculo considera o peso de cada indicador dentro de uma dimensão igual a 1.

Para verificar o desempenho de cada aeroporto A_z em uma dimensão específica i , também o calculado o índice dele na dimensão correspondente, conforme a equação 3.4.

$$I(A_z)_i = \sum_{y=1}^5 I_{i,y}(A_z) \quad (3.4)$$

3.4 Aplicação do Método das Componentes Principais

Apesar da seção anterior fornecer um índice global de sustentabilidade para cada aeroporto, permitindo ranqueá-los, utilizou-se também o método das componentes principais para fornecer uma análise mais completa dos dados. Com o uso desse método foi possível complementar o benchmarking entre os aeroportos, entendendo em que dimensões ou aspectos das mesmas eles se assemelham.

Os dados utilizados na análise foram os indicadores calculados conforme método da seção 3.3, com exceção do índice global. A aplicação do método das componentes principais foi feita com uso da linguagem R, utilizando-se a função `prcomp` a partir da matriz de correlações amostral.

4 Resultados e discussões

Os dados coletados e o cálculo dos indicadores correspondentes são apresentados nas seções 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, sendo uma seção para cada indicador, enquanto a seção 4.5 é correspondente aos resultados obtidos a partir da análise de componentes principais.

4.1 Resultados da Dimensão 1: Serviços aeroportuários e qualidade

Os dados coletados para cada aeroporto encontram-se na tabela 4.1, enquanto os indicadores calculados encontram-se na tabela 4.2. A tabela 4.1 apresenta os dados coletados para os indicadores, representados nas colunas, para cada um dos aeroportos, representados nas linhas. As unidades, quando necessárias, encontram-se no título das colunas. Já a tabela 4.2 apresenta o valor dos indicadores já normalizados conforme a tabela 3.2. Isto é, em cada indicador (coluna) o aeroporto que apresenta índice 1 é aquele com melhor desempenho no critério correspondente (mais sustentável) e o aeroporto com índice 0 é aquele com pior desempenho (menos sustentável).

Tabela 4.1 - Dados obtidos na dimensão 1 (Serviços aeroportuários e qualidade)

Aeroportos	Tráfego anual de passageiros	Crescimento anual do tráfego de passageiros	Carga transportada anual (ton)	Receita anual (milhões de R\$)	Total de funcionários
Malta	5080071	10,0%	15697,0	270,3	303
Christchurch	6524255	3,9%	29496,2	387,1	6000
Bologna	6580481	6,2%	41789,7	284,5	390
Viracopos	9325252	-9,7%	169324,0	514,0	1134
Austin	12436849	4,5%	79378,6	429,0	415

Tabela 4.2 - Indicadores da dimensão 1 (Serviços aeroportuários e qualidade)

Aeroportos	Tráfego anual de passageiros	Crescimento anual do tráfego de passageiros	Carga transportada anual	Receita anual	Total de funcionários
Malta	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Christchurch	0,196	0,690	0,090	0,479	1,000
Bologna	0,204	0,807	0,170	0,058	0,015
Viracopos	0,577	0,000	1,000	1,000	0,146
Austin	1,000	0,722	0,415	0,651	0,020

Algumas observações podem ser feitas a partir dos dados das tabelas 4.1 e 4.2 em particular. Na tabela 4.2 é possível ver que o aeroporto de Malta, por exemplo, obteve índice zero para todos os critérios exceto o crescimento anual de tráfego de passageiros. Esse resultado mostra que, apesar do aeroporto ter dimensões menores hoje, ele pode superar os demais em pouco tempo nesse aspecto. Já observando o caso de Viracopos na tabela 4.2, nota-se que o mesmo obteve índice 1 nos indicadores de Carga transportada anual e receita anual, mas se destacou negativamente por ter sido o único a ter uma redução no tráfego de passageiros. Pela tabela 4.2, observa-se que Austin, Bologna e Malta também podem aumentar seu impacto local a partir do aumento do seu quadro de funcionários.

4.2 Resultados da Dimensão 2: Geração e Consumo de energia

Os dados coletados para cada aeroporto no que diz respeito à dimensão “Geração e Consumo de energia” encontram-se na tabela 4.3, enquanto os indicadores normalizados entre 0 e 1 encontram-se na tabela 4.4. A leitura das tabelas é feita da mesma forma que nas tabelas 4.1 e 4.2. Nota-se, porém, que no critério da certificação ISO 50001 mais de um aeroporto tem valor “0” na tabela 4.4. Isso acontece porque o indicador é binário, então mais de um aeroporto apresenta o mesmo valor na tabela 4.3. O mesmo ocorre nos itens de medidas de economia de energia e produção de energia no aeroporto, em que mais de um aeroporto apresenta indicadores com valor “1” na tabela 4.4.

Tabela 4.3 - Dados obtidos na dimensão 2 (Geração e Consumo de energia)

Aeroportos	Consumo de energia (toe)	Consumo de energia por passageiro (toe/pax)	ISO 50001	Medidas de economia de energia	Produção de energia no Aeroporto
Malta	1167,6	0,00023	0	1	2
Christchurch	1279,7	0,00020	0	2	0
Bologna	1174,7	0,00018	1	0	3
Viracopos	3687,3	0,00040	0	2	2
Austin	2543,2	0,00020	0	2	3

Tabela 4.4 - Indicadores da dimensão 2 (Geração e Consumo de energia)

Aeroportos	Consumo de energia	Consumo de energia por passageiro	ISO 50001	Medidas de economia de energia	Produção de energia no Aeroporto
Malta	1,000	0,763	0,000	0,500	0,667
Christchurch	0,956	0,919	0,000	1,000	0,000
Bologna	0,997	1,000	1,000	0,000	1,000
Viracopos	0,000	0,000	0,000	1,000	0,667
Austin	0,454	0,880	0,000	1,000	1,000

Um dos destaques dos resultados da tabela 4.4 foi o desempenho do aeroporto de Bologna, que obteve o índice 1 em todos os indicadores, exceto no indicador de medidas de economia de energia, que é um ponto em que o aeroporto pode investir se deseja melhorar o desempenho energético. O aeroporto de Bologna também se destaca por ser o único que obteve a certificação ISO 50001, como pode ser visto na tabela 4.3. Na tabela 4.4 pode-se ver que Viracopos teve um destaque negativo por obter índice zero nos indicadores de consumo de energia, consumo de energia por passageiro e por não ter a certificação ISO 50001. Apesar disso, obteve índice máximo na categoria de medidas de economia de energia, o que pode indicar que os dois primeiros indicadores podem melhorar com o tempo. Na tabela 4.4 vê-se que o aeroporto de Christchurch obteve pontuação próxima ou igual a 1 em três aspectos, mas não possui a certificação e não tem nenhuma iniciativa de produção de energia no aeroporto, conforme indica a tabela 3.3. Investir na certificação e em medidas de produção de energia, portanto, podem ser pontos de investimento para o aeroporto melhorar seu desempenho na dimensão 2.

4.3 Resultados da Dimensão 3: Emissões e Mitigação de CO2

Os dados coletados para cada aeroporto encontram-se na tabela 4.5, enquanto os indicadores normalizados encontram-se na tabela 4.6. A leitura das tabelas é feita da mesma forma que nas tabelas anteriores da seção 4.

Tabela 4.5 - Dados obtidos na dimensão 3 (Emissões e Mitigação de CO2)

Aeroportos	Emissões de CO2 (ton)	Emissão de CO2 por passageiro (ton/pax)	Emissões de CO2 por unidade de energia (ton/toe)	Nível de Acreditação de carbono	Neutralidade de CO2
Malta	9430,0	0,00186	8,076	1	0
Christchurch	3314,3	0,00051	2,590	2	0
Bologna	6863,8	0,00104	5,843	2	0
Viracopos	7547,8	0,00081	2,047	2	0
Austin	3079,0	0,00025	1,211	2	0

Tabela 4.6 - Indicadores da dimensão 3 (Emissões e Mitigação de CO2)

Aeroportos	Emissões de CO2	Emissão de CO2 por passageiro	Emissões de CO2 por unidade de energia	Nível de Acreditação de carbono	Neutralidade de CO2
Malta	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Christchurch	0,963	0,838	0,799	1,000	0,000
Bologna	0,404	0,506	0,325	1,000	0,000
Viracopos	0,296	0,651	0,878	1,000	0,000
Austin	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000

Um dos destaques dos resultados da dimensão 3 é o fato de nenhum aeroporto estudado ter alcançado o nível de neutralidade de CO2, conforme pode-se ver na tabela 4.5. Esse resultado não é totalmente inesperado pois poucos aeroportos no mundo alcançaram esse patamar. Analisando os outros critérios da tabela 4.6, observa-se que Malta teve o pior desempenho em todos. As emissões de gás carbônico no aeroporto são elevadas e, observando os resultados das dimensões 1 e 2, o aeroporto apresenta o menor número de passageiros anual e o menor consumo de energia, o que colaborou para que as taxas de emissão por passageiro e por unidade de energia sejam as maiores, conforme indica a tabela 4.5. Entretanto, pode-se ver na tabela 4.5 que o aeroporto é o único da lista a ainda estar na fase de mapeamento de emissões. O início da fase de mitigação deve promover uma melhoria das suas taxas.

No lado oposto, o aeroporto de Austin se destacou por obter índices máximos em todos os critérios com exceção do indicador de neutralidade, conforme tabela 4.5. A tabela 4.6 mostra que seu volume de emissões só está próximo daquele do aeroporto de Christchurch, enquanto os outros índices de emissões por passageiro e emissão por unidade de energia estão bem abaixo dos indicadores correspondentes dos outros aeroportos. Há uma relação entre a questão

energética e a questão de emissões de CO₂, e na tabela 4.3 pode-se ver que o aeroporto de Austin apresenta medidas de economia e de produção de energia, iniciativas que podem ter influência nos resultados da presente seção.

4.4 Resultados da Dimensão 4: Gerenciamento Ambiental e Biodiversidade

Os dados coletados para cada aeroporto encontram-se na tabela 4.7, enquanto os indicadores calculados encontram-se na tabela 4.8.

Tabela 4.7 - Dados obtidos na dimensão 4 (Gerenciamento Ambiental e Biodiversidade)

Aeroportos	Consumo de água (m ³)	Certificação ISO 14001	Geração de lixo (ton)	Porcentagem de lixo reciclado (%)	Área de preservação de biodiversidade (hec)
Malta	133962,0	0	766,6	10,33	0,0
Christchurch	67721,8	0	7217,5	44,30	14,8
Bologna	110175,0	1	167,9	21,50	0,0
Viracopos	235344,0	0	3932,6	44,00	23,0
Austin	24182,4	0	2784,0	24,64	0,0

Tabela 4.8 - Indicadores da dimensão 4 (Gerenciamento Ambiental e Biodiversidade)

Aeroportos	Consumo de água	Certificação ISO 14001	Geração de lixo	Porcentagem de lixo reciclado	Área de preservação de biodiversidade
Malta	0,480	0,000	0,915	0,000	0,000
Christchurch	0,794	0,000	0,000	1,000	0,641
Bologna	0,593	1,000	1,000	0,329	0,000
Viracopos	0,000	0,000	0,466	0,991	1,000
Austin	1,000	0,000	0,629	0,421	0,000

Na última dimensão, aeroporto de Bologna se destaca novamente por ser o único a possuir a certificação ISO 14001, conforme tabela 4.7. A mesma tabela mostra que os aeroportos de Christchurch e Viracopos são os únicos a possuírem áreas de preservação de biodiversidade, o que pode ter relação com a localização geográfica dos mesmos. Um ponto em que Viracopos se destaca negativamente é na questão do consumo de água, bem maior que a dos demais, conforme mostra a tabela 4.7. O aeroporto pode investir em melhorias nesse aspecto e na diminuição de geração de lixo.

4.5 Ranking geral de sustentabilidade

Com base nos indicadores calculados em cada dimensão, foi calculado o desempenho de cada aeroporto conforme a equação 3.4 e o ranking geral de sustentabilidade conforme equação 3.3. Também foi calculado o valor médio de desempenho em cada dimensão para os aeroportos considerados. Os valores obtidos encontram-se na tabela 4.9. As colunas da tabela representam o desempenho dos aeroportos em cada dimensão e no total (Índice Global), enquanto os aeroportos estão representados nas linhas. A última linha corresponde à média dos aeroportos em cada dimensão e no índice global. Os valores em negrito representam valores que estão acima da média da coluna correspondente. Os aeroportos estão ordenados em ordem crescente do valor dos seus índices globais.

Tabela 4.9 - Índices globais de sustentabilidade para cada aeroporto

Aeroporto	D1	D2	D3	D4	Índice Global
Malta	1,000	2,930	0,000	1,395	1,065
Viracopos	2,723	1,667	2,825	2,457	1,934
Bologna	1,254	3,997	2,235	2,922	2,082
Christchurch	2,456	2,874	3,600	2,435	2,273
Austin	2,808	3,334	4,000	2,050	2,438
Média	2,048	2,960	2,532	2,252	1,958

Dado que o valor máximo para o índice global é 4, todos os aeroportos de estudo ainda têm a melhorar. O aeroporto com pior desempenho foi o de Malta, e pode-se perceber pela análise realizada que ele ainda é um aeroporto de dimensões menores iniciando suas iniciativas de sustentabilidade. Viracopos apareceu como penúltimo colocado, o que mostra que ainda há espaço para melhorias. O índice global do aeroporto (1,93) está abaixo da média (1,96). A única dimensão em que o aeroporto tem desempenho menor que a média é a dimensão 2, o que indica que a área de energia pode ser um foco de melhoria. Já Austin, o aeroporto com maior volume de passageiros, também é o aeroporto com melhor desempenho global entre os selecionados.

Em relação ao índice global de sustentabilidade, pode-se fazer uma análise de sensibilidade variando a participação da dimensão 1 (Serviços Aeroportuários e Qualidade) no índice geral, devido às outras dimensões estarem mais relacionadas à questão ambiental. A tabela 4.10 mostra o resultado dessa análise considerando o peso 0,1 para a dimensão 1 e 0,3 para cada uma das demais dimensões. A última linha refere-se à nova média de índices. Além disso, a tabela 4.10 apresenta uma coluna com índice global com pesos iguais para cada dimensão, com os valores representados na tabela 4.9.

Tabela 4.10 - Índices Globais de Sustentabilidade para cada aeroporto antes e após variação de pesos para cada dimensão

Aeroporto	Índice Global	Índice Global com pesos iguais
Malta	1,398	1,065
Viracopos	2,357	1,934
Bologna	2,872	2,082
Christchurch	2,918	2,273
Austin	3,096	2,438
Média	2,528	1,958

Pela tabela 4.10 verifica-se que ordem da classificação dos aeroportos não muda. Entretanto, o índice de todos os aeroportos aumentou e, com isso, a média também.

4.6 Análise de Componentes Principais

A análise de indicadores realizada nas seções 4.1 a 4.5 fornecem algumas informações sobre o desempenho dos aeroportos e possíveis pontos a melhorar quanto às questões que envolvem sustentabilidade e meio-ambiente. O objetivo desta seção é realizar a análise de componentes principais para visualizar as semelhanças entre aeroportos de estudo de forma gráfica e entre diferentes dimensões.

Na análise de componentes principais, os dados de entrada foram os indicadores coletados nas quatro dimensões, ou seja, o indicador global não fez parte da análise. A partir dos dados de entrada, a matriz de correlações encontrada está representada na figura 4.1.

$$R = \begin{bmatrix} 1,000 & 0,064 & 0,536 & -0,371 & 0,268 \\ 0,064 & 1,000 & -0,155 & 0,143 & 0,362 \\ 0,536 & -0,155 & 1,000 & -0,434 & 0,147 \\ -0,371 & 0,143 & -0,434 & 1,000 & 0,279 \\ 0,268 & 0,362 & 0,147 & 0,279 & 1,000 \end{bmatrix}$$

Figura 4.1 – Matriz de Correlações Amostral

A seguir, é calculada a matriz com os componentes principais. A figura 4.2 mostra a variância de cada componente principal. A partir da análise dela, pode-se perceber que os dois

primeiros componentes representam a maior parte da variância. Assim, a análise será feita com base nos dois primeiros componentes principais.

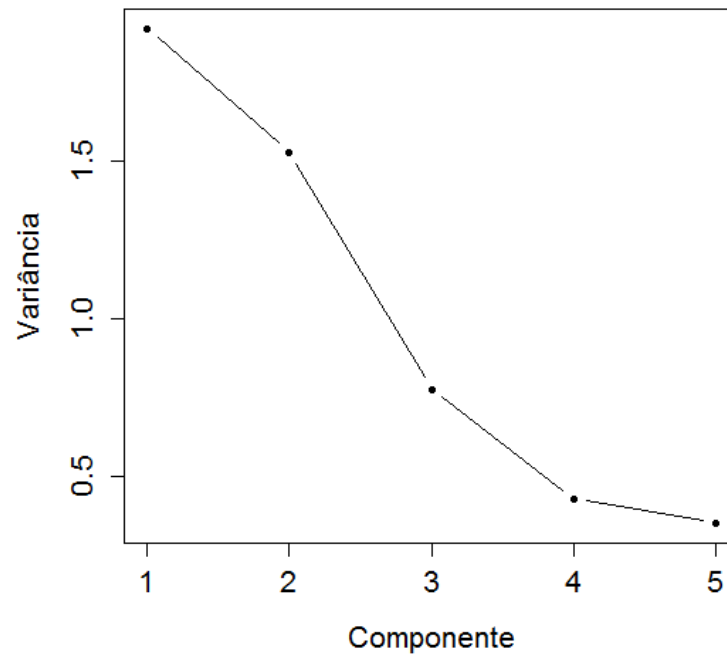


Figura 4.2 - Análise das variâncias de cada componente principal

O resultado obtido a partir da análise com os dois primeiros componentes principais está representado na figura 4.3. Na representação os indicadores são representados com a nomenclatura “DxIy”, onde x é a dimensão e y o indicador dentro da dimensão x.

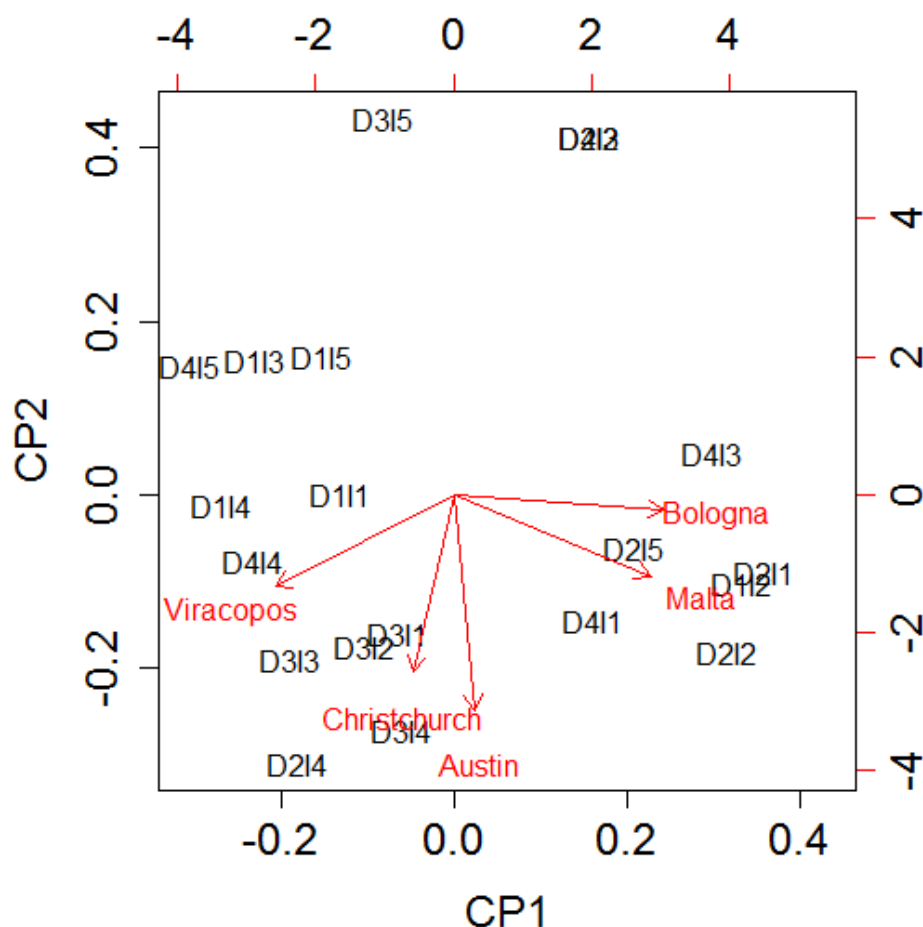


Figura 4.3 - Representação dos resultados dos indicadores para os aeroportos

A análise mostra a proximidade dos aeroportos de Bologna e Malta em relação aos indicadores Crescimento Anual de tráfego de passageiros (D1I2), Consumo de energia (D2I1), Consumo de energia por passageiro (D2I2) e Produção de energia no aeroporto (D2I5). Observa-se que os únicos indicadores da dimensão 2 que não aproximam Bologna de Malta são os indicadores D2I3, que é a certificação ISO 50001, que só o aeroporto de Bologna possui, e D2I4, que aproxima mais os aeroportos de Christchurch, Austin e Viracopos. Os aeroportos de Malta e Bologna também estão próximos pelos indicadores relativos a geração de lixo (D4I3) e consumo de água (D4I1).

Já alguns destaques positivos de Viracopos em relação aos demais, que estão apresentados na figura 4.3, são a área de preservação de biodiversidade (D4I5), a carga transportada anual (D1I3) e a receita anual (D1I4). Já com o aeroporto de Christchurch, há semelhanças na emissão de CO₂ por unidade de energia (D3I3). O aeroporto de Christchurch aproxima-se mais de Austin nos pontos de emissão total de CO₂ (D3I1) e emissão de CO₂ por passageiro (D3I2). Esses são benchmarkings bons para Christchurch, pois nesses pontos Austin apresenta o melhor

desempenho do grupo de aeroportos. O indicador de medidas de economia de energia (D2I4) aproxima os aeroportos de Viracopos, Christchurch e Austin.

5 Conclusão

O estudo mostrou que a análise comparativa de múltiplos aspectos de sustentabilidade entre aeroportos pode trazer algumas intuições sobre o caminho que esses aeroportos devem seguir se desejam se tornar mais verdes. O uso de múltiplos critérios permite uma análise mais rica, dado que quando se fala de sustentabilidade é difícil isolar os problemas. É difícil falar de produção de energia, por exemplo, sem tratar do tópico de emissões de CO₂. Uma abordagem holística permite a realização de conclusões que talvez não fossem feitas se só houvesse a análise de um aspecto. A análise de múltiplos aeroportos enriquece a análise por permitir uma comparação, dado que não há parâmetros objetivos do que é um aeroporto sustentável e é importante definir formas de medir eficiência. A análise por componentes principais, por sua vez, permite uma visualização melhor dos dados, o que pode ser ainda mais valioso em casos em que o número de aeroportos ou de indicadores é maior.

Entretanto, há alguns pontos da metodologia adotada que merecem cuidado e podem ser revistos em trabalhos futuros. Um deles é, no cálculo das emissões de CO₂, a inclusão do ciclo LTO, que apresenta uma participação significativa dessas emissões. Além disso, tendo o objetivo de comparar plantas aeroportuárias distintas, pode ser mais relevante comparar indicadores relativos do que absolutos, já que dessa forma a dimensão absoluta dos aeroportos torna-se um fator menos relevante. Um outro ponto é que a dimensão 1 adota indicadores que estão relacionados com a conjuntura econômica das localidades do aeroporto. Assim, para desconsiderar o efeito dessa conjuntura, pode-se adotar fatores mais relacionados ao nível de serviço do aeroporto na dimensão 1. Um outro indicador que pode ter uma relação forte com a conjuntura nacional é o da área de proteção de biodiversidade, pois há questões de regulações locais que influenciam nesse ponto.

Quanto aos aeroportos estudados, foi possível ampliar o panorama sobre a questão da sustentabilidade em cada um. O aeroporto de Malta apresenta os menores índices no geral, mas também apresenta o maior crescimento. Um ponto de melhoria no caso deste aeroporto é são as emissões de CO₂, que mesmo em números absolutos se mostraram elevadas em comparação com os demais aeroportos. Com o crescimento e mais recursos, o aeroporto pode expandir o escopo das suas iniciativas voltadas a sustentabilidade. O Aeroporto de Viracopos passou por uma diminuição de número de passageiros anuais no período estudado, e pode investir em diminuir seu consumo de água e energia. O aeroporto de Christchurch pode investir na produção de energia no local, ponto em que não tem nenhuma iniciativa. A análise do aeroporto de Bologna mostrou que o mesmo se destaca por ser o único a possuir as certificações ISO, porém

pode desenvolver suas medidas de economia de energia. O aeroporto de Austin pode investir nas certificações ISO 14001 e ISO 50001. Entretanto, essas são as medidas sugeridas apenas pela análise comparativa, de forma que análises mais profundas podem ser necessárias, além da possibilidade de modificação e ampliação do grupo de aeroportos estudados.

Para expandir a compreensão sobre o tema, as possibilidades de pesquisas futuras são diversas. Acredita-se na replicação do método proposto para analisar outros aeroportos ou levantar indicadores diferentes. A questão da gestão de recursos hídricos pode ganhar uma dimensão própria, por exemplo. Os indicadores da dimensão 5 (poluição por material particulado, medidas de redução de ruído, uso de veículos de baixa emissão, acesso ao aeroporto por transporte público e uso de biocombustíveis na aviação) também apresentam relevância e podem ser considerados em pesquisas futuras. Para isso, porém, é necessário o alinhamento com as informações disponibilizadas pelos aeroportos. Nesse ponto, vale destacar que uma pesquisa do tipo englobando apenas aeroportos brasileiros pode trazer informações interessantes sobre o panorama nacional, pois há iniciativas de sustentabilidade em aeroportos locais, mas há a dificuldade de obtenção de dados padronizados.

6 Referências

- ACRP. **Sustainable Airport Construction Practices**. Washington: ACRP, 2011, 220 p. (ACRP PROJECT 08-01)
- AEROPORTOS BRASIL VIRACOPOS. **Relatório De Sustentabilidade 2016**. Relatório de Sustentabilidade. Campinas: Aeroportos Brasil Viracopos, 2017.
- AEROPORTO GUGLIELMO MARCONI DI BOLOGNA S.P.A. **Bilancio di Sostenibilità 2014**. Relatório de Sustentabilidade. Bologna: Aeroporto Guglielmo Marconi Di Bologna S.P.A, 2015.
- AUSTIN-BERGSTROM INTERNATIONAL AIRPORT. **2017 Aviation Sustainability Report**. Relatório de Sustentabilidade. Austin: Austin-Bergstrom International Airport, 2017.
- CARVALHO, I., CALIJURI, M., ASSEMANY, P., SILVA, M., et al. Sustainable airport environments: a review of water conservation practices in airports. **Resources, Conservation and Recycling**, 74, p. 27-36, 2013.
- CENTRAL EUROPEAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY (CEIT), 2009. **Airports and climate preservation**. Disponível em: <http://www.bmvit.gv.at/innovation/mobilitaet/downloads/airclip_final_report.pdf>. Acesso em 03 Jul. 2017.
- CHAO C.; LIRN, T.; LIN, H. Indicators and evaluation model for analyzing environmental protection performance of airports. **Journal of Air Transport Management**, 63, p. 61-70, Ago. 2017.
- CHRISTCHURCH AIRPORT. **Interim Report - For the six months to 31 December 2016**. Relatório Parcial. Christchurch: Christchurch Airport, 2017.
- CHRISTCHURCH AIRPORT. **Championing The Greatest Place on Earth – Sustainability Report FY17**. Relatório de Sustentabilidade. Christchurch: Christchurch Airport, 2017.
- CHRISTCHURCH AIRPORT. **Market Report – May 2017**. Christchurch, 2017. Disponível em: <<http://www.christchurchairport.co.nz/media/872362/17-chc-0177-market-results-may-2017-01.pdf>>. Acesso em: 01 Set. 2017
- COMISSÃO BRUNDTLAND. **Nosso Futuro Comum**. Relatório. Nova York: World Commission on Environment and Development, 1987.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Annual Analyses of the EU Air Transport Market 2012**. Executive summary. Croydon: Comissão Europeia, 2013.
- COUTO, E.; CALIJURI, M.; ASSEMANY, P.; SANTIAGO, A.; LOPES, L. Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 372-379, ago. 2014.
- DOAN, D.T.; GHAFFARIANHOSEINI, A.; NAISMITH, N.; ZHANG, T.;

GHAFFARIANHOSEINI, A.; TOOKEY, J. A critical comparison of green building rating systems. **Building and Environment**, 123, p. 243-260, jul. 2017.

FERRULLI, P. Green Airport Design Evaluation (GrADE) – methods and tools improving infrastructure planning. **Transportation Research Procedia**, 14, 3781 – 3790, 2016.

FOWLER, K.M.; RAUCH, E.M. **Sustainable Building Rating Systems Summary**. Pacific Northwest National Laboratory, 55 p. (PNNL 15858).

GRAMPELLA, M.; MARTINI, G.; SCOTTI, D.; TASSAN, F.; ZAMBON, G. Determinants of airports' environmental effects. **Transportation Research Part D**, 50, p. 327-344, 2017.

ISO. **ISO 50001: Energy Management Systems**. Geneva, 2016. Disponível em: <https://www.iso.org/iso/iso_50001_energy_management_systems.pdf>. Acesso em: 01 Nov. 2017.

ISO. **Introduction to ISO 14001:2015**. Geneva, 2016. Disponível em: <https://www.iso.org/iso/introduction_to_iso_14001.pdf>. Acesso em: 01 Nov. 2017.

KILKIS, S.; KILKIS, S. Benchmarking airports based on a sustainability ranking index. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 248 – 259, set. 2015.

KOÇ, S.; DURMAZ, V. Airport Corporate Sustainability: An Analysis of Indicators Reported in the Sustainability Practices. **Procedia – Social and Behavioural Sciences**, 181, p. 158-170, mai. 2005.

MALTA INTERNATIONAL AIRPORT. **Annual Statistical Summary**. Sumário estatístico anual. Malta: Malta International Airport, 2017.

MALTA INTERNATIONAL AIRPORT. **Sustainability Report 2016**. Relatório de Sustentabilidade. Malta: Malta International Airport, 2017.

MCKINSEY & COMPANY. **Estudo do setor de transporte aéreo no Brasil**. Relatório Consolidado. Rio de Janeiro: McKinsey & Company, 2010.

MORUZZI, R.B., SOUSA JÚNIOR, W. C. de, ARDUINO, J., JULIO, M. De. Avaliação do aproveitamento de água pluvial para atendimento de uso não potável no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. **Engenharia Sanitária e Ambiental (Online)**, v. 21, p. 17-28, 2016.

NETO, R., CARVALHO, I., CALIJURI, M. Rainwater use in airports: a case study in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 68, p. 36 – 43, nov. 2012.

NUNES, L.M.; ZHU, Y.G.; STIGTER, T.Y.; MONTEIRO, J.P.; TEIXEIRA, M.R.; Environmental impacts on soil and groundwater at airports: origin, contaminants of concern and environmental risks. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 13, n. 11, p. 3026 – 3039, nov. 2011.

OTO, N.; COBANOGLUB, N.; GERAYC, C. Education for Sustainable Airports. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 47, p. 1164-1173, 2012.

PITT, M.; BROWN, A.; SMITH, A. 2003. Waste management efficiency at UK airports. **Journal of Air Transport Management**, v. 9, n. 2, p. 103-111, mar. 2003.

PITT, M.; SMITH, A. Waste management efficiency at UK airports. **Journal of Air Transport Management**, v. 9, n. 2, p. 103-111, mar. 2003.

PIZZATO, M.R.; MASSIERO, P. A.; ABRAÃO Jr., F. In SOUSA JUNIOR, W.C.; RIBEIRO, E.N. Uso eficiente de água em aeroportos. 1. ed. São Carlos, SP: Editora Rima, 2011. v. 1., Capítulo 13.

REED, R.; BILOS, A.; WILKINSON, S.; SCHULTE, K. W. International comparison of sustainable rating tools. **Journal of sustainable real estate**, v. 1, n. 1, p. 1-22, 2009

REMIS, J. E.; SANTOS, E. A. The impact of thermal comfort in the perceived level of service and energy costs of three Brazilian airports. **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 2, p. 192-206, abr. 2013.

RIBEIRO, E. N.; DE SOUSA JUNIOR, W. C.; DE JULIO, M.; IRRAZABAL, W. U.; NOLASCO, M. A. Airports and environment: proposal of wastewater reclamation at São Paulo International Airport. **Clean (Weinheim. Print)**, v. 1, p. n/a-n/a, 2013.

ROBICHAUD, L.B.; ANANTATMULA, V.S. Greening Project Management Practices for Sustainable Construction. **Journal of Management in Engineering**, v. 27, p. 48-57, 2011

SOLOMON, D.; HUGHEY, K.A. A proposed multi criteria analysis decision support tool for international environmental policy issues: a pilot application to emissions control in the international aviation sector. **Environmental Science & Policy**, v. 10, n. 7-8, p. 645-653, nov-dez 2007.

TALLIN AIRPORT. **Annual Report 2016**. Relatório Anual. Tallin: Tallin Airport, 2017.

THOMAS, C., 2013. Aviation and its environmental impacts, Manchester Metropolitan University apud FERRULLI, P. Green Airport Design Evaluation (GrADE) – methods and tools improving infrastructure planning. **Transportation Research Procedia**, 14, 3781 – 3790, 2016.

UGUR, L. O.; LEBLEBICI, N. An examination of the LEED green building certification system in terms of construction costs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Jul. 2017.

UPHAM, P.J.; MILLS, J.N.. Environmental and operational sustainability of airports. **Benchmarking: An International Journal**, v. 12, n. 2, p. 166-179, 2005.

UPHAM, P.; THOMAS, C.; RAPER, D.; GILLINGWATER, D. Environmental capacity and airport operations: current issues and future prospects. **Journal of Air Transport Management**, v. 9, n. 3, p. 145-151, mai. 2003.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED: Better Buildings are our legacy.** 2017. Disponível em: < <https://new.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

VARELLA, C. A. A. **Análise de Componentes Principais.** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 12f.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 21 de novembro de 2017	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-100/2017	4. N° DE PÁGINAS 50
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Green airports – benchmarking entre aeroportos com uso de múltiplos critérios e análise de componentes principais.			
6. AUTOR(ES): Giuliana Warda Scola de Moraes			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Sustentabilidade 2. Aeroportos. 3. Benchmarking 4. Análise Multi-Critérios. 5. Análise por Componentes Principais.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Benchmarking; Aeroportos; Teoria multicritério da decisão; Desenvolvimento sustentável; Serviços; Transporte.			
10. APRESENTAÇÃO:		X Nacional	Internacional
ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientadora: Profa. Dra. Giovanna Ronzani Borille. Publicado em 2017.			
11. RESUMO: Sustentabilidade é um tema que vem sendo muito discutido nas últimas décadas, assim como o conceito relacionado de desenvolvimento sustentável. Paralelamente, muitos aeroportos vêm apresentando iniciativas com o objetivo de se tornarem mais “verdes”, o que traz o desafio de avaliar essas iniciativas de forma objetiva. Kilkis & Kilkis (2015) propõem uma metodologia de comparação de aeroportos quanto à sustentabilidade em diversas áreas, e essa metodologia serviu de base para o desenvolvimento deste Trabalho de Graduação. Foi realizado um benchmarking entre os aeroportos de Malta, Viracopos, Austin, Christchurch e Bologna, aeroportos semelhantes em termos de tráfego anual de passageiros e que disponibilizam relatórios de sustentabilidade seguindo o padrão GRI (Global Reporting Initiative). Foram utilizadas quatro dimensões de sustentabilidade, a saber: (i) Serviços aeroportuários e qualidade, (ii) Geração e Consumo de energia, (iii) Emissões e mitigação de CO2 e (iv) Gerenciamento ambiental e Biodiversidade, tendo cada uma das dimensões cinco indicadores. A aplicação da ferramenta comparativa foi enriquecida por uma posterior análise por componentes principais, permitindo a obtenção de relações entre aeroportos e entre indicadores de diferentes dimensões. As conclusões permitiram a observação de áreas que podem ser prioritárias para cada aeroporto em ações voltadas a sustentabilidade. Além disso, a metodologia adotada mostrou-se eficiente por permitir a comparação entre aeroportos diferentes com a consideração de diversos aspectos e a obtenção de sugestões práticas. Futuros trabalhos podem refinar ainda mais a metodologia em questão, incluindo novas dimensões e indicadores.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO			