

ブラジル国

ブラジル鉱物エネルギー省

ブラジル国

環境配慮型省エネ空調機普及促進事業 業務完了報告書

令和3年4月

(2021年)

独立行政法人

国際協力機構 (JICA)

ダイキン工業株式会社

民連
JR
21-015

＜本報告書の利用についての注意・免責事項＞

- ・ 本報告書の内容は、JICA が受託企業に作成を委託し、作成時点で入手した情報に基づくものであり、その後の社会情勢の変化、法律改正等によって本報告書の内容が変わる場合があります。また、掲載した情報・コメントは受託企業の判断によるものが含まれ、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではありません。本報告書を通じて提供される情報に基づいて何らかの行為をされる場合には、必ずご自身の責任で行ってください。
- ・ 利用者が本報告書を利用したことから生じる損害に関し、JICA 及び提案法人は、いかなる責任も負いかねます。

目次

略語表.....	ii
第1章 要約.....	1
1.1. 要約.....	1
1.1.1. 本事業の基本情報	1
1.1.2. 本事業の背景	1
1.1.3. 本事業の普及対象技術.....	1
1.1.4. 本事業の目的及び目標.....	2
1.1.5. 本事業の実施内容及び結果・成果.....	2
1.1.6. 現段階におけるビジネス展開見込み及びその判断根拠.....	2
1.1.7. ビジネス展開に向けた残課題と対応策・方針	3
1.1.8. 今後のビジネス展開に向けた計画.....	3
1.1.9. ODA 事業との連携可能性について	3
1.2. 事業概要図.....	4
第2章 本事業の背景.....	5
2.1. 本事業の背景	5
2.2. 普及対象とする技術、及び開発課題への貢献可能性.....	6
2.2.1. 普及対象とする技術の詳細.....	6
2.2.2. 開発課題への貢献可能性	7
第3章 本事業の概要.....	7
3.1. 本事業の目的及び目標	7
3.1.1. 本事業の目的.....	7
3.1.2. 本事業の達成目標（対象国・地域・都市の開発課題への貢献）	8
3.1.3. 本事業の達成目標（ビジネス面）	8
3.2. 本事業の実施内容.....	9
3.2.1. 実施スケジュール	9
3.2.2. 実施体制	10

3.2.3.	実施内容	11
第 4 章	本事業の実施結果	12
4.1.	省エネ機普及による電力需要抑制及び GHG 排出抑制効果試算	12
4.1.1.	活動概要	12
4.1.2.	活動結果 1：実証試験の分析	13
4.1.3.	活動結果 2：実証試験結果をもとにした普及効果の定量化	16
4.2.	性能評価基準 ISO16358-1 の導入	19
4.2.1.	活動結果の概要	19
4.2.2.	ISO16358-1 の導入に向けた課題の解決	19
4.3.	本邦受入活動	22
4.3.1.	活動結果の概要	22
4.3.2.	本邦受入活動の実施内容	23
4.4.	省エネ政策シナリオの策定	27
4.4.1.	活動結果の概要	27
4.4.2.	INMETRO ラベル制度の改正に向けた活動	29
4.4.3.	PROCEL シールの改定	29
4.5.	省エネ普及セミナーの実施	29
4.5.1.	実施概要	29
4.5.2.	実施内容	29
第 5 章	本事業の総括（実施結果に対する評価）	33
5.1.	本事業の成果（対象国・地域・都市への貢献）	33
5.2.	本事業の成果（ビジネス面）、及び残課題とその解決方針	34
5.2.1.	本事業の成果（ビジネス面）	35
5.2.2.	課題と解決方針	36
第 6 章	本事業実施後のビジネス展開の計画	37
6.1.	ビジネスの目的及び目標	37
6.1.1.	ビジネスを通じて期待される成果（対象国・地域・都市の社会・経済開発への貢献）	37
6.1.2.	ビジネスを通じて期待される成果（ビジネス面）	37

6.2.	ビジネス展開計画.....	37
6.2.1.	ビジネスの概要.....	37
6.2.2.	ビジネスのターゲット.....	37
6.2.3.	ビジネスの実施体制.....	37
6.2.4.	ビジネス展開のスケジュール.....	37
6.2.5.	投資計画及び資金計画.....	38
6.2.6.	競合の状況.....	38
6.2.7.	ビジネス展開上の課題と解決方針.....	38
6.3.	ODA 事業との連携可能性.....	38
6.3.1.	連携事業の必要性.....	38
6.3.2.	想定される事業スキーム.....	39
6.3.3.	連携事業の具体的内容.....	39
	添付資料.....	40

図表目次

図 1 : 事業概要図.....	4
図 2 : ブラジル地域別の気温出現時間分布.....	5
図 3 : ブラジル省エネラベルの比較.....	5
図 4 : 本事業の実施体制.....	10
図 5 : UFSC による実証試験の結果サマリー（消費電力量削減効果）.....	14
図 6 : フロリアのポリスの実証試験結果.....	15
図 7 : サンパウロの実証試験結果.....	15
図 8 : リオデジャネイロの実証試験結果.....	16
図 9 : 年間消費電力量の推計.....	17
図 10 : GHG 排出量（10 年間）の推計.....	18
図 11 : ライフサイクルコスト試算.....	19
図 12 : K-CEP プロジェクトでの気候分析.....	20
図 13 : INMETRO 政令 234 号.....	27
図 14 : INMETRO 新ラベル.....	27
図 15 : 政令 234 号 INMETRO 新省エネルギー基準概要.....	27
図 16 : PROCEL シール新基準概要.....	28
図 17 : ブラジルのエネルギーラベル制度概要.....	28

表 1：本事業の実施内容（概要）と達成目標	11
表 2：実証試験の実施概要	12
表 3：ISO16358 の気候帯と、ブラジルで採用された気候帯.....	20
表 4：試験方法・測定ポイント	21
表 5：現地報告会参加機関リスト	32

地図



出典：白地図専門店 <http://www.freemap.jp/>

略語表

略語	正式名称	日本語名称
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento	ブラジル空調工業会
ASEAN	Association of South - East Asian Nations	東南アジア諸国連合
BASE	Basel Agency for Sustainable Energy	持続可能なエネルギーのためのバーセル機関
BAT	Best Available Technology	利用可能な最善の技術
BAU	Business As Usual	従来通り
BTU	British thermal unit	英国熱量単位
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica	ブラジル電力研究所
CFC	Chloro Fluoro Carbon	クロロフルオロカーボン
CSPF	Cooling Seasonal Performance Factor	冷房期間エネルギー消費効率
CaaS	Cooling as a Service	サブスクリプション型冷房サービス
EBPM	Evidence Based Policy Making	証拠に基づく政策立案
EER	Energy Efficiency Ratio	エネルギー消費効率
ELETRORAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.	伯電力公社
ELETROS	Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos	伯家電協会
EPRI	Electric Power Research Institute	米国電力研究所
FAPESP	São Paulo Research Foundation	サンパウロ研究財団
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GEB	Grid-interactive Efficient Buildings	グリッド対話型高効率ビル
GHG	Green House Gas	温室効果ガス
GWP	Global Warming Potential	地球温暖化係数
HCFC	Hydrochlorofluorocarbon	ハイドロクロロフルオロカーボン
HFC	Hydrofluorocarbon	ハイドロフルオロカーボン
IDRS	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal	冷房期間エネルギー消費効率
IEA	International Energy Agency	国際エネルギー機関
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議
IGSD	Institute for Governance & Sustainable Development	米国持続可能な開発・ガバナンス研究所
INDC	Intended Nationally Determined Contribution	約束草案
INMETRO	the National Institute of Metrology, Quality, and Technology	国家度量衡・規格・工業品質院
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JETRO	Japan External Trade Organization	日本貿易振興機構
K-CEP	The Kigali Cooling Efficiency Program	キガリ冷却効率計画
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory	米国ローレンスバークレー国立研究所
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	建築環境性能評価システム
MME	Ministry of Mines and Energy	ブラジル鉱山エネルギー省
PPB	Basic Productive Process	マナウス税制恩典

PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica	国家エネルギー節約プログラム
PUC-RJ	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	リオデジャネイロカトリック大学
TIC	Technology and Innovation Center	ダイキン工業テクノロジーイノベーションセンター
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina	サンタカタリナ連邦大学
WHO	World Health Organization	世界保健機関
ZEB	net Zero Energy Building	ネット・ゼロ・エネルギー・ビル

第1章 要約

1.1. 要約

1.1.1. 本事業の基本情報

本事業の基本情報	
案件名	環境配慮型省エネ空調機普及促進事業
事業実施地	ブラジル国 サンパウロ、ブラジリア、フロリアノポリス、リオデジャネイロ
相手国	ブラジル国 ブラジリア
相手国政府関係機関	鉱物エネルギー省 (MME)
事業実施期間	2018 年 12 月 28 日～2021 年 5 月 28 日
契約金額	19,644,120 円

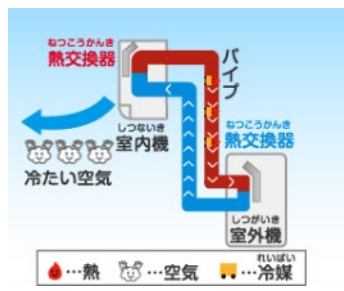
1.1.2. 本事業の背景

ブラジル連邦共和国（以下、「ブラジル」）は、世界第 9 位且つ中南米最大の経済規模を誇る。中南米最大の空調市場であり今後も需要が増加する見通しである。

空調機はエネルギー消費財であるため、空調需要の増加に伴う電力需要の増加が大きな課題となっている。しかしながら、消費者がエネルギー効率の高い空調機を選択を行える省エネルギー制度とはなっておらず、クリーンエネルギーへの転換に向けても、電力需要の抑制は喫緊の課題となっている。

また、空調機に使用される冷媒ガス（以下、「冷媒」）に起因する温室効果ガスの排出も課題となっている。市場の 6 割が R22 冷媒(オゾン層破壊物質+GWP(地球温暖化係数(以下 GWP))1810 倍)、残り 4 割が R410A 冷媒(GWP2088 倍)となっている。モントリオール議定書によりオゾン層破壊物質である R22 冷媒は 2030 年までに全廃が求められているため、市場では代替冷媒である R410A 機への転換が進んでいる現状を踏まえ、より GWP 係数が低い冷媒への転換の必要性が増している。

1.1.3. 本事業の普及対象技術

普及対象技術の名称	「R32 冷媒」を用いた「インバータ式」空調機	
冷媒の特徴	- オゾン層を破壊しない - R410A 冷媒に比べ GWP 係数が約 1/3 の 675 倍 - R410A に比べて熱の搬送能力が高く、空調機の省エネに寄与 - 微燃性冷媒であるが各種安全基準が ISO/IEC において整備されており、2012 年以降、日本を始め世界 90 か国以上で販売（2019 年時点）	

インバータ制御の特徴	電圧・電流・周波数をコントロールし冷暖房能力を可変とする技術。インバータは外気温や冷暖房負荷に応じて冷暖房能力を制御。ロスが少なく効率のよい運転が可能。	
------------	--	--

1.1.4. 本事業の目的及び目標

1.1.1.に記載した本事業の背景にある課題を解決する技術の普及基盤を構築するため、以下の目標を達成する。

- (1) 3大学での実証試験結果の統合報告書の作成と、それを基にして環境配慮型省エネ空調機の普及による同国における電力需要抑制、温室効果ガス排出抑制効果を定量化し、同国のエネルギー政策（空調分野）検討のための資料として提供する。
- (2) エネルギー効率規制との紐づけを目指し、インバータを正しく評価できる期間効率によるエアコンの性能評価基準 ISO16358-1 の同国での導入を方向付ける。
- (3) 空調機のエネルギーラベリング制度の見直し案を取り纏め、鉱山エネルギー省（以下、MME）及び国家度量衡・規格・工業品質院（以下、INMETRO）並びに関係諸機関へ提案する。

1.1.5. 本事業の実施内容及び結果・成果

- 本事業で目標としていた ISO16358-1 の導入、並びにラベリング制度の省エネルギー基準の見直しは、政令 234 号が 6 月 29 日付で公布されたことにより実現できた。他の新興国と比較しても低位であった省エネルギー基準は、この改定によって ASEAN と同等或いは上回る水準に引き上げられた。また、MME が所管する PROCEL シールにおいても同様に省エネルギー基準の見直しが実施され、R32 冷媒を含めた基準化が完了した。
- 上記実現に向けては、本事業の開始前に自社の取組としてブラジル 3 大学の協力で行った実証試験をベースに、本事業では実証試験結果を最大限活用することで、ISO16358-1 の導入や基準改正がもたらすベネフィットを定量化することができたほか、国際プロジェクト（K-CEP プロジェクト）との連携や日本政府（在伯日本大使館や経済産業省）の支援を得て、日伯産官学でブラジル政府にアプローチすることができた。
- また本事業の成果を広く共有するために現地報告会を行い、機器だけではなく建物の省エネルギー化や、ブラジル周辺国にも省エネルギー規制の強化の重要性をアピールすることができた。

1.1.6. 現段階におけるビジネス展開見込み及びその判断根拠

【非公開】

1.1.7. ビジネス展開に向けた残課題と対応策・方針

【非公開】

1.1.8. 今後のビジネス展開に向けた計画

【非公開】

1.1.9. ODA 事業との連携可能性について

(1) 人材育成

空調機の性能試験所における技術者育成のための技術協力事業が想定される。ISO16358-1 での適切な性能試験のため、技術者への技術指導・支援が考えられる。

(2) 更なる省エネ政策の推進、建物省エネへの波及

トップランナー制度の導入、建物省エネ政策に関する連携事業が想定される。ブラジル政府の省エネ政策に関する課題を抽出し、更なる省エネ制度の向上に向けた支援を通じ、機器単体の省エネだけではなく、建物全体の省エネ政策・制度設計の促進に向けた技術協力が考えられる。

1.2. 事業概要図

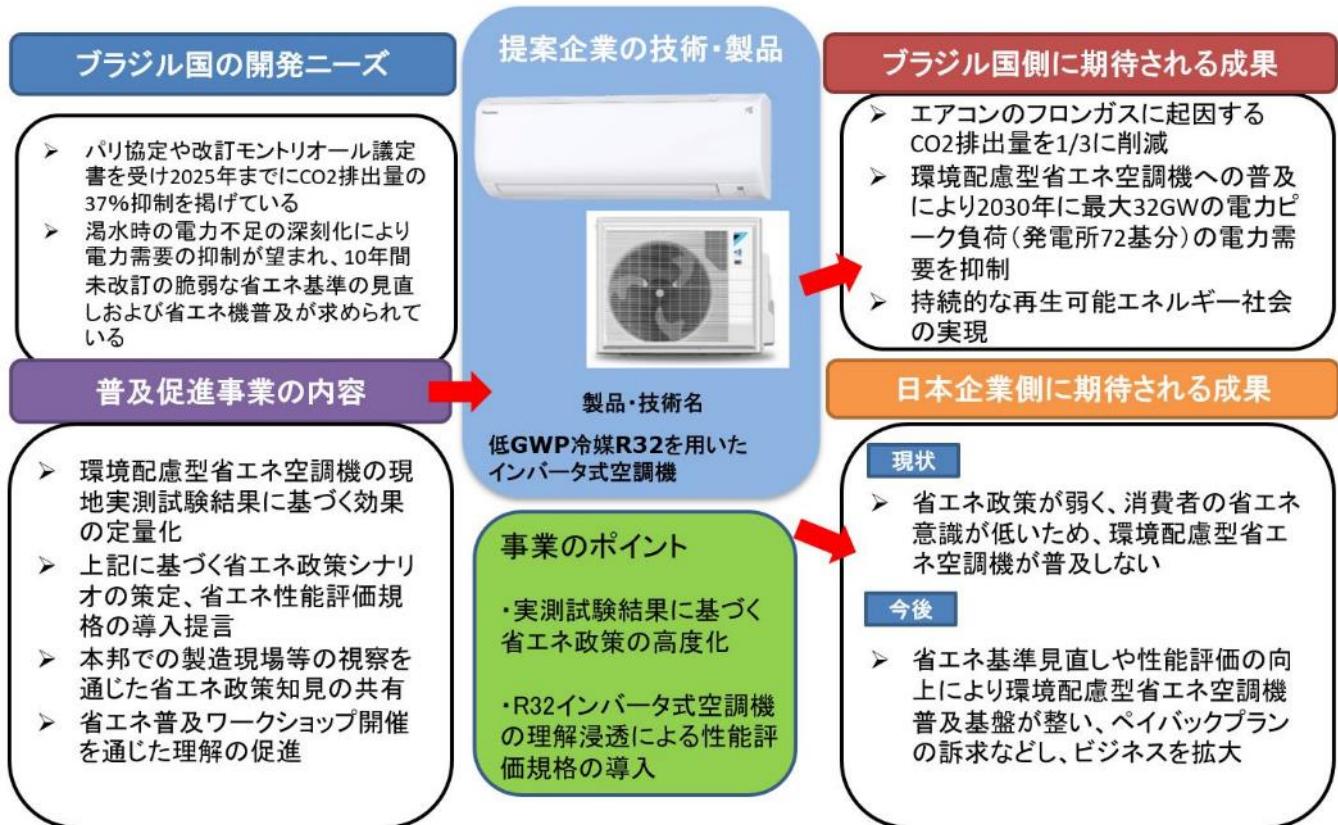


図 1：事業概要図

第2章 本事業の背景

2.1. 本事業の背景

ブラジルは、人口約 2 億 947 万人、国内総生産は 1 兆 8,850 億 USD と、世界第 9 位かつ南米最大の経済規模を誇る。過去に巨額の対外債務に苦しんだブラジルであるが、2007 年以降は対外債権が対外債務を上回り純債権国となっている。2018 年の経済成長率はプラス 1.1%で 2019 年もプラス 1.1%と前年と同じ伸び率となっているが、2020 年からのコロナウイルス感染拡大により足元では大きな経済的打撃を受けていることが報じられている。

ブラジルの気候と空調需要の関係については、人口の集中する主要都市（サンパウロ、リオデジャネイロ、ブラジリア、マナウス等）において、一般家庭にて空調機が必要とされる気候特性を持つ。図 2 に示す通り、南部サンパウロ、ポルトアレグレは日本の標準的な気候と似ており、夏場を中心に冷房需要が増加する。リオデジャネイロやマナウスでは更に高温期間が長く、冷房需要は 1 年を通じて更に増加する。

ブラジルのパリ協定に基づく INDC(約束草案(以下、INDC))では、温室効果ガスの排出量は 2005 年比で 2025 年までに 37%、2050 年までには 43%削減(Indicative)するとしている。

ブラジルは 1990 年には発電電力量に占める水力発電の割合が 9 割を超えており、再生可能エネルギー先進国であったが、渇水時の電力不足の深刻化と電力需要の抑制ができていないことなどから、発電電力量は 2013 年に約 570TWh と 1990 年の 2.5 倍以上に増加。2013 年には水力発電の割合は 69%まで低下し、代わりに割高な天然ガス火力発電等が増加している。

電力需要が増加する要因のひとつとして、空調機の普及が考えられる。家庭部門の消費電力における空調機が占める割合は、1997 年には 3%であったが 2016 年には 20%に増加。商業部門、公共部門では 50%となっている。

ブラジルでは年間約 250 万台から 300 万台の空調機が販売されており、空調機の省エネ性能改善が電力セクターに与える影響は大きい。米国ローレンスバークレー国立研究所によれば、省エネ性能が 30%改善した場合、2030 年には 14GW~32GW の電力ピーク負荷(500MW 級発電所 31-72 基分に相当)を抑制するこ

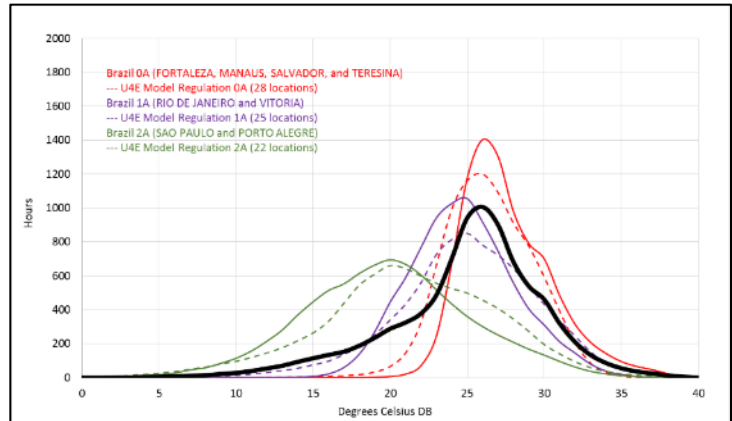


図 2：ブラジル地域別の気温出現時間分布

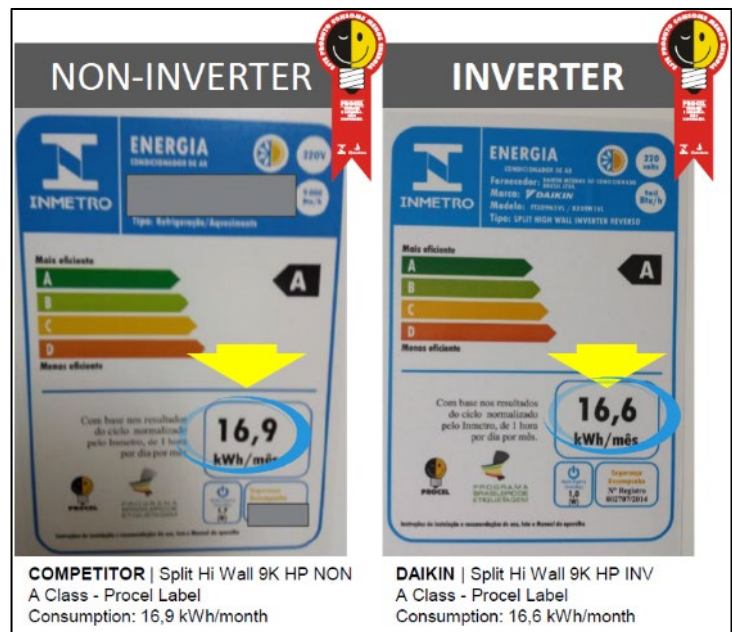


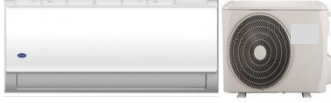
図 3：ブラジル省エネラベルの比較

とが可能であると試算している。しかしながら、約 10 年間、省エネルギー規制の抜本的な改善が行われなかったことにより、消費者がエネルギー効率の悪い機器を求める構図から脱却できない状態となっていた。実際、ノンインバータ機（図 3 左側）と比較して消費電力量が最大 6 割程度削減可能なインバータ機（図 3 右側）であっても、エネルギーラベル上では同等の省エネルギー性能を有するものとして表示することになり、消費者の商品選択に影響を与えるものとなっておらず、低い省エネルギー性能の空調機が安価で普及する根本的な問題となっていた。

また、空調機に使用される冷媒に起因する温室効果ガス排出も課題となっている。市場の 6 割が R22 冷媒(オゾン層破壊物質+GWP1810 倍)、残り 4 割が R410A 冷媒(GWP2088 倍)であり、次世代冷媒への転換が国際的に必要となっているものの、ブラジル政府は未だモントリオール議定書キガリ改正を批准しておらず、政府としては明確な方針を示していない。他方、R22 は 2030 年に全廃となるため、市場では転換が容易な R410A への転換が進んでおり、これを危惧する NGO 等からは R32 等の低 GWP 冷媒への転換を求める声が上がっている。

2.2. 普及対象とする技術、及び開発課題への貢献可能性

2.2.1. 普及対象とする技術の詳細

	提案技術	現地で最も普及している技術
技術	R32 冷媒・インバータ式	R410A 冷媒・ノンインバータ式
製品画像		
特徴（強み・弱み）	強み：低消費電力・低温暖化係数冷媒 弱み：価格	強み：低価格 弱み：高消費電力・高温暖化係数冷媒
スペック	分離式家庭用空調機 冷房能力：3.5kW	分離式家庭用空調機 冷房能力：3.5kW
国内外の販売実績	世界 90 か国以上で 2300 万台以上 (2012 年以降)	新興国で最も主流に販売されている
価格（単価）	R32 冷媒・インバータ式=R410A 冷媒・ノンインバータ式の 2.5 倍	
経済性	低消費電力によるランニングコスト	初期導入コスト
技術の安全性	IEC6035-2-40 に適合	IEC6035-2-40 に適合
環境への配慮	R410A 冷媒より温暖化係数 1/3 の R32 冷媒を使用	—
他国における競合技術との比較	日本・欧州・中国等では 7 割～10 割の普及率となっており、東南アジアにおいても 3 割程度まで普及率が上昇	—

2.2.2. 開発課題への貢献可能性

本事業の実施により以下の効果が期待される。

(1) 電力需要抑制

ブラジルにおけるスプリット型空調機の省エネ性能が 30%改善した場合、2030 年には 14GW~32GW の電力ピーク負荷（500MW 級発電所 31-72 基分に相当）を抑制することが可能。

(2) 温室効果ガスの排出抑制

R32(温暖化係数 675 倍)空調機への転換によりフロンガス(冷媒)起因の CO2 排出量を 1/3 に削減することが可能。

第3章 本事業の概要

3.1. 本事業の目的及び目標

3.1.1. 本事業の目的

ブラジル政府がパリ協定により提出した INDC では、温室効果ガスの排出量の増加を 2005 年比で 2025 年までに 37%削減することを公表している。一方、同国の発電電力量は 2013 年に約 570TWh と 1990 年の 2.5 倍以上に増加。1990 年には発電電力量に占める水力発電の割合は 9 割を超えていたが、2013 年には水力発電の割合は 69%まで下がっており、代わりに割高な天然ガス、再生可能エネルギーの割合が増加している。その中で空調機の消費電力は家庭部門で 2016 年に 20%に増加。商業部門、公共部門では 50%となっている。分離型空調機(提案技術を搭載した空調機)が普及全体の 72%を占めている。本事業を通じた省エネルギー政策の向上による電力需要の低減とそれに伴う CO2 排出量の削減は、今後の空調機市場の拡大を鑑みた場合、大変重要である。

日本の優れた低炭素技術の国際展開は未来投資戦略 2017 にも明記されているところ、本事業は日本政府の政策とも整合する。高効率空調機が普及することにより、ブラジルにおける分離型空調機の省エネ性能が 30%改善した場合、2030 年には 14GW~32GW の電力ピーク負荷(500MW 級発電所 31-72 基分に相当)を抑制することが可能と試算されている。また、R32(温暖化係数 675 倍)空調機への転換によりフロンガス(冷媒)起因の CO2 排出量を 1/3 に削減することができる。当社は家庭用・業務用空調機では高 GWP 冷媒である R22/R410A から R32 への転換がモントリオール議定書キガリ改正の達成に向けて貢献するものと考え世界各地で普及に向けた活動を行っている。

当社は R32 を含む代替候補冷媒（プロパン等の炭化水素を含む）の検討を実施しているが、冷媒選択において重要な、安全性・経済性・環境性・効率性の 4 要素をベストにバランスする冷媒が現時点では R32 以外に存在しないため 2012 年に世界で初めて商品化を行った。

キガリ改正は、HFC(ハイドロフルオロカーボン(以下、HFC))をゼロにすること（フェーズアウト）を規定しているものではなく、地球温暖化への影響を 0.5℃抑えることを目的として HFC 生産・消費量に HFC の GWP を掛けた温室効果ガス換算排出量の段階的削減を求めているものであり、R32 等の低 GWP 冷媒への転換に加え、冷媒の漏洩防止や廃棄時等での適切な冷媒回収を進めることが合わせて重要であると考えている。

3.1.2. 本事業の達成目標（対象国・地域・都市の開発課題への貢献）

- (1) 3大学での実証試験結果の統合報告書の作成と、それを基にして環境配慮型省エネ空調機の普及による同国における電力需要抑制、温室効果ガス排出抑制効果を定量化し、同国のエネルギー政策（空調分野）検討のための資料として提供する。
- (2) エネルギー効率規制との紐づけを目指し、インバータを正しく評価できる期間効率によるエアコンの性能評価基準 ISO16358-1 の同国での導入を方向付ける。
- (3) 空調機のエネルギーラベリング制度の見直し案を取り纏め、MME 及び INMETRO 並びに関係諸機関へ提案する。

3.1.3. 本事業の達成目標（ビジネス面）

2020年に市場の省エネ機比率を60%以上に拡大させ、さらにその後も成長を継続させるための制度構築とビジネス展開に向けて、実証試験結果を基にしたEBPM(Evidence Based Policy Making)支援を通じた課題の洗い出しとその解決策・効果の提案による商品戦略・投入計画、売価見直しを通じて、省エネ空調機の普及を図るために前項イ)～ハ)を実施する。

3.2. 本事業の実施内容

3.2.1. 実施スケジュール

本事業実施期間において 2019 年 2 月～2020 年 1 月の間、以下の通り実施した。

	時期	実施内容
第 1 回現地活動	2019 年 2 月 23 日（土）～ 2019 年 3 月 3 日（日）	■ 関係機関を訪問し、性能評価基準の導入や省エネラベリング制度の向上について現地動向を確認。 ■ 本邦受入活動計画内容を説明し、招聘に応じて頂くように要請。
第 1 回現地国内活動	2019 年 3 月 25 日（月）	■ K-CEP 主催のワークショップに出席し、性能評価基準の導入や省エネラベリング制度の向上について現地動向を確認
第 2 回現地国内活動	2019 年 5 月 30 日（木）	■ INMETRO 主催の会合に出席し、性能評価基準の導入について、現地動向を確認（本会合は第 1 回現地活動として参加したワークショップにおいて計画されていたもの）
第 2 回現地活動	2019 年 6 月 22 日（土）～ 2019 年 6 月 29 日（土）	■ 関係機関を訪問し、性能評価基準の導入や省エネラベリング制度に対する現地動向を確認 ■ 10 月に控えた本邦受入活動の最終確認
第 3 回現地国内活動	2019 年 9 月 27 日（金）	■ INMETRO 主催の第 2 回目の会合に出席し、性能評価基準の導入について、現地動向を確認。 ■ 本邦受入活動の直前であり直近の状況を特に確認。
第 1 回本邦受入活動	2019 年 9 月 28 日（土）～ 2019 年 10 月 6 日（日）	■ 本邦受入活動
第 4 回現地国内活動	2019 年 12 月 17 日（火）～ 2019 年 12 月 18 日（水）	■ INMETRO 主催の第 3 回目の会合に出席し、改正省エネ基準の政令発行に向けた現地動向を確認しつつ、CSPF への移行と省エネ基準値の引き上げを後押しし、導入を働きかけ。
第 3 回現地活動	2020 年 1 月 9 日（木）～ 2020 年 1 月 18 日（土）	■ ブラジル 3 都市で実施した実測試験結果と環境影響分析結果の共有をはじめ、本事業の最終報告を実施

3.2.2. 実施体制

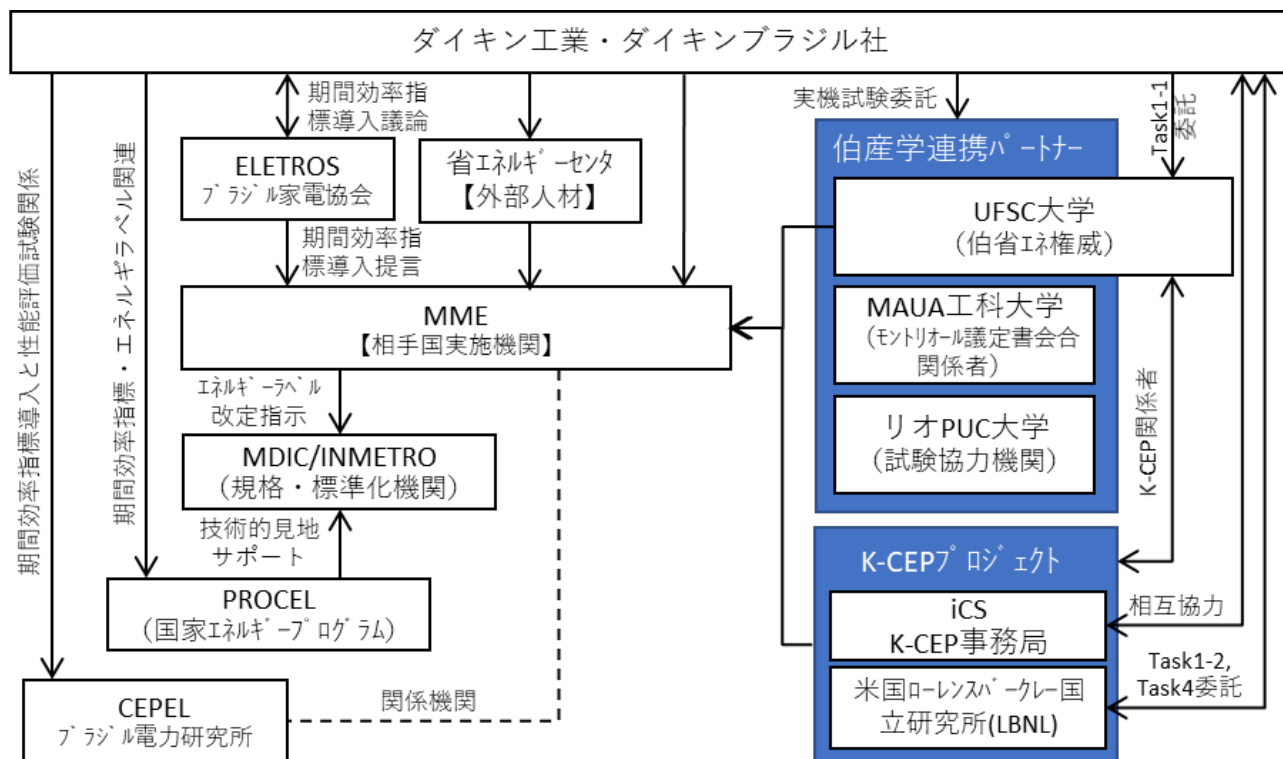


図4：本事業の実施体制

機関名	支援内容
ブラジル鉱物エネルギー省（MME）	実施機関
現地 NGO（iCS） [K-CEP プロジェクト]	相互協力関係を構築済。現地機関や国際機関の紹介や K-CEP プロジェクトとの共同活動の実施。
米国ローレンスバークレー国立研究所 [K-CEP プロジェクト]	実機試験に基づく社会環境評価報告書作成(Task1-2)の委託先。
サンタカタリナ連邦大学（フロリアノポリス）	現地で実施した実機試験協力。3 大学実機試験結果評価報告書作成(Task1-1)の委託先。 同国での省エネ権威として適宜相談、アドバイス等
MAUA 大学（サンパウロ）	現地で実施した実機試験協力。
PUC 大学（リオ）	現地で実施した実機試験協力。
ELETROS（ブラジル家電協会）	インバータのための期間効率性能評価指標導入にかかる業界議論。当社も積極参加している。
ブラジル開発工業省（MDIC）（現、伯経済省、INMETRO）	エネルギーラベル制度、期間効率性能評価規格化を所掌。
国家エネルギー節約プログラム(PROCEL)	国家エネルギー節約プログラム実施機関として INMETRO への技術的なサポートが期待される。
ブラジル電力研究所(CEPEL)	同国に 2 か所しかないエアコン性能の認定試験所の 1 つ。特に MME との関わりが深く、期間効率性能評価基準の導入にあたって重要な機関。

3.2.3. 実施内容

本事業の実施概要を以下に示す。

表 1：本事業の実施内容（概要）と達成目標

#	タスク ビジネス展開に向けて事業内に実施すべき項目	活動計画						実施内容	目標（事業終了時の状態）	
		第1回 '19.2 (現地)	第2回 '19.03 (現地)	第3回 '19.05 (現地)	第4回 '19.06 (現地)	第5回 19.09 (現地)	第1回 19.10 (本邦)			第6回 '20.01 (現地)
1	省エネ機普及による電力需要抑制及びG H G 排出抑制効果試算	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■				・ 2018年に実施した3都市での実測試験結果を基にした、ブラジル全土での省エネ機普及効果を定量化する。外部機関へは3都市実測試験の比較分析(Task1-1)と、実測試験結果をもとにした普及効果を定量化(Task1-2)を委託。	・ ブラジルにもたらされる効果を定量化すること。 ・ 定量化することで効果を見える化しモチベーション向上に活用。
2	性能評価基準 ISO16358-1 の導入	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	・ INMETRO 及び関係機関への規格説明 ・ 規格導入に向けた支援（説明や計算ツール提供等） ・ 中間負荷試験の試験所能力の確認と対処法の検討	・ INMETROがISO16358-1の導入を方向づける。 ・ 試験所の能力向上の方策について明確にする。
3	本邦受入活動						■■■■■		・ 日本の省エネ普及への取り組み・経験、最新技術や課題の共有等	・ ブラジル側の課題解決につながる活動となっている。
4	省エネ政策シナリオの策定				■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	・ 実測試験、効果分析、規格導入を踏まえて、ブラジル省エネ政策シナリオ案を作成する。	・ 空調機のエネルギーラベリング制度の見直し案を取り纏め提案する。
5	省エネ普及セミナーの実施							■■■■■	・ ①～⑤の活動の総括として普及セミナーを実施する	・ 省エネに対する理解、ブラジルが裨益する事、政策向上の重要性が理解される。

第4章 本事業の実施結果

4.1. 省エネ機普及による電力需要抑制及び GHG 排出抑制効果試算

4.1.1. 活動概要

本事業の実施に先立ち、ブラジルでは夏季にあたる 2018 年 1 月～6 月に自社の取組としてサンタカタリナ連邦大学（以下、UFSC）の協力を得て 3 都市・3 大学での実証試験を実施した。実証試験は、ブラジルの気候条件下においても提案技術を有する空調機が電力需要抑制及び GHG 排出抑制の観点で有効であることを証明する上で重要な活動と位置づけている。実証試験の実施概要を表 2 及び写真 1 に示す。

本事業では 2018 年に実施した 3 都市での実証試験結果を UFSC においてレポートとして取り纏め（Task1-1）、K-CEP プロジェクト（米国ローレンスバークレー国立研究所（以下、LBNL）及び iCS）に実証試験結果を提供した。

実証試験結果を基に、K-CEP プロジェクトが性能評価基準導入に向けたブラジル政府への政策提言において普及効果の定量化（Task1-2）を実施した。この政策提言レポートは下記の URL にて公開されている。

http://kigali.org.br/wp-content/uploads/2019/09/Case-Study-in-Brazil_03.pdf

実施都市	フロリアノポリス	サンパウロ	リオデジャネイロ
試験実施大学	UFSC サンタカタリナ連邦大学	MAUA MAUA 工科大学	PUC-RJ リオデジャネイロカトリック大学
実施期間	①2018 年 1 月～2 月 ②2018 年 3 月～5 月	2018 年 3 月～5 月	2018 年 4 月～6 月
実施方法	同じ負荷条件の 2 室でそれぞれ空調機 1 台を据え付け、連続運転を行い、消費電力量を計測		1 室に空調機 2 台を据え付け、それらを 1 日単位で交互に運転し、消費電力量を計測
試験に供した空調機の種類	①R410A ノンインバータ機・R410A インバータ機 ②R410A インバータ機・R32 インバータ機	R410A ノンインバータ機・R32 インバータ機	

表 2：実証試験の実施概要



写真 1：実証試験の実施風景

4.1.2. 活動結果 1：実証試験の分析

(1) 実証試験の分析業務委託

3都市それぞれ試験実施機関が取り纏めた実証試験結果報告書をUFSCにて1つの報告書として取り纏めた。UFSCは3都市で行った実証試験実施先の一つであり、MAUA及びPUC-RJを紹介した大学でもある。ブラジル全土での省エネ機普及効果の報告書作成者として、省エネルギーを専門とするLamberts教授は本事業での活動実施に適任と判断し、特命随意契約とした。UFSCとの業務委託契約は2019年5月20日付として契約締結を完了した。

(2) 3都市での実証試験結果

実証試験の結果は、図5に示す通り、いずれの都市の気候においても消費電力量の削減効果が認められた。

フロリアノポリスでの実証試験結果は、同じR410A冷媒のインバータ機とノンインバータ機を比較した場合で21%～61%の削減効果が認められ（図5左上）、同じインバータ機で異なる冷媒（R410AとR32）での比較では16%～34%の削減効果が認められた（図5右上）。

サンパウロ（図5左下）及びリオデジャネイロ（図5右下）ではR32インバータ機とR410Aノンインバータ機を比較しているが、60%～70%の削減効果が認められた。

いずれの都市でも1日で気温の変化があり、外気温度に応じて空調機の運転制御を行うインバータ機の効果が見られる結果となった。このためUFSCは報告書の中で、ISO16358-1を早急にブラジル

に導入すべき必要があり、エネルギーラベル制度の変更によって市場において適切に高効率空調機の価値が示されるようにすべきであると結んでいる。

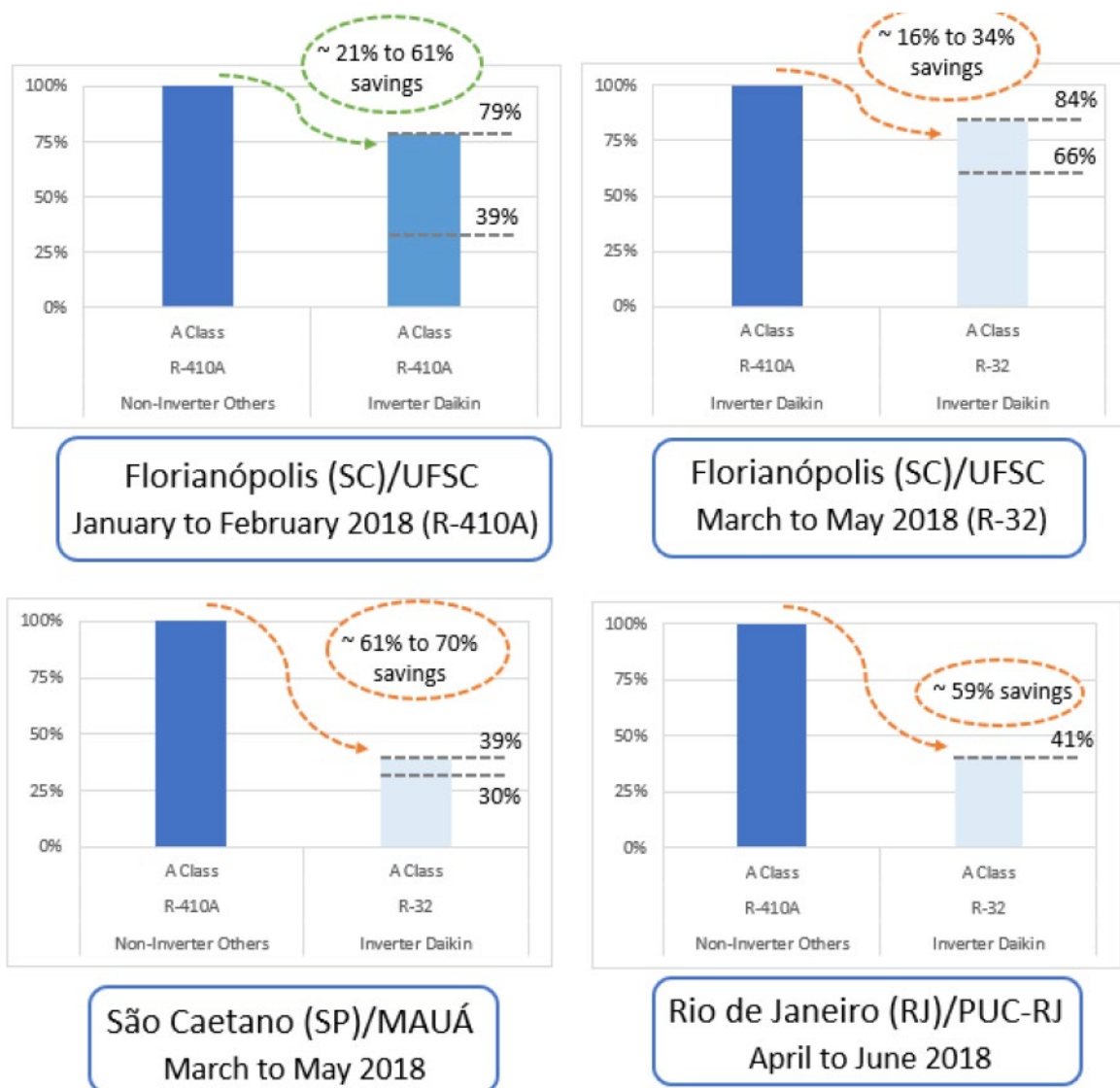
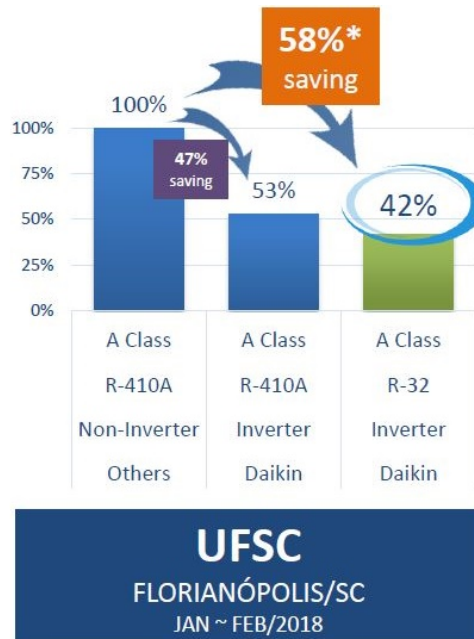


図 5：UFSC による実証試験の結果サマリー（消費電力量削減効果）

(3) 実証試験結果の活用

実証試験の結果は Task1-2 での活用の他、当社においては図 6・図 7・図 8 に示す形に編集し、広く PR に用いている他、マナウス環境フェア等の機会においても効果を示すものとして活用している。



*Indirect analysis

図 6：フロリアのポリスの実証試験結果

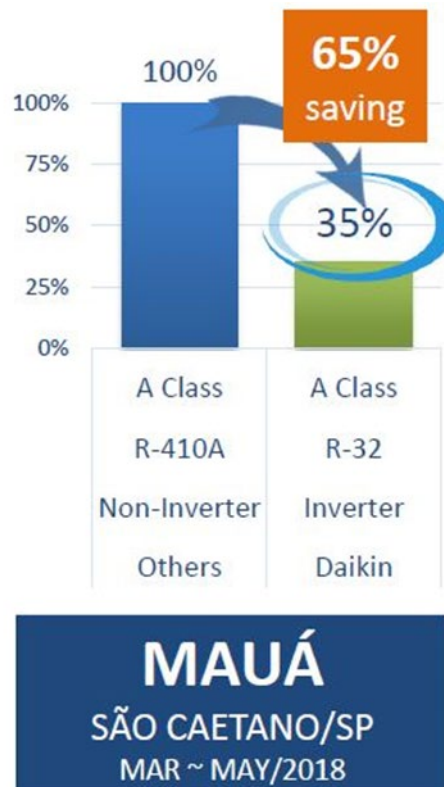


図 7：サンパウロの実証試験結果

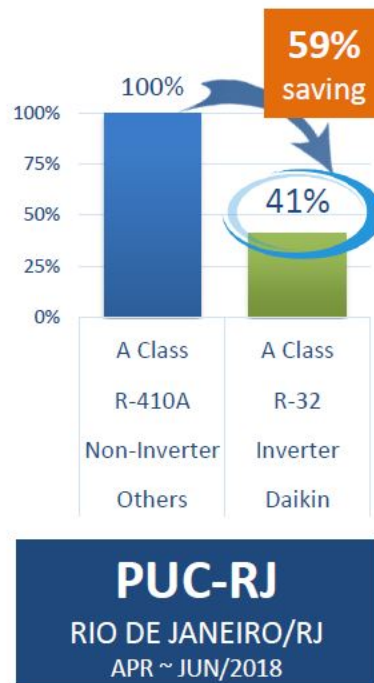


図 8：リオデジャネイロの実証試験結果

4.1.3. 活動結果 2：実証試験結果をもとにした普及効果の定量化

(1) 普及効果の定量化方法

4.1. (1) の通り、実証試験結果を基にした普及効果の定量化（Task1-2）は、K-CEP プロジェクトとの協働において実施した。普及効果の定量結果については、実証試験結果を基に、K-CEP プロジェクトが作成した政策提言レポートの内容から下記（イ）～（エ）の通りである。

政策提言レポートは下記の URL にて公開されている。

http://kigali.org.br/wp-content/uploads/2019/09/Case-Study-in-Brazil_03.pdf

K-CEP プロジェクトは、本事業開始以前から MME の承認を得て、低 GWP 冷媒への転換とインバータ機の普及に向けた政策立案支援を実施していたことから、本事業では事業開始前の段階から K-CEP プロジェクトとも連携し、相互補完しながら共通の目的に向かって協力して活動を実施してきたものである。

(2) 電力消費量削減効果（図 9 参照）

実証試験結果を参考に、エネルギー効率の異なる 5 つサンプル（Sample 1, 2=ノンインバータ機（Fixed Speed）・ Sample 3,4,5=インバータ機（Variable Speed））にて年間の推定消費電力量が計算されている。最も効率の低いノンインバータ機（サンプル 1）と比較して、約 25%（Sample 3）から

60% (Sample 5) の消費電力量が削減できることが示されている。また気候の違いによる空調機の標準的な運転時間の差が、年間の消費電力量に直接的に関係することも示している。

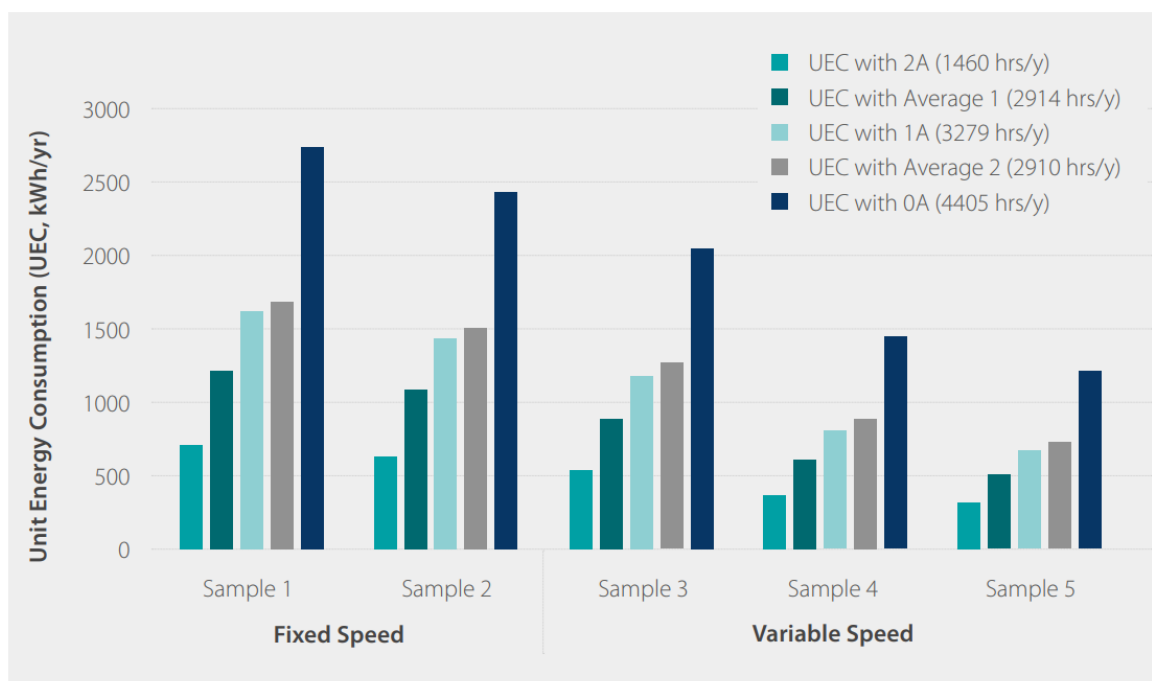


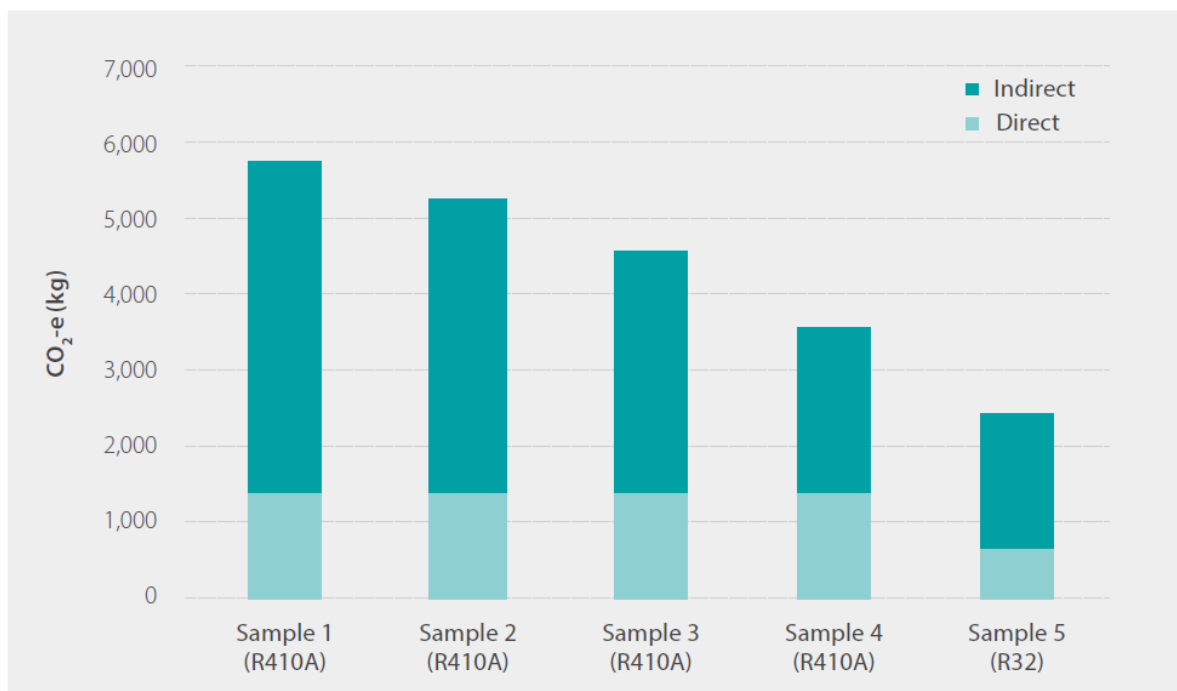
図 9：年間消費電力量の推計

(3) 温室効果ガス（GHG）排出削減効果（図 10 参照）

図 9 に示された推定消費電力量をベースに、TEWI（Total Equivalent Warming Impact：総合等価温暖化因子）によって、機器の運転中に排出される GHG 量と機器が廃棄される際に排出される GHG 量が試算されている。

空調機の運転で消費されるエネルギーによって発生する間接的な GHG 排出量（Indirect）は、図 9 に示された推定消費電力量に比例した試算結果が示されている。

一方、冷媒による直接的な GHG 排出量（Direct）は、冷媒の GWP 影響が反映され、Sample 1～4（R410A）と比較して Sample 5（R32）によって 56%削減できることが示されており、省エネルギー化に加えて R32 への冷媒転換によって更に GHG 排出量を削減できる可能性を示している。



CO₂-e = CO₂ equivalent.

Assumptions: $L_{\text{annual}} = 4.0\%$; $n = 10$ years; $m = 0.95$ kg (Samples 1-4), 1.35 kg (Sample 5); $\alpha_{\text{recovery}} = 0.7$; $\beta = 0.356$ kg CO₂ per kWh with Average 1 temperature bin hours, based on AIRAH (2012) and Letschert et al. (2019).

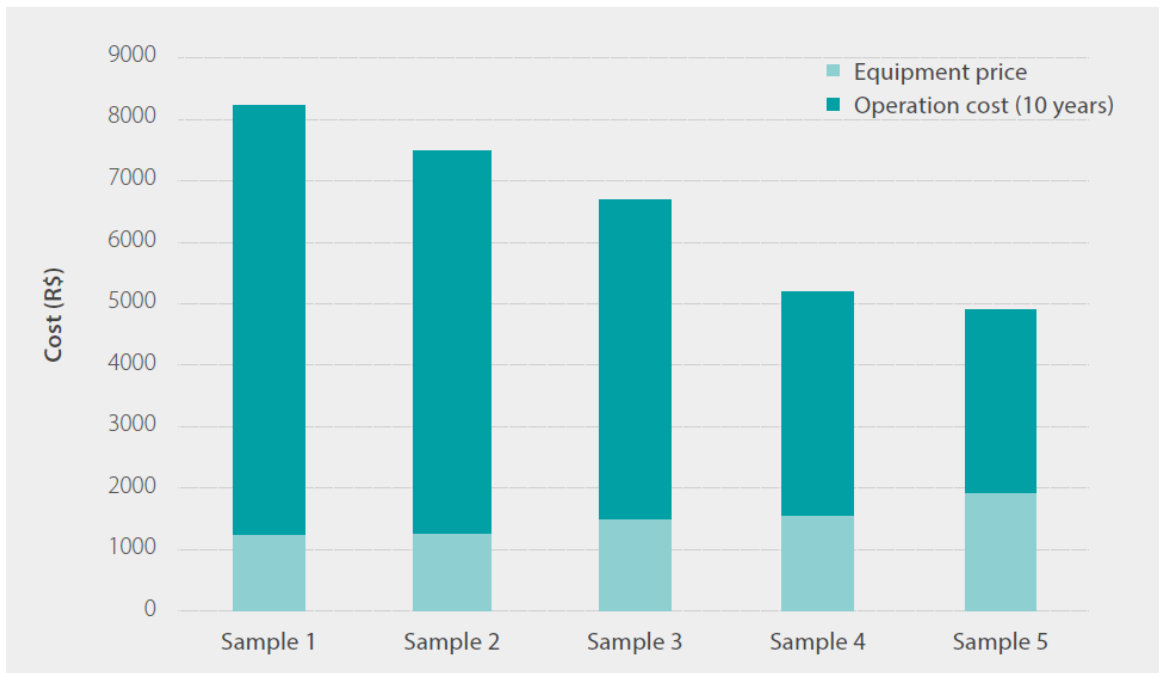
図 10 : GHG 排出量 (10 年間) の推計

(4) ライフサイクルコスト分析 (図 11 参照)

一般的に性能が高い空調機は、低性能な空調機に比べて初期コストが高くなる傾向がある。しかし性能が高くなるほど使用時の消費電力量が抑制されるため、電気使用量のコストを含めたライフサイクルコストでの計算が重要となる。

レポートでは、10 年間使用されると仮定した場合に、R410A ノンインバータ機 (Sample 1) と R32 インバータ機 (Sample 5) では最大 40% 程度のライフサイクルコストの差が生じることが試算されている。

初期コストの差を、使用時の消費電力コストの削減で十分に補うことができる結果となった。



Assumptions: electricity price = R\$ 0.66/kWh, lifetime = 10 years, equipment price = average price based on Letschert et al. (2019).

図 11：ライフサイクルコスト試算

4.2. 性能評価基準 ISO16358-1 の導入

4.2.1. 活動結果の概要

本事業の取組の結果、省エネルギー規制（ラベル制度）を所管する INMETRO は ISO16358-1 の導入を決定し、2020 年 6 月 29 日付官報にて政令 234 号を公布した。

本事業開始当初から、INMETRO は ISO16358-1 の導入には前向きであったものの、一部産業界の反発や、技術的な知見の不足により、決断が遅れていた。本事業では、あらゆる機会で一貫して ISO16358-1 の導入の必要性を訴えた他、技術的な課題に対しても提案を行うなど、導入を進めたい当局への継続的な支援を行った。

ISO16358-1 の導入にあたっては、当局 INMETRO の他、性能評価法の研究を行っていた PROCEL、性能試験所の CEPEL とも並行して協議を行い、導入に向けた課題の解消に努めた。

4.2.2. ISO16358-1 の導入に向けた課題の解決

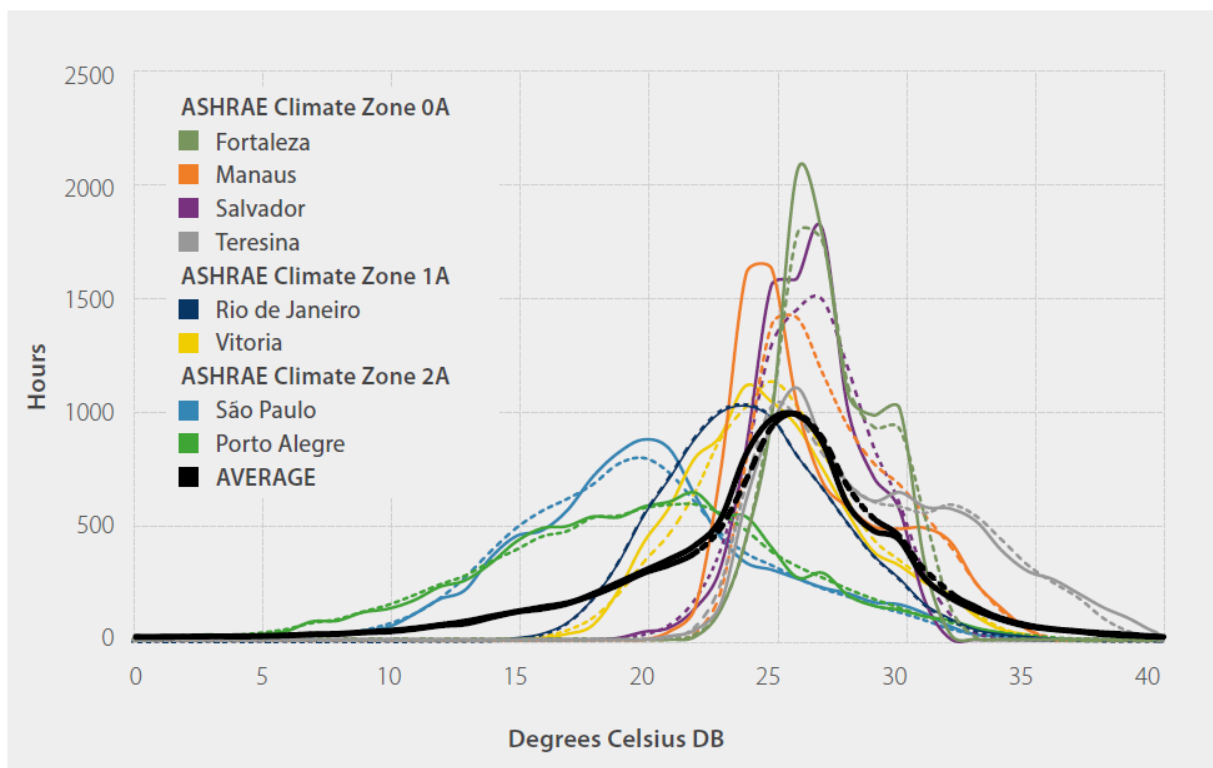
ISO16358-1 を導入する際の論点・課題としては、①気候帯(Temperature bin distribution)、②性能値を計算するための測定ポイント、③ISO16358-1 をノンインバータ機にも適用するか否か、の 3 点に絞られる。それぞれの論点・課題についての活動を以下に示す。

(1) 気候帯(Temperature bin distribution)

外気温度の変化を反映した性能評価では、気温毎の出現時間を計算式に組み込むこととなっている。ISO16358-1 では標準の気候条件が規定されているが、各国の気候条件に応じて独自の気候帯を定義することが許容されている。

しばしば、1つの国で複数の気候特性を持つ国の場合、地域に応じた複数の気候帯が採用されるケースがある。ブラジルにおいても、北部熱帯地域、リオデジャネイロに代表される高温地域、サンパウロ等の南部中温地域の3つの異なる気候特性がある。

図12に示す通り、ブラジルの気候特性を反映した気候帯の採用は、K-CEPプロジェクトにおいて詳細な分析が行われたことにより、ブラジル主要都市の気象データを基に、ブラジル全土の平均として1つの気候帯を採用する動きとなった。本事業ではその取組を支持し、結果、年間冷房運転時間は、ブラジル全土の気候データを平均化し、ISO16358-1よりも263時間長い、2080時間／年間で設定された。ISO16358-1及びブラジルで採用された気候帯を表3に示す。



Solid curves represent LabEEE-analyzed outdoor temperature distributions. Dotted curves are LBNL analysis results.

図12：K-CEPプロジェクトでの気候分析

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
気温	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
ブラジル 時間	130	167	231	271	253	226	189	149	128	111	84	60	38	22	12	5	3	1	2080
ISO 時間	100	139	165	196	210	215	210	181	150	120	75	35	11	6	4	0	0	0	1817

表3：ISO16358-1の気候帯と、ブラジルで採用された気候帯

(2) 性能値を計算するための測定ポイント

従来のノンインバータ機が主流である場合では、ISO5151に基づき定格点と呼ばれる測定ポイントが1点の35℃条件でのみ試験を行い性能値の計算を行っていた。しかし外気温に応じて可変制御を行うインバータ機の性能計算は、ISO16358-1では定格点35℃に加えて、中間負荷性能も測定ポイントとして規定されており、2点の測定が必要となる。PROCELは、より正確な性能値計算を行うために、ISO16358-1では測定義務とはなっていない、最小負荷を測定ポイントとして追加したい意見を持っていた。

① PROCELの主張に対する対応

最小負荷（minimum capacity）の測定義務化を検討していたPROCELに対しては、以下の3点の課題を指摘しつつ、ISO16358-1が指定する2点測定となるよう協議を行った。

- ア) 測定時間の課題：測定点（最小負荷測定）を追加することによって測定期間が6～8時間程度必要となり、測定に時間がかかる。現状でも数か月の性能試験待ちが生じているため測定点数が増えることに対するラボのAvailabilityに懸念がある。
- イ) 不確かさの課題：ISOの規定により、バランス型試験設備では不確かさ5%以内となっているが、最小負荷測定は5%以内を満たせない可能性があるため、ラボのCapabilityの確認が必要と考えられる
- ウ) 最小負荷測定の再現性の課題：検討されているブラジル気候帯では低温側の出現時間が多くなっており、中間ならびに最小負荷の測定結果がもたらす影響が大きくなると考えられる。実測定においても最小負荷は安定度や再現性が課題となるため、測定するたびに性能値が大きく異なる恐れがある。試験所ごとに全く異なる測定結果が出るなど、製品認証において課題となる。②に関連し事前のラボの検証が重要である。

このような議論を通じて、各機関から建設的な意見・コメントとして歓迎を受け、信頼関係が更に向上する機会となった。

PROCELではその後実際に性能試験を行って課題に対する確認を実施し、結果、INMETROの省エネルギー規制では、表4に示す通り、ISO16358-1で規定されている2点測定となった。

		旧基準	新基準
規格		ISO 5151	ISO 16358-1
呼称		EER	CSPF
測定点	インバータ機	定格点（35℃）のみ	定格点（35℃）＋中間負荷
	ノンインバータ機		定格点（35℃）のみ

表4：試験方法・測定ポイント

② 測定ポイントが追加となることによる性能試験所の課題

ISO16358-1に基づく2点測定であっても、特に中間負荷測定についてはブラジルの試験所ではほとんど実施された経験がなく、試験所の試験能力の向上が課題であった。

試験所の能力向上については、MMEと経済産業省資源エネルギー庁との間で本事業と並行して調整されていた二国間の省エネ協力の枠組みにおいて、一般財団法人省エネルギーセンター及び一般財団法人日本空調冷凍研究所が実施主体となってブラジルの試験所に対するキャパシティビルディングプログラムが形成されることになり、2020年度から実施されている。

(3) ISO16358-1をノンインバータ機にも適用するか否か

ISO16358-1はインバータ機とノンインバータ機の両方に対して適用することが可能であり、同一規格に基づく性能値の表示によって、異なるタイプの空調機であっても比較することが可能となることは消費者の視点ではメリットが大きい。

一方、ISO16358-1への移行を早い段階で進めていたインドやASEANの国々では、最初からインバータ機とノンインバータ機の両方に対してISO16358-1を適用せず、段階的な移行を行った事例があった。

本事業では、消費者が適切に性能面で空調機を選択できるようにするためには、ISO16358-1を同じタイミングでインバータ機とノンインバータ機の両方に対して適用すべきことを主張した。

これに対してINMETROは、過去に同じ製品群に異なる性能評価規格を導入したことで、消費者に混乱を与えた経験があったことから、当初から、移行期間を設けずにISO16358-1を同じタイミングでインバータ機とノンインバータ機の両方に対して適用したい意向を示していた。その結果、同ISO16358-1は時期にインバータ機とノンインバータ機の両方に対して適用されることが実現した。

4.3. 本邦受入活動

4.3.1. 活動結果の概要

本邦受入は、2019年9月28日（土）～10月6日（日）の期間に実施した。本邦受入活動の直前、9月27日に開催されたINMETRO主催の産官代表者会合では、ISO16358-1の導入が方向付けられ、更に導入に向けた課題整理と省エネ基準値の引上げに向けて今後進めていくことが議論されていた。

ブラジル政府が省エネルギー規制の改正を確実にやっていくにあたって最良のタイミングで本邦受入活動を実施することができ、ブラジル政府も改正に向けて自信を深める結果となった。

本邦受入活動の成果は、本邦受入活動終了直後の2019年10月17日にサンパウロで開催された「日ブラジル次官級会合（日ブラジル貿易投資促進・産業協力合同委員会）」において確認することができた。同会合には、日本側からは経済産業省田中経済産業審議官、ブラジル側から経済省コスタ次官、INMETROアンジェラ総裁が出席され、以下の発言があったことから、本邦受入活動がブラジル政府側にとって大きな成果があったことが確認できる。

- 「ダイキンが取り組んでいる省エネラベリングの話は非常に重要」「ブラジル側の熱意を強く感じた。今後日本政府としても丁寧にフォローアップしていく」（田中経済産業審議官）

- 「INMETRO としては産業界が競争力を持てる仕組み作りに努める」「年末までに新しい省エネ制度を作り上げる（と公式に発言）」（INMETRO 総裁）
- 「制度として持続的に省エネ化される仕組み作りに努める」（コスタ次官）

4.3.2. 本邦受入活動の実施内容

(1) 経済産業省・一般社団法人省エネルギーセンターでの意見交換

日本のトップランナー制度による省エネ推進の事例、ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビルディング）推進に向けた制度の概要（法規制・奨励策）、そして政府と民間企業の役割や省エネ機器普及のための諸施策や工夫をテーマに活発な議論を実施。日本の機器・建物、両方の省エネ政策の外縁から詳細に至るまで意見交換を実施した。

(2) 一般財団法人日本空調冷凍研究所（日空研）訪問

日本で唯一の公的な空調試験所であり、検定制度・空調メーカーの設備認定を行っている日空研の概要・役割への理解を深め、さらに試験設備を見学し、活発な質疑応答を行った。省エネ空調機器の普及に必要な不可欠な試験所の役割、試験の信頼性を確保していく重要性から運営に至るまで詳細な聞き取りや意見交換を実施した。

(3) ダイキン工業滋賀製作所訪問

R410A から R32 への冷媒転換時の安全対策や追加の投資の有無、エネルギーマネジメントについて質疑応答を行った。生産ラインでの継続的な改善対策、ムダ削減のための地道な改善活動に大変感心されていた。また、社内で性能評価試験を担当する開発信頼性グループとの意見交換では、前日の日空研訪問において確認した性能試験所の評価の仕組みをメーカー側からも説明することで、日本の性能評価試験制度全体について理解を深めた。

(4) 家電量販店視察

それぞれの製品の省エネラベルを熱心に観察されていた。「販売台数(売上)の何%が 5 つ星製品なのか」という疑問に対して、訪問した店舗では 2～3 割だということを確認しつつ、「1 年間使用した場合の目安電力料金」が、消費者にとって一つの製品選択基準になっている点を理解いただいた。

(5) ダイキン工業テクノロジーイノベーションセンター（TIC）視察及び意見交換

IoT による空調のメンテナンス・サービス・故障予知などサービスソリューション、エネルギーソリューションの取り組みに大変関心を示された。加えて当社の冷媒に対する考え方や省エネ技術についても理解いただき、TIC 訪問を通じて弊社の技術力・影響力を理解いただいた。



写真 2：経済産業省 資源エネルギー庁との意見交換

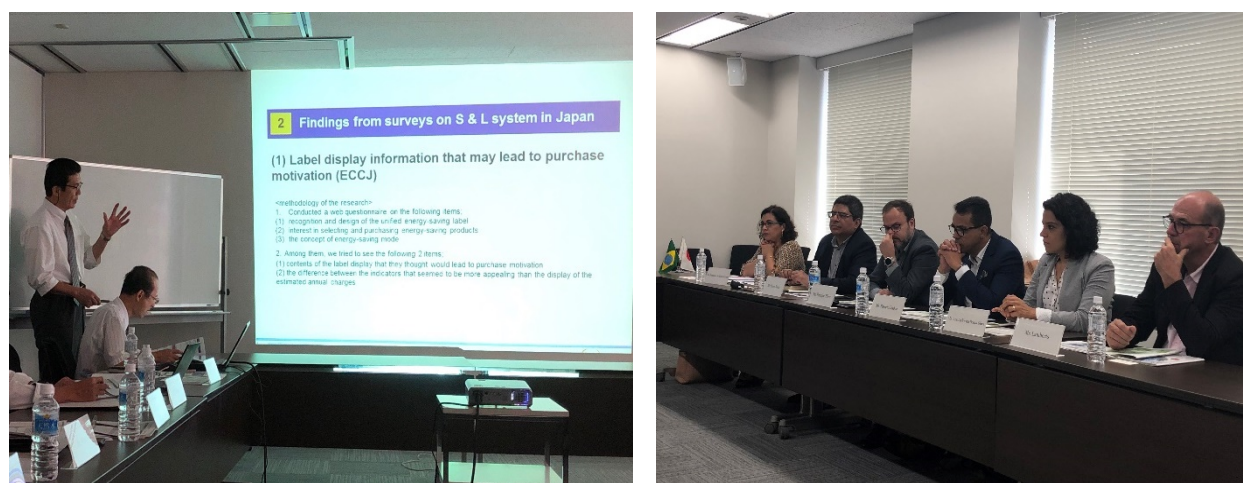


写真 3：一般財団法人省エネルギーセンターでの意見交換



写真 4：一般財団法人日本空調冷凍研究所訪問



写真 5：ダイキン工業滋賀製作所訪問



写真 6：家電量販店視察



写真 7：ダイキン工業テクノロジーイノベーションセンター訪問

4.4. 省エネ政策シナリオの策定

4.4.1. 活動結果の概要

本事業の大きな成果として、6月29日付官報政令234号（図13）により、ISO16358-1の導入と省エネルギー基準値の引き上げを定めた改正 INMETRO エネルギーラベル基準が公布された。

省エネ基準値の改定によって、ブラジル市場で販売される9割のエアコンが最高ランク「A グレード」表示であった異常事態が解消され、これまでの「A グレード」は最低グレードである「F グレード」となり、省エネルギー等級の適正化が図られることが期待される。

政令234号では、図14に示すように、INMETRO ラベルのデザインも更新され、新たに「冷媒」「ISO16358-1に基づく性能値」「年間消費電力量」を記載することが決定した。新しい省エネルギー基準の概要を図15に示す。

INMETRO が政令を公布したことにより、任意の省エネルギーラベリング制度である PROCEL シールについても、図16の通り2020年10月に基準改定・公布が行われた。

ブラジルのエネルギーラベル制度は、図17で示すように、義務と任意の2つのラベル制度が存在し、それぞれ目的が異なるものである。PROCEL シールは、より省エネルギー性能の高い空調機をアピールする制度として、MME の管轄において電力公社 ELETROBRAS が国家プログラムとして実施しているものである。

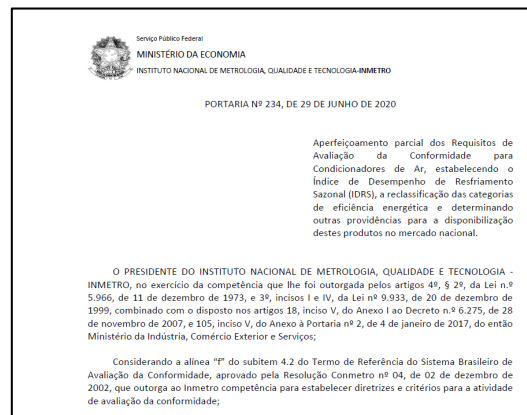


図13：INMETRO 政令234号



図14：INMETRO 新ラベル

POINT-1：試験方法

現行	引用規格:ISO 5151		新基準	インバータ	引用規格 ISO 16358-1	35℃ 定格点及び中間点 35℃ 定格点
	ノンインバータ					

POINT-2：気候帯

気温(℃)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
出現時間(h)	130	167	231	271	253	226	189	149	128	111	84	60	38	22	12	5	3	1	2080

POINT-3：省エネルギー基準

全てのスプリット型空調機		
現行基準		
Class	Min EER	Max EER
A	3.23	-
B	3.02	3.22
C	2019年6月以降 3.01	
D	2.80 上市が禁止されている	



全てのスプリット型空調機	
2023年1月から義務化	
Class	CSPF W/W
A	≧ 5.50
B	≧ 5.00
C	≧ 4.50
D	≧ 4.00
E	≧ 3.50
F	≧ 3.14



全てのスプリット型空調機	
2026年1月から義務化	
Class	CSPF W/W
A	≧ 7.00
B	≧ 6.00
C	≧ 5.30
D	≧ 4.60
E	≧ 3.90
F	≧ 3.50

図15：政令234号 INMETRO 新省エネルギー基準概要

POINT-1: 試験方法

引用規格はISO16358-1

INMETRO 試験方法	インバータ	35℃定格点及び中間点
	ノンインバータ	35℃定格点

PROCEL 試験方法	インバータ	35℃定格点及び中間点、29℃中間点
	ノンインバータ	35℃定格点及び29℃定格点

POINT-2: 使用冷媒のODP・GWP基準

PROCEL シール		PROCEL Gold シール		
全てのスプリット型空調機 ウインドウ型空調機		全てのスプリット型空調機 ウインドウ型空調機		
2022年5月3日から		2022年5月3日から	2023年11月3日から	
ODP	0	ODP	0	0
GWP	≤2088	GWP	≤2088	≤750

POINT-3: 省エネルギー基準

PROCEL シール	EER W/W	CSPF W/W		
	2022年5月2日まで	2022年5月3日から	2023年11月3日から	
スプリット型空調機	現行INMETRO基準 A class	スプリット型空調機	≥ 6.0	≥ 7.6
ウインドウ型空調機 (≤ 17,500 Btu/h)	現行INMETRO基準 A class	ウインドウ型空調機 (≤ 17,500 Btu/h)	≥ 4.0	≥ 4.5
ウインドウ型空調機 (>17,500 Btu/h)	現行INMETRO基準 A class	ウインドウ型空調機 (>17,500 Btu/h)	≥ 3.85	≥ 4.33

PROCEL Gold シール	CSPF W/W	
	2022年5月3日から	2023年11月3日から
スプリット型空調機	≥ 7.6	≥ 8.2
ウインドウ型空調機	≥ 4.5	≥ 5.0

図 16 : PROCEL シール新基準概要

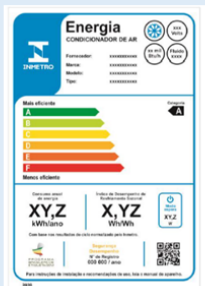
	INMETRO ラベル制度 (義務) -2020年6月29日発行 -Ordinance No. 234		PROCEL シール (任意) -2020年10月公表	
	所管省庁 実施者 目的	経済省・INMETRO INMETRO 等級による省エネ性能の表示	MME ELETROBRAS, PROCEL もっとも優れた高効率空調機を明確化	

図 17 : ブラジルのエネルギーラベル制度概要

4.4.2. INMETRO ラベル制度の改正に向けた活動

(1) 省エネルギー基準値見直しに向けたサンプル試験への協力

2019年9月27日のステークホルダー会議において、メーカー各社へサンプル試験の要請があり、当社も2019年12月までに5機種のサンプル試験を完了し、INMETROに対して情報提供を行った。

当社以外のメーカーもサンプル試験に応じており、計34機種のサンプル試験結果が2019年12月17日～18日に行われたINMETRO主催のステークホルダー会議にて提示された。ステークホルダー会議では、サンプル試験の結果を踏まえINMETROは省エネルギー基準の改正案を提案し議論が行われたが、基準強化に難色を示す一部メーカーに対して、MME、NGO等からは基準強化を支持する姿勢が明確に示された。

(2) パブリックコンサルテーション

INMETROはステークホルダー会議終了後、議論を踏まえて改正案を取りまとめ、2020年1月～3月にかけてパブリックコンサルテーションを実施した。パブリックコンサルテーションに示されたエネルギーラベル基準案は政令234号として公布された内容（図14、図15）とほぼ同一である。当社は現地法人を通じてパブリックコンサルテーションにおいて基準案に賛同をしつつ意見提出を行い、さらに早期に政令が公布されるべく、MME、INMETRO等関係機関と随時WEB会議を実施するなどの働きかけを自社取組として実施した。

4.4.3. PROCEL シールの改定

ELETRORBRAS/PROCELは、INMETROの基準改正公布を受け、PROCELシール基準の改正に着手した。PROCELシール及び今回新設されたPROCEL Goldシールにおける、省エネルギー基準の引上げや、試験方法の検討については、MME、PROCEL、及びICSにおいて協議され決定されたものである。

当社は空調機に使用される冷媒基準がPROCELシールに盛り込まれるにあたって、PROCELに対して冷媒に関する情報提供、各国でのGWP規制状況について説明し、適切な基準が導入されるよう自社の取組として働きかけを行った。

4.5. 省エネ普及セミナーの実施

4.5.1. 実施概要

本事業を通じて得られた結果を広く周知することを目的に、2020年1月15日に現地報告会を実施した。報告会は、当社が世界各地で環境・エネルギー等をテーマに有識者と議論する枠組み「空調懇話会」の下で「持続可能な社会を実現するための空調ソリューション」をテーマに、中南米諸国が直面する電力需給問題や気候変動問題の解決に向けて、空調の省エネ・環境技術を通じた環境負荷低減をいかに実現していくかについて、政府機関、研究機関、電力会社などの産官学関係者と議論を行った。出席者リストを表5に示す。

4.5.2. 実施内容

(1) セッション1：電力需要増と環境課題解決への取り組み

- ダイキン環境ビジョン2050 | ダイキン工業

新技術の推進と冷媒転換によるダイキン工業の気候変動に対する貢献を発表した。2050年に空調機需要は現在の3倍になると推定されているが、電力抑制とCO2排出量抑制の2つを担うインバータ機とR32冷媒の普及の必要性を強調した。

- ラテンアメリカのエネルギー性能効率の動向と展望 | 国際エネルギー機関 (IEA)

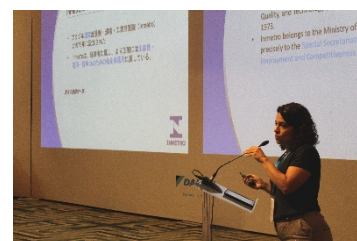
2050年までに世界の2/3の世帯にエアコンが普及し、中南米地域ではエアコンの保有台数は現在の6倍以上に増加する見通しであると発表した。それに伴う電力需要を抑制するため、高効率機器の普及が喫緊の課題である。市場には省エネ製品が存在するにも関わらず、政策立案者が市場を誘導できていない問題を指摘。MEPS (足切り制度) 導入による高効率機器の普及、また低GWP冷媒への転換の必要性を訴えた。

- ブラジルにおけるエネルギー効率化に向けた公共政策とプログラム | MME

ブラジルのエネルギー事情や1984年から取り組んでいるエネルギー効率向上に向けた諸施策の紹介、また今後の国家エネルギー効率化のロードマップについて説明した。ダイキン・JICA共同の省エネ実証事業を通じて空調機の性能効率基準の見直し (CSPF の導入) ・省エネラベル制度の改定など引き続き日本政府、ダイキンと連携して省エネ政策・技術導入のための国際協力を推進し、政策目標の達成を実現していくことを表明した。

- ブラジルの規格・ラベリング 制度動向 | INMETRO

家電製品の公的認証機関としてブラジルの規格・ラベル制度を担っており、今後の性能基準の強化 (MEPS 値引き上げ) や期間効率指標 (CSPF) への転換などの展望を紹介した。JICA 事業を通じた訪日事業を経て、現在の日本の省エネルギーセンターの支援を仰ぎながら、規格改定に伴うブラジルの試験機関のキャパシティビルディングを進めていくことを述べた。



- ブラジルにおけるエネルギー効率化と低 GWP 冷媒への転換 | iCS

ブラジルにて高効率空調機の普及、低 GWP 冷媒の取り組みを推進しており、昨年末は MEPS 値の引き上げを実現した。2019 年 9 月に国会にて達成できなかったキガリ改正批准に対して、引き続き議会へアプローチと冷媒転換のロードマップ作りに関与していくと表明した。

(2) セッション 2 : 高効率・低 GWP 冷媒空調普及に向けて

- JICA 省エネ実証事業結果報告 | UFSC

サンパウロ・リオデジャネイロ・フロリアノポリスの 3 都市での実測試験の結果を共有。各都市の気候条件などにより異なるが、R410A ノンインバータ機から R32 インバータ機への転換により最大で 70% の電力削減効果が認められ、省エネを実現する上で R32 インバータ機が非常に有効であることが述べられた。

省エネ効率の基準を、エネルギー消費効率 (EER) から期間エネルギー効率 (CSPF) へと、より実使用に即した条件でのエネルギー効率を表す指標に移行することの重要性を発表した。また、ブラジルの課題として性能基準を国際レベルに合わせ、試験方法も国際基準 ISO に準拠していくべきであると提言した。

- 日本での省エネ政策：消費者行動を奨励する制度と施策 | 一般財団法人省エネルギーセンター



トップランナー制度と省エネラベリング制度等について日本が如何に省エネを達成してきたか、政策面と消費行動を奨励する取り組みについて説明した。省エネ機普及には、省エネ・経済効果（電力料金の削減）が一目で理解できるラベルが必要であると説き、高効率機器を消費者に選択してもらう仕組みを確立する重要性を強調した。

消費者はラベルの星の数の他、年間電気料金にも注目して製品を購入している。消費者の購買意欲を掻き立てるには、電気料金をどれほど抑えることができるかを表示することが重要で、効果的なラベルとは何かを説いた。

- 高効率・低 GWP 冷媒空調への市場変革：ブラジルと中南米への教訓 | IGSD

モロッコで実施した産官学連携での高効率・低 GWP 冷媒エアコンへの転換事業について紹介した。低性能 R410A ノンインバータ機から R32 インバータ機への転換は温室効果ガス削減のみならず、ピーク時電力需要抑制、エアコンのリサイクル業務という冬季の新たな雇用機会の創出に繋がったこと、また省エネによって捻出された資金により国のインフラ整備等として還元が可能と提唱した。

(3) セッション 3：市場変革・持続可能建築のためのソリューション

- カーボンニュートラルに向けたダイキンの取り組み | ダイキン工業

パリ協定の 2℃目標達成のためには 2050 年に実質 CO2 排出をゼロにする必要があり、機器単体の省エネ、年間エネルギー効率を想定した研究を行っている。ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実証プログラムを、研究施設兼オフィスの TIC（テクノロジーイノベーションセンター）にて実施している。快適性を維持しながら運用最適化を行っており、Nearly ZEB（ニアリー・ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）に相当する、省エネ（50%以上）+創エネで 75%以上の一次エネルギー消費量の削減を実現している。

- 持続可能なグリッド対話型高効率ビル | EPRI

電力供給側（グリッド）から見た持続可能な建物とは、高効率で、太陽光発電など再エネによる創電とバッテリーによる蓄電を組み合わせることで電力需要を平準化できるグリッド対話型高効率ビル（GEB）であり、柔軟なデマンドレスポンスを実現し、持続可能なコミュニティの実現につながると主張した。

- 健康と快適性を提供するビル空間ソリューション | アルゼンチン・グリーングループ

1 日の 9 割の時間を室内で過ごしている人間にとって、建物の室内環境がいかに影響を与えるのかを 7 つの概念「空気・水・食物・光・健康・快適さ・精神」に沿って紹介。快適性、健康性のある建物（グリーンビルディング）の人への影響を測る実験では、従来の建物と比較してパフォーマンスが大幅に上昇し、情報処理能力にいたっては 299%も増加したことが分かり、建物内の環境、空気等の快適性が人の仕事効率を上昇させるのに重要であることを説いた。



- 持続可能な建物の最適空調設計 | アルゼンチン・グリーンビル協会

建物内での健康的に過ごせるための基本原則を建設設計の視点から紹介。理想的なグリーンビルディングの例として挙げられたブエノスアイレスの銀行ビルには、空調システム、新鮮な空気、きれいな水を考慮しダイキンのVRVシステムが導入されており、2014年にLEED GOLD認証（LEEDとは建物と敷地利用についての環境性能評価システム）を取得している。

- 市場変革：HVAC業界のサービス化 | BASE

モノからコトへと世の中のトレンドが変化する中で冷房のサービス化「CaaS(Cooling as a Service)」というビジネスモデルを紹介した。使用量に応じて利用料金を払うという「サブスクリプションビジネスモデル」は既に事務機器の文分野では実現されており、顧客にとっては初期投資が不要、且つ運用・保守をアウトソーシングする事で本業に専念できるなど、大きなメリットとなる。また、省エネによるランニングコストの抑制は顧客の利益になるとともに消費者の省エネ意識向上にもつながり、結果として電力需要や温室効果ガスの排出削減に貢献するものであると主張した。

在サンパウロ日本国総領事館
JICA サンパウロ事務所
JETRO サンパウロ事務所
一般財団法人省エネルギーセンター
国際エネルギー機関(IEA)
ブラジル鉱山エネルギー省 (MME)
ブラジル国家度量衡・規格・工業品質院 (INMETRO)
ブラジル国家エネルギー節約プログラム (PROCEL)
ブラジル電力研究所 (CEPEL)
ブラジル気候・社会研究所 (ICS)
ブラジルサンタカタリナ連邦大学 (UFSC)
ブラジル MAUA 工科大学
ブラジル PUC リオデジャネイロ校
ブラジル冷凍空調工業会 (ABRAVA)
ブラジル・グリーンビル協会
アルゼンチン・グリーンビル協会
アルゼンチン・グリーングループ
コロンビア気候省オゾンユニット
米国電力研究所 (EPRI)
米国持続可能な開発・ガバナンス研究所 (IGSD)
スイス国際エネルギーNGO (BASE)

表 5：現地報告会参加機関リスト

第5章 本事業の総括（実施結果に対する評価）

5.1. 本事業の成果（対象国・地域・都市への貢献）

達成目標	達成評価	開発効果
3 大学での実証試験結果の統合報告書の作成と、それを基にして環境配慮型省エネ空調機の普及による同国における電力需要抑制、温室効果ガス排出抑制効果を定量化し、同国のエネルギー政策（空調分野）検討のための資料として提供する。	1. 実証試験結果を UFSC において報告書として作成し、K-CEP プロジェクトに提供することで政策提言レポートに定量効果を示すことができた。 2. 政策提言レポートはブラジル政府が ISO16385 を導入し、省エネルギー規制の強化を進めるために十分な根拠として活用された。	空調機 1 台あたり 60%程度 の消費電力量削減効果が期待される 省エネ空調機が正しく評価でき、消費者が空調機ごとの性能差を認識できるようになることから、省エネ空調機の普及が期待される。
エネルギー効率規制との紐づけを目指し、インバータを正しく評価できる期間効率によるエアコンの性能評価基準 ISO16358-1 の同国での導入を方向付ける。	1. INMETRO 政令 234 号の公布によって、ISO16358-1 の導入が完了した。	
空調機のエネルギーラベリング制度の見直し案を取り纏め、MME 及び INMETRO(国家度量衡・規格・工業品質院)並びに係諸機関へ提案する。	1. 本事業の一連の活動を通じ、INMETRO 政令 234 号によってラベリング制度の省エネルギー基準の引上げ見直しが完了した。 2. MME が所管する PROCEL シールにおいても同様に省エネルギー基準の見直しが実施され、R32 冷媒を含めた基準化が完了した。	空調機の性能が適切に表示されるラベリング制度に移行されるため消費者が正しく商品選択を行うことができる ライフサイクルコストが最大 40%削減されることから、電力需要の抑制に加えて消費者が支払う電気料金についても削減が期待される

5.2. 本事業の成果（ビジネス面）、及び残課題とその解決方針

本事業の成果及び残課題と解決方針を下記に示す。

#	タスク ビジネス展開に 向けて事業内に 実施すべき項目	活動計画と実績							達成状況と評価	残課題と解決方法	解決へのアクションと時期
		第1回 19.02 (現地)	第2回 19.03 (現地)	第3回 19.05 (現地)	第4回 19.06 (現地)	第5回 19.09 (現地)	第6回 19.10 (本邦)	第7回 20.01 (現地)			
1	省エネ機普及による電力需要抑制及びGHG排出抑制効果試算								完 ・実証試験の結果を取り纏め、効果の定量化を実施	・特になし	
2	性能評価基準ISO16358-1の導入								完 ・政令 234 号においてISO16358-1の導入が完了	・特になし	・性能試験所の測定能力向上のため、経済産業省の人材育成事業が2020年から実施されている。
3	本邦受入活動								完 ・日本の省エネ政策・普及への取組や経験、最新技術等を紹介。 ・ブラジル政府が省エネ政策を進める上で自信に繋がった	・特になし	
4	省エネ政策シナリオの策定								完 ・政令 234 号において適切な省エネ基準の見直し引上げが完了。 ・PROCEL シールについても本事業内にて新基準への改正が完了。	・特になし	
5	省エネ普及セミナーの実施								完 ・省エネに対する理解、経済的・環境的便益についてブラジル関係者及び周辺国の関係にも啓蒙した	・特になし	

5.2.1. 本事業の成果（ビジネス面）

(1) 省エネ機普及による電力需要抑制及び GHG 排出抑制効果試算

- 本事業開始前に実施した実証試験は 3 大学の協力を得て実施し、実証試験の結果分析についても大学において実施したことにより、第三者による客観的なレポートとして活用することができる。
- 消費電力量を 60%削減できる効果が訴求できる点はインパクトが大きく、消費者の直接的なメリットにもつながることから、定量化した効果は最大限省エネ空調機の普及にも活用している。

(2) 性能評価基準 ISO16358-1 の導入

- 本事業を通じて K-CEP プロジェクトとも連携し、ISO16358-1 の導入を実現できたことは、インバータ技術による効果を、政府のエネルギーラベルにおいて消費者に訴求していくことが可能となるため、ノンインバータ機との差別化を図ることができる点で大きなアドバンテージである。

(3) 本邦受入活動

- エネルギー問題に関わる政府担当官、並びに電力公社職員に、直接当社の省エネルギー技術や環境技術を PR することができた。
- ブラジルでは当社の知名度が低い中、本邦受入活動を通じて日本及びグローバルレベルでのオペレーションを肌で感じていただくこととなり、ブラジル政府と当社の関係が醸成された点は今後のブラジル市場における当社のオペレーションにとって重要なものとなった。

(4) 省エネ政策シナリオの策定

- INMETRO 及び PROCEL のラベリング制度が時代に合わないものとなっていたため、市場で販売される空調機の 9 割が、最高グレードを意味する A クラスであった。そのため価格競争を余儀なくされ、性能面での訴求が不可能であった。
- 本事業を通じて INMETRO 及び PROCEL のラベリング制度が見直された結果、省エネ基準が見直され、価格競争から性能競争へと市場環境が変革されたことから、今後省エネ空調機の普及に本格的に取組める土台を形成することができた。
- 日本やグローバルの視点では、ブラジルで省エネ制度の改正が実現できたことで、当社の取組が評価されることにもつながっており、省エネルギー性能のアピールに限らず、当社の知名度やクレディビリティの向上にも寄与することが期待される。

(5) 省エネ普及セミナーの実施

- 本事業では空調機の省エネルギー化にかかる制度整備に重点を置いて取り組んだが、エネルギーマネジメントや建物省エネに関連する技術や商品についてもアピールすることができた。
- 例えば CEPEL が建設を予定する ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）試験棟での空調設備について具体的な問い合わせがあるなど、本事業の副次的な効果も表れ始めている。

5.2.2. 課題と解決方針

5.2 項の表の通り、本事業で予定していたタスク及び目標は達成することができた。当初本事業の範囲ではなかったが、ISO16358-1 の導入が決定したことによりブラジルの性能試験所の測定能力の向上が新たな課題となった。

この課題に対しては、経済産業省資源エネルギー庁が MME との間で締結していた省エネ技術協力 MOU の枠組みにおいて、アジア等でのキャパシティビルディングの実績を持つ ECCJ 及び JATL が資源エネルギー庁からの委託によって、2020 年度からブラジルの性能試験所のキャパシティビルディングが行われている。

当社としても、性能試験所が ISO16358-1 の正しい測定を実施できることは市場競争の観点でも重要と考えており、キャパシティビルディングプログラムに試験機材を供与する等、積極的な協力を実施している。

第6章 本事業実施後のビジネス展開の計画

6.1. ビジネスの目的及び目標

6.1.1. ビジネスを通じて期待される成果（対象国・地域・都市の社会・経済開発への貢献）

【非公開】

6.1.2. ビジネスを通じて期待される成果（ビジネス面）

【非公開】

6.2. ビジネス展開計画

6.2.1. ビジネスの概要

【非公開】

6.2.2. ビジネスのターゲット

【非公開】

6.2.3. ビジネスの実施体制

【非公開】

6.2.4. ビジネス展開のスケジュール

【非公開】

6.2.5. 投資計画及び資金計画

【非公開】

6.2.6. 競合の状況

【非公開】

6.2.7. ビジネス展開上の課題と解決方針

【非公開】

6.2.8. ビジネス展開に際し想定されるリスクとその対応策

【非公開】

6.3. ODA 事業との連携可能性

6.3.1. 連携事業の必要性

(1) マーケットサーベイランス（市場監査）機能強化

市場監査を実施する上で重要となる「試験設備（ラボ）」、及び監査能力、に関しては FAPESP（São Paulo Research Foundation）、UFSC、International Energy Initiative Brazil 等の現地機関から当社も関わる形で協議を行ってきた。本事業では本邦受入活動時に一般財団法人空調冷凍研究所の訪問を実施して日本での取組を共有したため MME を始めとしてその必要性は理解されているところ。ラボの充実、人材育成に向けた動きの強化が必要。

(2) 省エネ誘導型電力料金制度

エネルギー経済研究所が経産省委託事業下で実施した調査では、電力料金制度への課題が指摘されている。渇水非常時には一時的な電力料金引き上げが起こるものの、恒常的に省エネを意識しうる電力料金制度とはなっていない。

(3) 建物省エネ化の為のビル・コード

ビルや商業施設の省エネ政策への波及を意図し、本事業では建物省エネについても議論を行った。ブラジルの現状を明らかにしたうえで、あるべき姿とのギャップ分析等を実施し、建物省エネの規制や普及に向けた政策立案支援も重要と考えられる。

6.3.2. 想定される事業スキーム

(1) 人材育成

空調機性能試験所における技術者育成のための技術協力事業が想定される。

(2) 更なる省エネ政策の推進、建物省エネへの波及

トップランナー制度の導入、建物省エネ政策に関する連携事業が想定される。

6.3.3. 連携事業の具体的内容

(1) 人材育成

ISO16358-1 に基づく性能試験のため、設備の維持管理方法から技術者の能力向上に対する技術指導等が考えられる。

(2) 更なる省エネ政策の推進、建物省エネへの波及

ブラジル政府の省エネ政策に関する課題を抽出し、更なる省エネ制度の向上に向けた支援が考えられる。機器単体の省エネだけではなく、建物全体の省エネに向けた政策や制度設計について具体的な政策立案支援が必要とされていると考えられる。

添付資料

- 添付 1 UFSC 実証試験報告書 (Report regarding efficiency of AC split systems with inverter in Brazil)
- 添付 2 K-CEP プロジェクト政策提言レポート (Adopting a Seasonal Efficiency Metric for Room Air Conditioners – A Case Study in Brazil)
- 添付 3 英文要約



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
Campus Universitário – Trindade
Florianópolis – SC – CEP 88040-900
Caixa Postal 476

labEEE

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
<http://www.labeee.ufsc.br>



Fundação de Ensino e Engenharia em Santa Catarina
<http://www.feesc.org.br>

Termo de cooperação nº 02/2019

REPORT REGARDING EFFICIENCY OF AC SPLIT SYSTEMS WITH INVERTER IN BRAZIL

Roberto Lamberts

Ana Paula Melo

July, 2019.

EXECUTIVE SUMMARY

Sales of air conditioning systems are growing fast around the world, the energy use for space cooling has more than triple between 1990 and 2016 (IEA, 2018). Countries need firm policy interventions and more efficient air conditioners to minimize the effect on the electricity grid.

Brazil presented a record of sales of split equipment in 2014, representing 4.40 million units (70% of the HVAC market). However, Minimum Energy Performance Standard in Brazil have been raised very slowly with an insignificant impact. Moreover, the metrics used in air conditioning system in Brazil is the Energy Efficiency Ratio (EER) and the energy efficiency of HVAC systems is measured according to ISO 5151 (2017), where the equipment is evaluated under full load and under a standard temperature condition for heat absorption and rejection. Part load operation is much more representative of real use in the field. Different locations around the world adopt part load operation and are aligned with international standards as ISO 16358 (2013), EN 14835 (2016) and ASHRAE 116 (2010). As split machines are a commodity being sold worldwide, it is important to increase the minimum energy efficiency according to international levels and the measurement procedures should be based on international standards and consider part load operation.

Daikin is committed to help to improve Minimum Efficiency Performance Standards and commissioned field measurements to compare the energy saving of an inverter versus an on/off split system. Field measurements were carried out in São Paulo, Rio de Janeiro and Florianópolis. Two split systems 9000 Btu/h one with inverter technology running on R-32 and one without inverter running on R-410A were installed in two similar office rooms with similar thermal loads in São Paulo and Rio de Janeiro. São Paulo presented savings from 61% to 70%, and Rio de Janeiro presented savings close to 59%. In Florianópolis, the first measurement compared two split systems 9000 Btu/h one with inverter technology running on R-410A and one without inverter running on R-410A. The energy savings were 21% to 61%. The second measurement compared two split systems with cooling capacity of 9000 Btu/h with inverter technology, one running on R-410A and one running on R-32. The energy savings were 16% to 34%. Results demonstrate that inverter systems can have enormous contribution to energy savings in Brazil, showing the importance of implementing the Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF) that considers part load efficiency.

Regarding public policy, many upgrades are necessary. The Brazilian energy efficient label should be based on Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF) and minimum energy performance standards should be raised to ban inefficient technologies from the market. PROCEL seal should be updated to show the real value of most efficient systems in the market. The Brazilian energy grid will substantially benefit from these initiatives.

1. INTRODUCTION

In 2018 IEA has published the report "*The Future of Cooling*" that alerts us for the tremendous space cooling problem to come in future years. The energy use for space cooling is growing fast in the world and has triple between 1990 and 2016 (IEA, 2018). This is putting enormous strain on electricity systems in many countries and Brazil is one of them. We need firm policy interventions and more efficient air conditioners to minimize the effect on the electricity grid.

In 2013, sales of air conditioning machines reached 30 million units in China. In Brazil, sales represented 4 million units. In 2010, the Minimum Energy Performance Standard (MEPS) for air conditioning machines for fixed speed in China was around 3.2, in 2011 it was 2.6 in Brazil, and 2.8 in Mexico. In 2013, the Minimum Energy Performance Standard (MEPS) for air conditioning machines with variable speed in China was around 4.3, and 4.7 in Mexico in 2016. Figure 1 presents these figures for some countries.

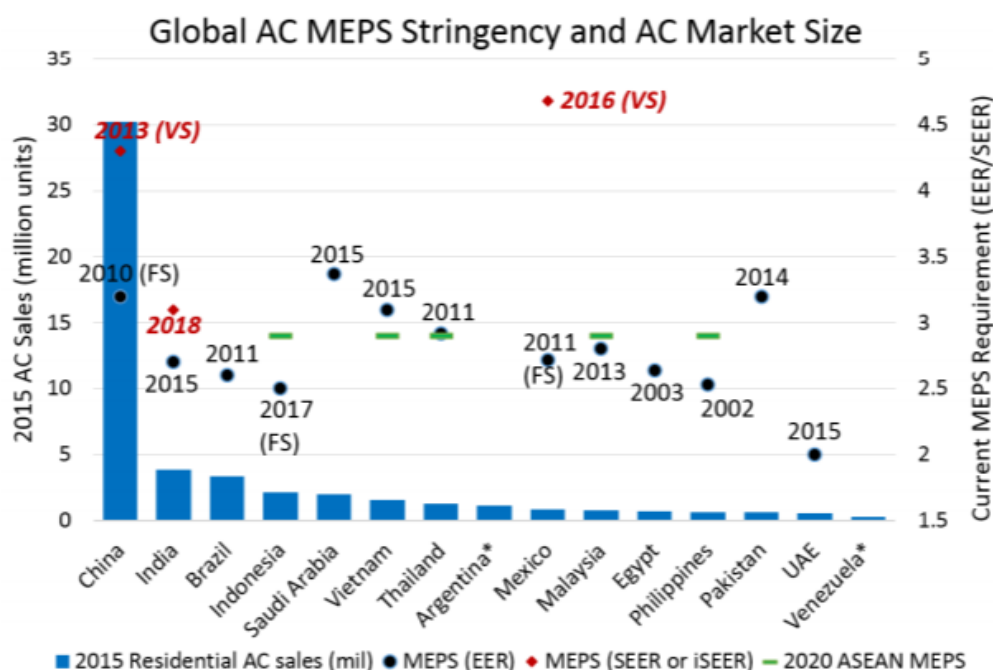


Figure 1. Non-inverter sales and MEPS requirements. Source: Shah et al., 2017

According to Figure 2, Japan, North America and Oceania sell only inverter machines. The market shares of inverter machines sold in Brazil is estimated to be only above 30% in 2018.

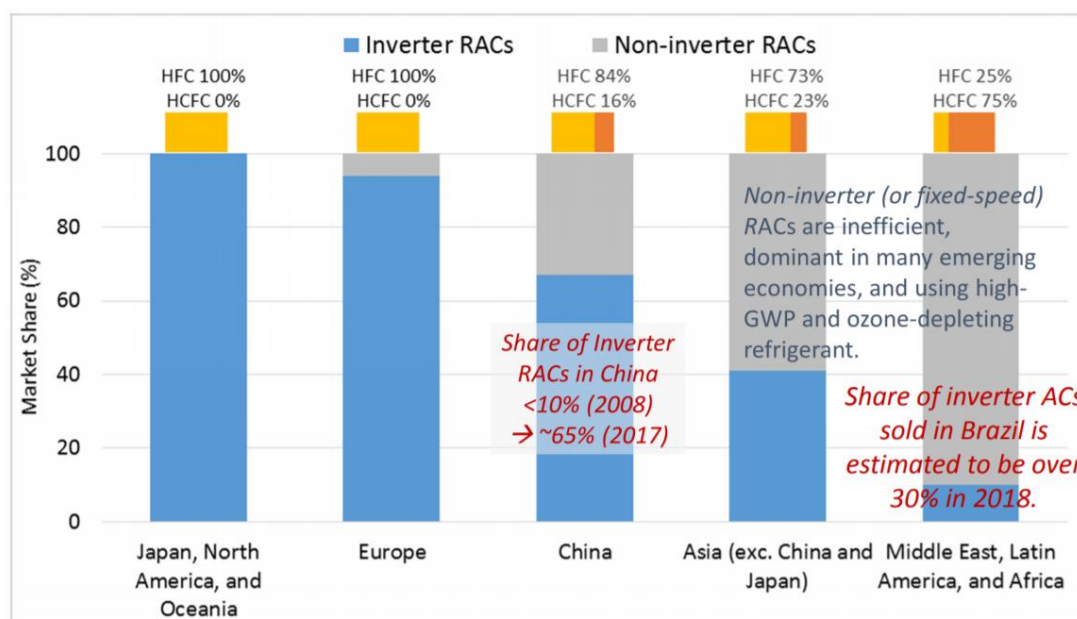


Figure 2. The global room air conditioning market.
Source: Holuj, Hillbrand and Shah (2019)

In 2012, the HVAC world market moved 167 billion dollars (CHOI et al., 2013). According to ABRAVA - Brazilian Association of Refrigeration, Air Conditioning, Ventilation and Heating (2017), the record of sales of split equipment in Brazil was in 2014, representing 4.40 million units (70% of the market). In 2013, 3.5 million units were sold. According to EPE (2016) (Figure 3), the HVAC energy consumption in residential sector will significantly increase from 2020 to 2050 (approximately 60%).

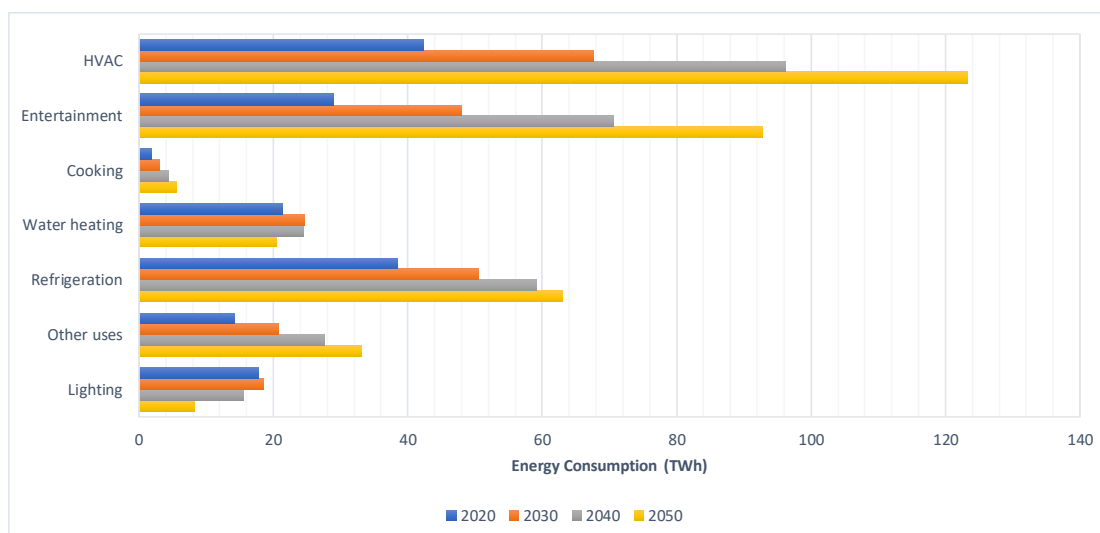


Figure 3. Energy consumption by end use for the Brazilian residential sector – PNE 2050. Source: EPE (2016).

In 2018, new Minimum Energy Performance Standard (MEPS) were defined for non-inverter machines in Brazil. Since the MEPS were established in Brazil, they have been raised very slowly with an insignificant impact. The new requirement is now 3.02 W/W, measured in full load only.

The main metrics used in air conditioning system are the Energy Efficiency Ratio (EER), and the Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF). In Brazil, the metric adopted is the Energy Efficiency Ratio (EER) and the energy efficiency of HVAC systems is measured according to ISO 5151 (2017), where the equipment is evaluated under full load and under a standard temperature condition for heat absorption and rejection. As this methodology does not evaluate part-load operating efficiency of the equipment, the inverter systems are classified in the same category as normal split systems. Consequently, consumers can be misled when purchasing an air conditioner, since in normal use the equipment operates most of the time under partial load. Measurement procedures considering part load operation and aligned with international standards need to be established in Brazil. Units of measurement and measurement procedures should be consistent to be possible to compare the energy performance of HVAC systems in different locations around the world (CB3E, 2015). Applicable international standards in this area are: ISO 16358 (2013), EN 14835 (2016) and ASHRAE 116 (2010).

In Brazil, we have two accredited laboratories by INMETRO to measure the efficiency of split systems and they are fit only for full load tests as prescribed today. They are CEPTEL – Electrical Energy Research Center and LABELO - Specialized Electric-Electronic Laboratories from The Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul. The CEPTEL laboratory will be adapted to partial load measurements in 2019/2020 by investments from PROCEL. The LABELO laboratory is involved in the research project for PROCEL to define the new method to be used for partial load measurements (probably using ISO 16358). INMETRO (2019) classifies the air conditioners into four categories: A (more efficient), B, C and D (least efficient), as shown in Table 1. With the new requirements established in 2018 current levels C and D will disappear.

Table 1. Split Hi-Wall – INMETRO classification.

Categories	Coefficient of Performance
A	COP >3,23
B	3,02 < COP ≤ 3,23
C	2,81 < COP ≤ 3,02
D	2,60 < COP ≤ 2,81

In 2018, the "*Instituto Clima e Sociedade*" (Institute Climate and Society- ICS) has launched the Kigali Project in Brazil. This project is part of Kigali Cooling Efficiency Program (K-CEP), an international initiative to help local governments, international organizations and NGOs to engage in higher energy efficiency implementation in the HVAC sector. This project aims at changing the energy efficiency of HVAC systems in Brazil aligning it to the best international practices together with the refrigerant transition towards lower GWP. A market assessment study is being carried out by Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) to help policy makers in new Minimum Efficiency Performance Standards (MEPs) to be implemented.

In 2018, PROCEL has contracted the LABELO - Specialized Electric-Electronic Laboratories from The Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul to develop the Brazilian methodology to measure the seasonal efficiency of SPLIT systems and present measurement of some equipment bought in Brazil and abroad. The project is expected to finish in March 2020.

The way we use split systems in Brazil is rather diverse depending on the climatic zone and sector of use (residential or non-residential). Little is known about the real

operation of split systems in the field. PROCEL has contracted in 2018 a national survey to determine ownership of appliances and time of use. This is done by interviews and based on declared ownership and usage. The full result of this survey should become available by the end of 2019 and will be very useful to define residential operational conditions for different parts of Brazil. Split systems are also used in the non-residential sector during the day and are contributing to the peak shift of the electric sector from the evening to the middle of the afternoon and still very little is known about the patterns of use in this sector all over Brazil.

In the end of May, a meeting with INMETRO, ICS, PROCEL, laboratories and manufactures decided to use ISO 16358 to compare the energy performance of HVAC systems as it has been the most common standard adopted as it is one of the least complex and because the efficiency is informed in CSPF. In this meeting, LBNL and LABELO laboratories presented data to generate bin distributions that can be used for ISO's seasonal efficiency calculation. However, the temperature of the measurements and the number of measurement points is still under discussion.

2. THE MEASUREMENTS DONE IN 3 DIFFERENT CITIES IN BRAZIL

Daikin is committed to help the transition to higher efficiency in the AC market and commissioned field measurements to compare the energy consumption of ordinary AC split systems (A level in Brazil) with inverter machines (also A level in Brazil) to show the possible reduction in consumption. Field measurements were carried out in São Paulo, Rio de Janeiro and Florianópolis in normal rooms exposed to the local climate. The main goal was to compare the energy saving of an inverter versus an on/off split system. Daikin provided the machines.

2.1. Instituto Mauá de Tecnologia (São Paulo)

Two split systems 9000 Btu/h one with inverter technology running on R-32 and one without inverter running on R-410A were installed in two similar office rooms with similar thermal loads in São Paulo.

According to NBR – 15220-3: Thermal performance of buildings (ABNT, 2005) the Brazilian territory is divided into 8 climatic zones and São Paulo is located in Zone 3. Considering Koppen's climate classification, São Paulo is defined as a Humid Subtropical Climate. The number of cooling degree hours (24°C) is 2847 (GOULART et al., 1998). According to Table A-6 - International Stations and Climate Zones from ASHRAE Standard 169 (2013) the representative zone for the weather file of São Paulo is zone 2A (Appendix A).

Measurements were carried out from March to May 2018 running the machines from 7 AM to 9 PM (Monday to Friday), and from 7 AM to 1PM on Saturday. To increase the thermal load, 1 heater with 900 W in each room was switched on from 10 AM to 6 PM. Measurements were performed using two procedures: one proposed by Daikin, (called the Daikin protocol) and other proposed by IMT increasing the number of parameters measured. A computational platform of data acquisition and logging was implemented for the IMT protocol (LabVIEW). Both procedures required a significant amount of data and an intensive work for its treatment. Regarding the energy saving results, the inverter system is significantly more efficient than an on/off system. The energy savings presented by the inverter unit in relation to the non-inverter unit was 61% in March, 64% in April and 70% in May (Figure 4).

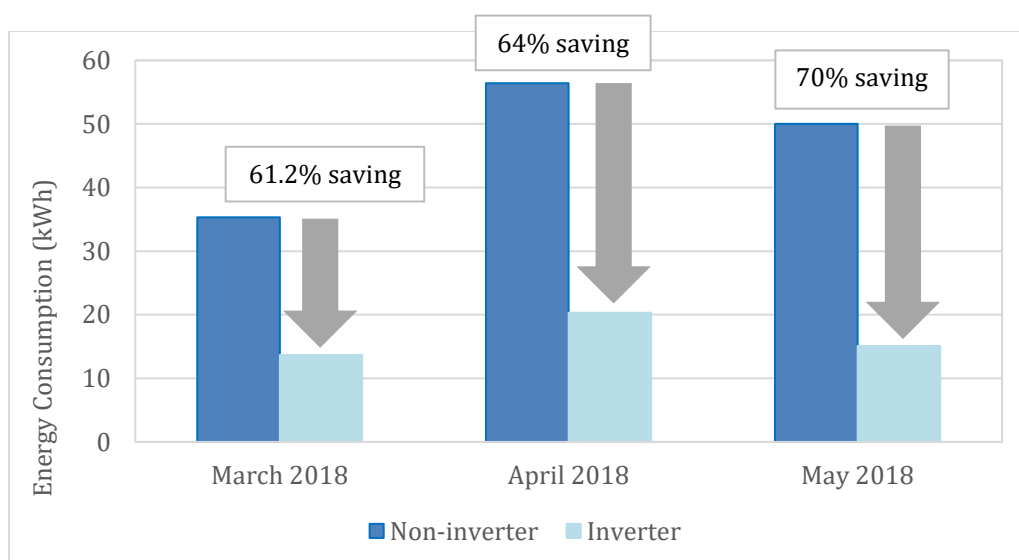


Figure 4. Inverter *versus* non-inverter energy consumption – São Paulo

2.2. PUC Rio (Rio de Janeiro)

Two split systems 9000 Btu/h, one with inverter technology running on R-32 and one without inverter running on R-410A, were installed in one office in Rio de Janeiro.

According to NBR – 15220-3: Thermal performance of buildings (ABNT, 2005) Rio de Janeiro is located in Zone 8. Considering Koppen's climate classification, Rio de Janeiro is defined as a Tropical Savanna Climate. The number of cooling degree hours (24°C) is 10981 (GOULART et al., 1998). According to Table A-6 - International Stations and Climate Zones from ASHRAE Standard 169 (2013) the representative zone for the weather file of Rio de Janeiro is zone 1A (Appendix A).

Measurements were carried out from April to June 2018 running the machines from 8 AM to 9 PM (Monday to Saturday) in an alternate manner, one day each machine. Each machine operated 36 days in a total. The energy saving from the inverter machine in relation to the non-inverter was approximately 60% (Figure 5). The comparison between both machines was based on four days (two for the inverter and two for the non-inverter) with similar external temperatures.

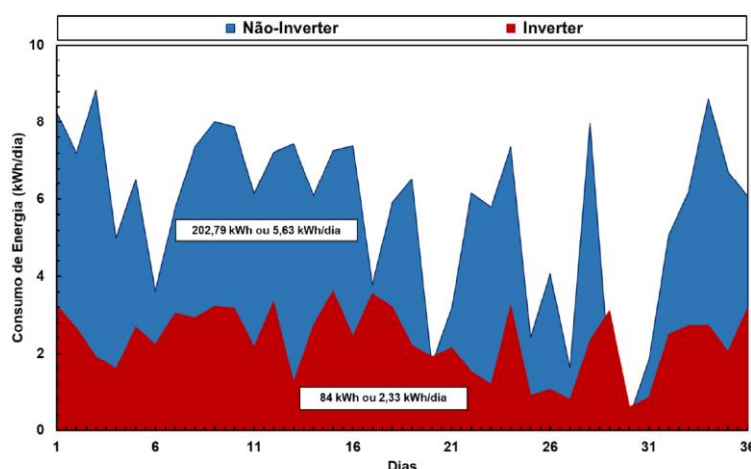


Figure 5. Inverter *versus* non-inverter energy consumption – Rio de Janeiro
Source: Demonstration Project R-32 Inverter

2.3. CB3E UFSC (Florianópolis)

In Florianópolis two sets of measurements were carried out, in the first the comparison was between inverter with R-410A versus non-inverter with R-410A and the second between inverter with R-410A and inverter with R-32.

According to NBR – 15220-3: Thermal performance of buildings (ABNT, 2005) Florianópolis is located in Zone 3. Considering Koppen's climate classification, Florianópolis is defined as a Humid Subtropical Climate. The number of cooling degree hours (24°C) is 4517 (GOULART et al., 1998). According to Table A-6 - International Stations and Climate Zones from ASHRAE Standard 169 (2013) the representative zone for the weather file of Florianópolis is zone 2A (Appendix A).

2.3.1 Inverter with R-410A and non-inverter with R-410A

The inverter machine running on R-410A was also compared with a non-inverter machine running on R-410A. Measurements were carried out from January to February 2018 (summer period) running the machines during different times of the day and thermal load. The energy saving from the inverter machine in relation to the non-inverter varied from 21% to 60%. The lowest saving was for test conditions above the thermal capacity of the machines (24h AC running tests during 2 days and heater 2000W 24h per day). The highest savings 59% and 60% were partial load test conditions (24h AC running tests during 7 and 8 days and heater 1000W 24 h analysing only the night period). From the 73 operation conditions that were analysed, 37 had savings higher than 50%, 29 between 40% and 50% and 7 between 20% and 40%. Table 2 presents the savings achieved for each case mentioned before.

Table 2. Non-inverter (R-410A) *versus* inverter (R-410A) – Florianópolis.

Test	AC running	Heater (W)	Average Power* (W)		Savings	
			Non-inverter	Inverter	W	%
			R-410A	R-410A		
1	24 hours	0	202	98	104	51
2	24 hours	0	183	106	77	42
3	24 hours	0	186	75	111	60
4	24 hours	2000	744	588	156	21
5	24 hours	1000	540	252	288	53
6	24 hours	1000	556	300	256	46
7	24 hours	1000	509	198	311	61
8	morning	1000	724	493	231	32
9	night	1000	621	315	306	49
10	24 hours	1000	547	267	280	51
11	24 hours	1000	556	322	234	42
12	24 hours	1000	530	215	315	59
13	morning	1000	658	388	270	41
14	night	1000	679	428	251	37

* Energy consumption divided by time

2.3.2 Inverter R-410A x Inverter R-32

Two split systems with cooling capacity of 9000 Btu/h with inverter technology one running on R-410A and one running on R-32 were installed in two similar office rooms

with similar thermal loads. The rooms had no occupation, no lights, only an air heater (1000 W) was switched on in some measurements.

Measurements were carried out from March to May 2018 (summer period) running the systems during different times of the day and thermal load. The energy saving from the inverter system running on R-32 in relation to the inverter system running on R-410A varied from 16% to 34%. The lowest and the highest saving were for test conditions running 24h. The first test (Test 1), measured in March lasted 11 days and presented an energy saving of 34%. In April (Test 2) the energy saving was reduced to 16%. The difference between both tests was the set point for the inverter system running on R-32: Test 1 (set point of 24°C), and Test 2 (set point of 23°C). Table 3 presents the savings achieved for each case mentioned before.

Table 3. Inverter (R-410A) *versus* inverter (R-32) – Florianópolis.

Test	AC running	Heater (W)	Average Power* (W)		Savings	
			Inverter	Inverter	W	%
			R-410A	R-32		
1	24 hours	1000	254	167	87	34
2	24 hours	1000	196	165	31	16
3	morning	1000	223	170	53	24
4	morning	1000	176	141	35	20
5	night	1000	217	175	42	19
6	night	1000	74	62	12	17

* Energy consumption divided by time

2.4. Discussion of results

The measurements carried out in Rio de Janeiro and São Paulo showed savings from 60% to 70% and are basically offices being used during the day under partial load.

The measurements in Florianópolis had more diverse operation conditions and presented a wider range of savings (21% to 60%) with more than half of the tests showing savings above 50%. Figure 6 presents the savings achieved for each measured mentioned before.

Clearly, when Brazil discusses the seasonal rating implementation, the times of use and partial loads to be considered have to be representative to allow proper savings calculations.

The field measurements previous mentioned presented mostly savings between 21% and 60%. This savings shows high differences when compared to building energy simulation saving estimations done by LabEEE (LabEEE, 2018). The building energy simulation for split systems is primarily based on performance curves. More detailed information about those performance curves is essential to simulate the real performance of inverter systems in buildings.

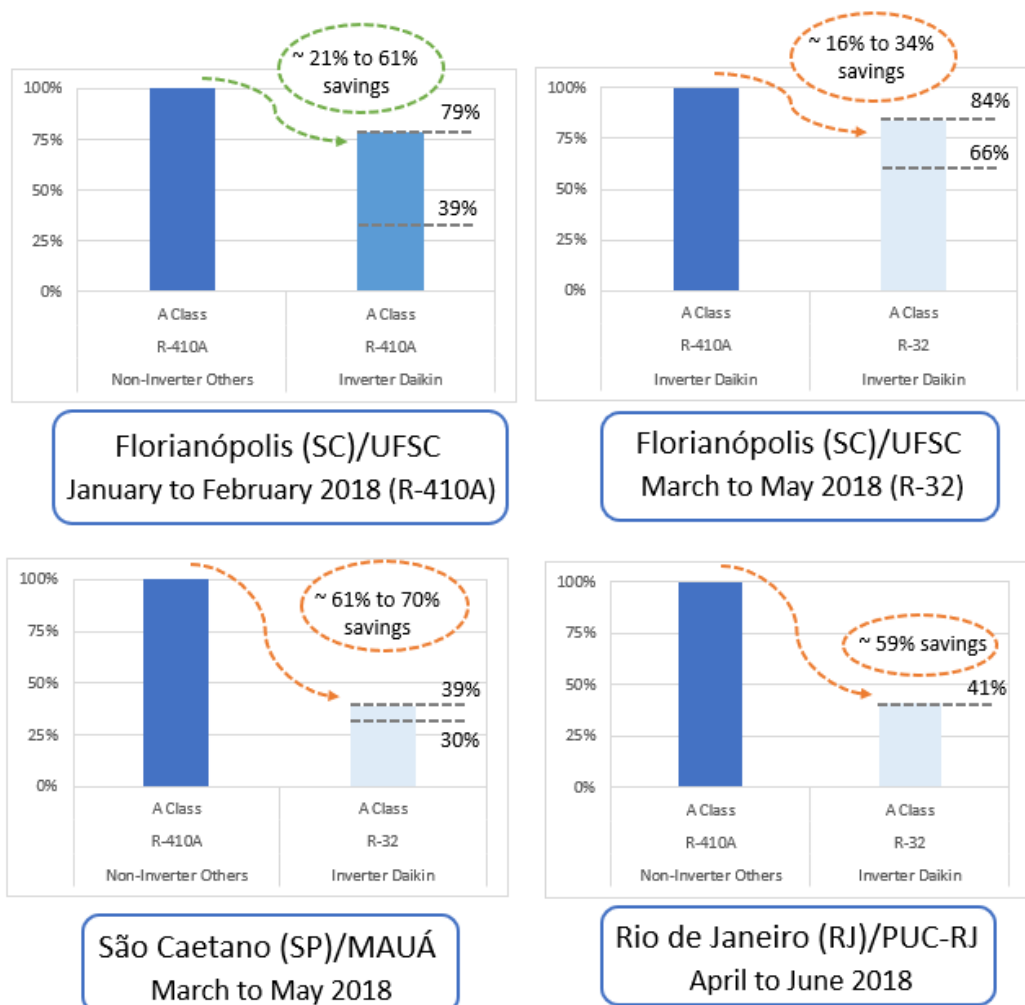


Figure 6. Results from inverter systems.

3. THE LINK WITH THE BRAZILIAN BUILDING ENERGY LABELLING SCHEME

Brazil has an energy labelling system for residential and non-residential buildings. They were implemented in 2009 (non-residential) (BRASIL, 2009) and 2010 (residential) (BRASIL, 2010). This methodology is now being updated and a public hearing was done in 2018 for non-residential (CB3E, 2018a) and will be done in 2019 (CB3E, 2018b) for residential. In these new methodologies of rating, the air conditioner efficiency will be taken into account.

The Brazilian regulation for residential buildings classifies buildings according to four levels: from "A" (most efficient) to "D" (least efficient) (Figure 7).

The building envelope classification can be based on two methods: (1) the simplified method and (2) the simulation method. Water heating system is also evaluated depending on the building typology. The simplified method is based on a surrogate model using artificial neural network of annual thermal loads (cooling and heating) based on simulations for different inputs data, such as building size, envelope variables and roof/wall/floor exposure. The residential methodology explores the potential for natural ventilation, allowing window to be opened based on temperature and times of

use. The estimated primary energy consumption of the real building should be compared between the reference building (defined according to the Brazilian regulation). In order to determine the building energy consumption, the annual thermal load must be divided by a value of the performance coefficient (COP). The value of the COP for the reference building is determined according to the value established by INMETRO, representing a split system with level A (COP = 3,24). This value of COP represents the minimum value for level A, and the real building can use a higher COP according to the installed equipment. Instead of dividing by the COP – Coefficient of Performance, it should be more realistic to divide by the Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF).



Figure 7. Brazilian regulation for residential building.

The Brazilian regulation for non-residential buildings classifies buildings according to five levels: from "A" (most efficient) to "E" (least efficient) (Figure 8). The methodology of classification for non-residential buildings is similar to the one for non-residential buildings in Brazil: (1) the simplified method and (2) the simulation method. The simplified method is also based on the results of a surrogate model for calculation of the energy performance of building envelopes. The lighting and air conditioning systems are also analyzed. The air conditioning split system assessment depends on the INMETRO rating still based on COP. The result of the total building thermal load is divided according to COP of the system to know the total building energy consumption. As soon as Brazil implements the CSPF rating it will have to be introduced in the building energy labelling also. The mean Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF) could be adopted or based on a mean for each city regarding climatic diversity and building operating.

In Brazil, there are no minimum efficiency standards for chillers, VRF (variable refrigerant flow) and self-contained air conditioning system. Therefore, the Brazilian regulation for non-residential buildings adopted the System Part Load Value (SPLV) to determine the efficiency of the system. SPLV is a single numerical indicator of part-load performance and a representative indication of a system performance operating under specific conditions. The SPLV calculation is based on the annual thermal load and the performance of the entire air conditioning system, considering four thermal

load conditions (100%, 75%, 50% and 25%). It is based on IPLV (Integrated Part Load Value) calculation methodology for equipment but covers all equipment involved in the air conditioning system and is calculated specifically for the project using actual weather data, actual part load characteristics, actual equipment performance, and the anticipated operating hours.

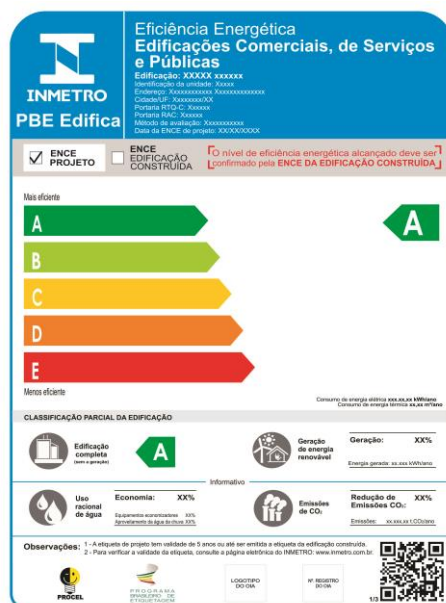


Figure 8. Brazilian regulation for non-residential building.

Air conditioning systems with inverter are gaining popularity around the world. The potential of building energy simulation (BES) to properly model different types of air conditioning systems is becoming a key element to compare and analyse the energy performance of air conditioning systems under full year operations. A comparison study between the simulation results of an inverter and non-inverter machine can contribute to assess their cooling and heating energy performance, particularly in partial load operation. BES results can contribute with information that promotes the energy efficient use in buildings. However, it is important to note that building energy simulation is based on several input data and machine performance has to be properly accounted.

Important and recent initiatives are the ISO/TC 163 – "Thermal performance and energy use in the built environment" linked with the CEN/TC 371 – "Energy Performance of Buildings project group", and the ASHRAE 205P - "Standard Representation of Performance Simulation Data for HVAC&R and Other Facility Equipment" (2019). These two movements agree in the points of commonality of the input parameters between building and technical system calculation.

ASHRAE standard is to facilitate equipment data exchange formats to improve the accuracy and efficiency of equipment modeling in simulation software. ASHRAE 205P will allow manufacturers and other data producers to implement data writing and reading methods supporting detailed performance data information such as capacity and input power for all operating conditions. On the other hand, ISO/CEN Standards (so called "set of EPB standards") provide ways to calculate the energy need and energy use of a building with its installations. The packaged EN ISO standards have been developed to clarify the relationship between buildings and the technical system (cooling, heating, lighting, etc.) and to be able to evaluate the impact of each system.

4. CONCLUSIONS

Based on this overview the following conclusions can be drawn regarding AC split systems with inverter:

1. As split machines are a commodity being sold worldwide, it is important to increase the minimum energy efficiency according to international levels;
2. The measurement procedures should be based on international standards;
3. The Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF) provides a more accurate measure of efficiency and should be implemented in Brazil as soon as possible;
4. Inverter systems can have enormous contribution to energy savings in Brazil;
5. Information regarding the HVAC performance curves are essential to allow proper evaluation of its advantage when using building simulation for labeling or retrofit evaluation;
6. Incentives regarding low-energy buildings have the potential to induce large modifications in the building industry and to stimulate technological development and innovation;
7. Regarding public policy, many upgrades are necessary. First to adopt CSPF as the measure of efficiency in air conditioning system in Brazil. The Brazilian energy efficient label should be updated to show the real value of efficient machines in the market, adding information also to be used in the building labels. The PROCEL seal should also be updated to show the most efficient machines available. Results from Kigali project can help policy makers in new Minimum Efficiency Performance Standards (MEPs) to be implemented. The main goal is to incorporate all best practices mentioned to reduce the impact of Split systems in the Brazilian energy grid.

5. REFERENCES

ABNT, Brazilian Association for Technical Standards (in Portuguese). **NBR15220**: Desempenho térmico de edificações, Rio de Janeiro, 2005.

ABRAVA - Brazilian Association of Refrigeration, Air Conditioning, Ventilation and Heating (2017). Mercado residencial. Available at <https://www.dci.com.br/industria/mercado-residencial-puxa-alta-de-5-no-setor-de-ar-condicionado-em-2017-1.644125>.

ASHRAE, 2010. **ASHRAE 116**: Methods of testing for rating seasonal efficiency of unitary air-conditioners and heat pumps. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2010, Atlanta.

ASHRAE, 2013. **ASHRAE 169**: Climatic Data for Building Design Standards. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2013, Atlanta.

ASHRAE, 2019. **ASHRAE 205P**: Standard Representation of Performance Simulation Data for HVAC&R and Other Facility Equipment. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2019, Atlanta.

CB3E, 2015. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Estado da arte em eficiência energética: sistemas de condicionamento de ar. 2015.

CHOI, J. New Energy evaluating methodology Of Air Conditioner and Heat Pump. The third Asia Heat Pump & Thermal Storage Technologies Network conference. 2013.

EN, European Standard. **EN 14825**: Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Testing

and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance, British Standard Institution, 2016, London.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de Energia 2050**. Rio de Janeiro, 2016. Available at: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>

IEA. The future of cooling. Paris: [s.n.], 2018.

ISO, International Organization for Standardization. **ISO 5151**: Non-ducted air conditioners and heat pumps – Testing and rating for performance, International Organization for Standardization, 2017, Geneva.

ISO International Organization for Standardization. **ISO 16358-1**: Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps – Testing and calculating methods for seasonal performance factors – Part 1: Cooling seasonal performance factor, International Organization for Standardization, 2013, Geneva.

GOULART, S.V.; LAMBERTS, R.; FIMINO, S. 1998. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras. Eletrobrás, 1998.

LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Avaliação de indicadores de desempenho para sistemas de refrigeração. Relatório Interno. 2018.

SHAH, N.; KHANNA, N.; KARALI, N.; PARK, W. Y.; QU, Y.; ZHOU, N. Energy analysis and environmental impacts division. Lawrence Berkeley National Laboratory. International Energy Studies Group. China Energy Group, 2017.

HOLUJ, B.; HILLBRAND, A.; SHAH, N. Regional Policy Alignment: Model Energy & Refrigerant Regulations for Air Conditioners. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2019.

APPENDIX A

Table A-6 - International Stations and Climate Zones from ASHRAE Standard 169 (2013).

Source: ASHRAE, 2013. **ASHRAE 169**: Climatic Data for Building Design Standards. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2013, Atlanta.

TABLE A-6 International Stations and Climate Zones (Continued)
(Note: Design Conditions tables [SI and I-P] for each station, named by WMO#, can be accessed online at www.ashrae.org/169_2013data.)

Country/LOCATION	WMO#	Lat	Long	CZ	Precipitation	
					mm	in.
MOSTAR	133480	43.33	17.78	3A	1632	64
SARAJEVO/BUTMIR	133530	43.82	18.33	5A	993	39
SARAJEVO-BIJELAVE	146540	43.87	18.43	5A	921	36
Botswana (BWA)						
SERETSE KHAMA INTER	682400	-24.55	25.92	2B	449	18
Brazil (BRA)						
ANAPOLIS (BRAZ-AFB)	834190	-16.23	-48.97	2A	1584	62
ARACAJU (AEROPORTO)	830950	-10.98	-37.07	0A	1489	59
BELEM (AEROPORTO)	821930	-1.38	-48.48	0A	2958	116
BELO HORIZONTE	835870	-19.93	-43.93	2A	1477	58
BELO HORIZONTE (AERO)	835830	-19.85	-43.95	2A	1477	58
BOA VISTA (AEROPORTO)	820220	2.83	-60.70	0A	1547	61
BRASILIA (AEROPORTO)	833780	-15.87	-47.93	2A	1515	60
CAMPINAS (AEROPORTO)	837210	-23.00	-47.13	2A	1354	53
CAMPO GRANDE (AERO)	836120	-20.47	-54.67	1A	1498	59
CARAVELAS (AEROPORTO)	834970	-17.63	-39.25	1A	1472	58
CUIABA (AEROPORTO)	833620	-15.65	-56.10	0A	1346	53
CURITIBA (AEROPORTO)	838400	-25.52	-49.17	3A	1604	63
EDUARDO GOMES INTL	821110	-3.03	-60.05	0A	2282	90
FERNANDO DE NORONHA	824000	-3.85	-32.42	0A	1029	41
FLORIANOPOLIS (AERO)	838990	-27.67	-48.55	2A	1578	62
FORTALEZA (AEROPORTO)	823980	-3.78	-38.53	0A	1628	64
FOZ DO IGUAÇU (AERO)	838270	-25.52	-54.58	2A	1788	70
GALEAO	837460	-22.82	-43.25	1A	1397	55
GOIANIA (AEROPORTO)	834240	-16.63	-49.22	1A	1628	64
GUARULHOS	837753	-23.43	-46.47	2A	1472	58
LONDRINA (AEROPORTO)	837680	-23.33	-51.13	2A	1551	61
MACAPA	820980	0.03	-51.05	0A	2733	108
MACEIO (AEROPORTO)	829930	-9.52	-35.78	1A	1627	64
MANAUS (AEROPORTO)	823320	-3.15	-59.98	0A	2282	90
NATAL AEROPORTO	825990	-5.92	-35.25	0A	1306	51
PORTO ALEGRE (AERO)	839710	-30.00	-51.18	2A	1353	53
PORTO VELHO (AERO)	828240	-8.77	-63.92	0A	2230	88
RECIFE (AEROPORTO)	828990	-8.07	-34.85	0A	2353	93
RIO BRANCO	829170	-10.00	-67.80	1A	1451	57
RIO DE JANEIRO (AERO)	837550	-22.90	-43.17	1A	1154	45
SALVADOR (AEROPORTO)	832480	-12.90	-38.33	0A	1804	71
SANTAREM-AEROPORTO	822440	-2.43	-54.72	0A	2312	91
SAO LUIZ (AEROPORTO)	822810	-2.60	-44.23	0A	1982	78
SAO PAULO (AEROPORTO)	837800	-23.62	-46.65	2A	1511	59
TERESINA (AEROPORTO)	825790	-5.05	-42.82	0A	1392	55
UBERABA	835760	-19.78	-47.97	2A	1631	64
VITORIA (AEROPORTO)	836490	-20.27	-40.28	1A	1289	51

AUGUST 2019

Adopting a Seasonal Efficiency Metric for Room Air Conditioners **A Case Study in Brazil**

Adopting a Seasonal Efficiency Metric for Room Air Conditioners

A Case Study in Brazil

Won Young Park

Nihar Shah

Virginie Letschert

Energy Analysis and Environmental Impacts Division

Lawrence Berkeley National Laboratory

Roberto Lamberts

Laboratory for Energy Efficiency in Buildings

Federal University of Santa Catarina



This work was supported by the Kigali Cooling Efficiency Program (KCEP) under Lawrence Berkeley National Laboratory Contract No. DE-AC02-05CH11231.

August 2019

This document was prepared as an account of work sponsored by the Kigali Cooling Efficiency Program (KCEP). While this document is believed to contain correct information, neither KCEP nor any employee thereof, nor The Regents of the University of California, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by its trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by KCEP or any employee thereof, or The Regents of the University of California. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of KCEP thereof, or The Regents of the University of California. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory is an equal opportunity employer.

Increasing incomes and urbanization – as well as a warming climate – are driving up the global stock of air conditioners (ACs), particularly in emerging economies with hot climates. Because AC energy consumption is expected to increase substantially as the stock of room ACs rises, improving AC energy efficiency will be critical to reducing AC energy, life cycle cost, peak load, and emissions impacts. Variable-speed or inverter technology improves AC efficiency, but a seasonal energy-efficiency metric – such as seasonal energy efficiency ratio (SEER) or cooling seasonal performance factor (CSPF) – must be adopted to maximize the technology’s energy savings potential and accurately communicate the savings to consumers, particularly in hot and humid countries such as Brazil.

This study supports Brazil’s effort to improve AC energy-efficiency standards by adopting CSPF in accordance with International Organization for Standardization (ISO) Standard 16358. After providing an overview of seasonal AC energy-efficiency metrics, we develop national and regional outdoor temperature bin hours (sets of hours at each outdoor temperature that requires cooling) for room AC use in Brazil. We use those temperature profiles to evaluate the efficiency of five example room AC configurations: two fixed-speed units and three variable-speed units with various efficiencies. The results show the superiority of CSPF over the traditional energy efficiency ratio (EER) metric for capturing the higher seasonal efficiency of variable-speed ACs. The results also quantify the potential energy savings from the variable-speed ACs, which range from 25%–60% compared with the lowest-efficiency fixed-speed unit and represent relatively conservative estimates. Based on this analysis, we make several recommendations for Brazil:

- 1 Consider adopting the ISO CSPF metric based on Brazil-specific temperature bin hours of AC use. In addition to improving Brazil’s room AC standards and labeling, adopting this widely used metric would facilitate harmonization with international AC-efficiency efforts.
- 2 Consider using only a single, average set of temperature bin hours for all of Brazil. CSPF results vary by only 2%–8% across the national and regional temperature bin hours analyzed in this study. However, it would be useful to consider potentially large variations in absolute impacts (energy use, electricity cost, emissions, etc.) based on Brazil’s regional climates.

- 3 For determining the CSPF of fixed-speed units, reduce compliance costs by using only one set of test data at full-capacity operation at 35°C, and use another set of data points at 29°C calculated by predetermined equations.
- 4 For variable-speed units, determine CSPF while reducing compliance costs by using two sets of test data at full- and half-capacity operation at 35°C and another set of data points at 29°C calculated by predetermined equations, without considering minimum-capacity operation.

The analyses demonstrated in this report for Brazil can also be applied to considering adoption of seasonal AC energy-efficiency metrics in other countries.

Acronyms

AC	air conditioner
AHRI	Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute
ANSI	American National Standards Institute
APF	annual performance factor
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations
ASHRAE	American Society Of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CC	cooling capacity
CD	degradation coefficient
CDD	cooling degree-day
CDH	cooling degree-hour
CO₂-e	CO ₂ equivalent
COP	coefficient of performance
CSPF	cooling seasonal performance factor
DB	dry bulb
EER	energy efficiency ratio
EN	European Standard
EOL	end of life
EU	European Union
EU SEER	European Union Seasonal Energy Efficiency Ratio
GB	“Guobiao” (Guóbiāo), which means “national standard”
GHG	greenhouse gas
GWP	global warming potential
HDD	heating degree-day
HSPF	heating seasonal performance factor
INMETRO	National Institute of Metrology, Quality and Technology
IS	Indian Standards
ISEER	India seasonal energy efficiency ratio
ISO	International Organization for Standardization
JIS	Japanese Industrial Standards
KCEP	Kigali Cooling Efficiency Program
KS	Korean Standards
LabEEE	Laboratory for Energy Efficiency in Buildings
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LCC	lifecycle cost
MEPS	minimum energy performance standards
MOTIE	Ministry of Trade, Industry, and Energy
PUC-Rio	Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro
SCOP	seasonal coefficient of performance
SEER	seasonal energy efficiency ratio
SHINE	Standards Harmonization Initiative for Energy Efficiency
TEWI	total equivalent warming impact
UFSC	Federal University of Santa Catarina
WB	wet bulb

Table of Contents

ABSTRACT	4
TABLE OF CONTENTS	
1. INTRODUCTION	8
2. OVERVIEW OF SEASONAL ENERGY-EFFICIENCY METRICS FOR ROOM ACS	11
3. DEVELOPING OUTDOOR TEMPERATURE BIN HOURS FOR ROOM AC USE IN BRAZIL	17
4. EVALUATING THE EFFICIENCY PERFORMANCE OF ROOM ACS	21
4.1. CSPF Without Minimum-Capacity Test	23
4.2. CSPF for Variable-Speed Units with Minimum-Capacity Test	26
4.3. Seasonal Energy Consumption and Savings Potential	27
5. RECOMMENDATIONS	29
ACKNOWLEDGMENTS AND REFERENCES	31
 ANNEX A: ASHRAE CLIMATE ZONE DEFINITIONS	 33
ANNEX B: OUTDOOR TEMPERATURE BIN HOURS	34
ANNEX C: EMISSIONS-SAVINGS POTENTIAL	35
ANNEX D: LIFECYCLE COST ANALYSIS	36

1. Introduction

PROJETO
KIGALI

1. Introduction

Energy-efficiency market-transformation programs for room air conditioners (ACs) were initially implemented in the 1990s and early 2000s in many countries. At that time, most countries adopted the energy-efficiency ratio (EER) metric¹ – defined as the ratio of the total cooling capacity (CC) to the effective power input to the device at any given set of rating conditions – for rating AC performance based on International Organization for Standardization (ISO) Standard 5151. Using EER facilitated comparison of performance across different markets and regions (IEA 2011).

Over time, AC manufacturers have improved the energy performance and reduced the costs of AC systems. For example, variable-speed (also known as inverter-driven) products that make ACs highly efficient already dominate mature AC markets such as Australia, Europe, Japan, South Korea, and the United States. Variable-speed compressors enable an AC unit to respond to changes in cooling requirements by operating at full or partial loads. This flexibility improves efficiency performance and reduces power consumption compared to the efficiency performance and power consumption of conventional ACs with fixed-speed compressors that cycle on and off.

Although fixed-speed units still dominate the room AC markets in developing countries, the market share of variable-speed room AC units is increasing. For example, the market share in sales of variable-speed room ACs in China, the world's largest room AC market, increased from 8% in 2007 to 65% in 2016 (Park et al. 2017). In India and South Africa, variable-speed ACs are achieving sales market shares of about 30% and 60%, respectively (TCM 2019, UNDP 2019).

Along with this trend toward variable-speed ACs, seasonal energy efficiency ratio (SEER) metrics have been designed to estimate AC performance based on part- and full-load operation at multiple temperature conditions, depending on climate. Local climatic conditions affect the amount of time an AC operates at part or full load, so climate-specific weighting is used in calculating SEER to provide a more representative measure of performance than the traditional EER. Adopting SEER metrics will help capture opportunities for reducing future energy consumption, particularly in countries where large seasonal variations in climate result in ACs running at part load for a larger amount of time (Park et al. 2017).

¹ Defined at the ISO T1 standard CC rating conditions for moderate climates at outdoor and indoor dry bulb temperatures of 35°C (95°F) and 27°C (80.6°F). EER is also defined as the ratio of net CC or the rate of net heat removal (in Btu per hour) to the total rate of electrical energy input (in watts) of a cooling system under designated operating conditions. Although coefficient of performance (COP) is often used for cooling efficiency instead of EER, ISO 5151 defines COP as the ratio of the heating capacity to the effective power input to the device at any given set of rating conditions.

In Brazil, 10 product categories of electrical equipment, including ACs, have minimum energy performance standards (MEPS). The AC MEPS and labeling requirements have been set based on EER in accordance with ISO 5151. However, as the share of variable-speed ACs in Brazil is rapidly increasing, reaching about 40%–50% in annual sales in 2018,² Brazil is in the process of adopting a seasonal energy-efficiency metric at the time of writing this report.

This study supports Brazil's effort to improve AC energy-efficiency standards by adopting the cooling seasonal performance factor (CSPF) metric in accordance with ISO 16358.

SECTION 2 | Provides an overview of seasonal energy-efficiency metrics for room ACs.

SECTION 3 | Develops outdoor temperature bin hours for room AC use in Brazil.

SECTION 4 | Evaluates the efficiency performance of room ACs using seasonal versus traditional metrics

SECTION 5 | Makes recommendations in support of Brazil's adoption of CSPF.

² The sales estimate is based on a comment from industrial participants at the Kigali Cooling Efficiency Program (KCEP) Workshop at the International Conference: Perspectives for Energy Efficiency Improvement in the Brazilian Air Conditioners' Market, March 25, 2019.

2. Overview of Seasonal Energy-Efficiency Metrics for Room ACs

PROJETO
KIGALI

2. Overview of Seasonal Energy-Efficiency Metrics for Room ACs

Climate-specific weighting is used to calculate an AC seasonal energy efficiency that represents performance better than the traditional EER does. In the United States, a seasonal energy-efficiency metric for ACs was developed in 1979 (Didion and Kelly 1979). Since the mid-2000s, as variable-speed ACs have proliferated, region-specific seasonal energy-efficiency metrics have been designed or adopted to estimate AC performance under regional climatic conditions, and they are increasingly used as alternatives to EER or COP to set standards and labeling requirements for ACs and heat pumps.

Seasonal efficiency metrics consider the impact of variations in outdoor temperature on cooling load and energy consumption, requiring (or optionally allowing) multiple test points to compute a seasonally weighted average efficiency. These metrics are intended to represent how the AC would perform over a typical cooling season in a representative building type with typical operating characteristics (Econoler et al. 2011). The seasonal efficiency metrics used in Japan, India, and countries in Southeast Asia are equivalent to ISO 16358:2013-defined metrics.³ Japan and India use their region-specific climatic conditions. Southeast Asian countries use the ISO reference temperature bin hours. The seasonal efficiency metrics used in China and South Korea are largely consistent with ISO 16358:2013-defined metrics, except that they use their region-specific climatic conditions and different ways of evaluating performance at part-load operation, along with minor adjustments. The SEERs used in the United States and European Union (EU) require more data points for outside temperature and part-load conditions than are required by the ISO standard. The European SEER (EU SEER) also includes the impact of standby and other low-power modes. Table 1 summarizes seasonal efficiency-related standards, calculation and test methods, and metrics for select economies.

³ Test procedures for ACs in these countries are based on the ISO 5151 standard. The ISO 16358:2013 standards specify the calculations for evaluating the seasonal performance factor—defined as cooling seasonal performance factor (CSPF, ISO 16358-1:2013), heating seasonal performance factor (HSPF, ISO 16358-2:2013), and annual performance factor (APF, ISO 16358-3:2013, which considers both cooling and heating efficiency for heat pumps)—of equipment with testing covered by ISO 5151, ISO 13253, and ISO 15042.

Table 1: Standards, Calculation and Test Methods, and Metrics for Seasonal AC Energy-Efficiency Evaluation

	Efficiency Standards and Labels	Seasonal Efficiency Calculation Methods	Efficiency Test Methods	Seasonal Efficiency Metrics
ISO	N/A	ISO 16358-1:2013 (CSPF) ISO 16358-2:2013 (HSPF) ISO 16358-3:2013 (APF)	ISO 5151-2010	CSPF, HSPF, APF
China	GB 12021.3-2010 GB 21455-2013	GB/T 7725-2004 GB/T 17758-2010	GB/T 7725-2004 GB/T 17758-2010	SEER, HSPF, APF
EU	(EU) No 626/2011 (EU) No 206/2012	EN 14825:2016	EN 14511:2013	SEER, SCOP
India	Schedule - 19 Variable Capacity Air Conditioners	ISO 16358-1:2013	IS 1391 (Part 1 & Part 2)	SEER
Japan	Top Runner Program	JIS C 9612-2013	JIS B 8615-1:2013	CSPF, HSPF, APF
South Korea	MOTIE Notification No. 2017-206	KS C 9306:2017	KS C 9306:2017	CSPF, HSPF
United States	82 FR 1786	ANSI/AHRI Standard 210/240:2008	ANSI/AHRI Standard 210/240:2008	SEER, HSPF

AHRI = Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute; ANSI = American National Standards Institute; EN = European Standard; GB = “Guobiao” (Guóbiāo), which means “national standard”; IS = Indian Standards; JIS = Japanese Industrial Standards; KS = Korean Standards; MOTIE = Ministry of Trade, Industry, and Energy; SCOP = seasonal coefficient of performance.

Note: The Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries in the ASEAN Standards Harmonization Initiative for Energy Efficiency (SHINE) program—including Indonesia, Malaysia, Philippines, Singapore, Thailand, and Vietnam – have agreed to use a test method based on ISO 5151 and CSPF defined in ISO 16358 to set MEPS.

Source: Authors’ work based on regional documents listed in Table 1, Xiaoli et al. (2015), Econoler et al. (2011), and APEC (2010).

The difference in seasonal efficiency metrics is primarily due to the outside temperature profiles that are used to aggregate steady-state and cyclic ratings into a seasonal efficiency value, as well as the ways of evaluating performance at part-load operation in the metric. Specific parameters to account for AC performance at part-load and/or lower-temperature operation in the efficiency metric vary by country. Table 2 shows options that can be used for seasonal energy-efficiency evaluation by the selected regional standards and ISO 16358.

The ISO CSPF calculation for fixed-speed units requires two sets of test data: measurement of performance (capacity and power input) at full-capacity operation at 35°C and 29°C. However, in practice, countries require only one set of test data at full-capacity operation at 35°C and use another set of data points at 29°C calculated by predetermined equations (see Table 2), resulting in no additional or different requirement for testing fixed-speed units compared to using the EER metric.

The CSPF calculation, including the India SEER (ISEER) calculation and the SEER calculation for variable-speed units (units with CC ≤ 7.1 kW) in China, requires two sets of test data at full- and half-capacity operation at 35°C and another set of data points at 29°C calculated by ISO 16358-determined equations.

The China SEER calculation for variable-speed units with CC > 7.1 kW and the Korea CSPF calculation require three sets of test data at full-, half-, and minimum-capacity operation at 35°C, and another set of data points at 29°C calculated by their standard predetermined equations. Minimum-capacity tests are typically conducted at the lowest-capacity control settings of units that allow steady-state operation at the given test conditions. In China, the minimum-capacity test is conducted at 25% of full capacity. ISO 16358 suggests the minimum-capacity test at 29°C be conducted first and allows the minimum-capacity test at 35°C to be measured or calculated using default values.

Table 2: Test Requirements and Options Used for AC Seasonal Energy-Efficiency Evaluation

Operating condition/Type	Fixed Speed	Variable Speed
Full capacity (35°C)	Required	Required
Half or intermediate capacity (35°C) ^a	Not applicable	Required
Minimum capacity (35°C)	Not applicable	Required/optional/not considered ^c
Full capacity (29°C)	Required/optional ^b	Optional ^c
Half or intermediate capacity (29°C)	Not applicable	Optional ^c
Minimum capacity (29°C)	Not applicable	Optional/not considered ^c

^a The ISO 16358-1:2013, JIS C 9612-2013 (Japan), and GB/T 7725-2004 (China) standards specify cooling half-capacity at outdoor temperature t to be 50% ($\pm 5\%$ or ± 0.1 kW) of full capacity at t at full-load operating conditions. In South Korea, the KS C 9306:2017 standard is based on full- and minimum-capacity tests. The intermediate-capacity test can be done at a level between the full and minimum capacities, if the minimum capacity is less than 50% of the full capacity.

^b While ISO 16358 requires full-load performance at the lower temperature to be measured, this is calculated in regional standards by using predetermined equations as below: $Capacity(29^\circ C) = Capacity(35^\circ C) \times 1.077$; $Power\ input(29^\circ C) = Power\ input(35^\circ C) \times 0.914$

^c Performance at the lower temperature can be calculated by using predetermined equations as below:
 ISO, China, India, Japan: $Capacity(29^\circ C) = Capacity(35^\circ C) \times 1.077$; $Power\ input(29^\circ C) = Power\ input(35^\circ C) \times 0.914$
 South Korea: $Capacity(29^\circ C) = Capacity(35^\circ C) \times 1.077$; $Power\ input(29^\circ C) = Power\ input(35^\circ C) \times 0.864$

The ISEER calculation in India does not consider minimum capacity tests.

ISO 16358 suggests the minimum capacity test at 29°C to be conducted first and allows the minimum capacity test at 35°C to be measured or calculated by using default values. China (for units with CC > 7.1 kW) and South Korea standards require the minimum capacity test at 35°C and allow the minimum capacity test at 29°C to be calculated by using default values.

Source: Authors' work based on ISO 16358:2013; China's GB/T 7725-2004, GB 21455-2013; India's Schedule 19; Japan's JIS C 9612:2013; South Korea's KS C 9306:2017.

The SEERs used in the EU and United States require more data points for outside temperature and part-load conditions than do those used in the Asian countries discussed above or the ISO standard (Table 3).⁴

Table 3: Comparison of Primary Test Conditions for Variable-Speed ACs

ISO			United States			EU			
Part load (%)	Outdoor DB/WB temp. (°C)	Indoor DB/WB temp. (°C)	Required test - compressor speed/cooling air volume	Outdoor DB/WB temp. (°C) [°F]	Indoor DB/WB temp. (°C) [°F]		Part load ratio (%)	Outdoor DB temp. (°C)	Indoor DB/ WB temp. (°C)
Full load	35/24	27/19						A	100
Half load			A2 - Max/Full	35.0/23.9 [95/75]	26.7/19.4 [80/67]	B	74	30	
Min load ^a			B2 - Max/Full	27.8/18.3 [82/65]		C	47	25	
Full load	29/19	27/19	Ev - Intermediate/ Intermediate	30.6/20.6 [87/69]		D	21	20	
Half load			B1 - Min/Min	27.8/18.3 [82/65]					
Min load ^a			F1 - Min/Min	19.4/11.9 [67/53.5]					

DB = dry bulb, WB = wet bulb.

^a According to ISO 16358-1:2013, minimum-load operation is defined as operation of the equipment and controls at minimum continuous capacity; 25% of minimum load is used under the Chinese standard.

Source: Authors' work based on ANSI/AHRI 210/240-2008, EN 14825:2016, and the sources in Table 1.

Degradation coefficient (CD) is a factor of efficiency loss due to the cyclic operation of an AC, which is an important parameter for on-off cycling performance evaluation. Although the value of CD is derived from experiments, CD = 0.25 is typically used for all regional metrics (APEC 2010, Econoler et al. 2011).

Outdoor temperature bin hours for AC use are defined as a set of hours at each outdoor temperature that requires cooling. Outdoor temperature bin hours used for calculating seasonal efficiency vary by regional standard. Table 4 summarizes outdoor temperature bin hours used for seasonal energy-efficiency calculations in select regions.

⁴ In the EU, the four test points (A, B, C, and D) are points that manufacturers are supposed to "declare." Hence, each point does not need to be tested; the points could also be calculated based on other tested points or based on the performance of similar units.

Table 4: Summary of Outdoor Temperature Bin Hours Used in Calculations of Seasonal Energy Efficiency by Region

	ISO	China	EU	India	Japan	South Korea	United States
Standard	ISO 16358: 2013	GB 21455-2013	EN 14825: 2016	Schedule 19	JIS C 9612: 2013	KS C 9306: 2017	ANSI/AHRI 210/240-2008
Temperature range	21–35°C	24–38°C	17–40°C	24–43°C	24–38°C ^c	24–38°C ^c	65–104°F (18.3–40°C)
Number of temperature bins	15 bins (1°C per bin)	15 bins (1°C per bin)	24 bins (1°C per bin)	20 bins (1°C per bin)	15 bins (1°C per bin)	15 bins (1°C per bin)	8 bins (5°F per bin)
Total hours of outdoor temperature bin	1,817	1,136	2,602 ^a	1,600	1,569	941	Defined fraction of total temperature bin hours ^b

^a According to EN 14825:2016, equivalent active-mode hours for cooling are assumed to be 350 hours, while the total hours of outdoor temperature bin equal 2,602 hours.

^b Bin hours of each outdoor temperature may be calculated by multiplying the fractional bin hours by the total annual cooling hours if the fractional bin hours are applicable. ISO 16358 also provides fractional bin hours.

^c Although JIS C 9612:2013 and KS C 9306:2017 define outdoor temperature bin hours in the range of 24–38°C, zero hours are actually assigned to 35–38°C in JIS C 9612:2013 and 38°C in KS C 9306:2017.

The background of the slide is a teal color with a subtle pattern of clouds. In the lower-left corner, there are several thin, white, wavy lines that sweep across the page. The title text is centered in the upper half of the slide.

3. Developing Outdoor Temperature Bin Hours for Room AC Use in Brazil

PROJETO
KIGALI

3. Developing Outdoor Temperature Bin Hours for Room AC Use in Brazil

To adopt a seasonal AC energy-efficiency metric to the Brazil standard, Brazil can use the ISO CSPF metric in accordance with ISO 16358-1:2013, based on Brazil-specific temperature bin hours. Brazil has diverse climates but is predominantly hot and humid, varying by region from extremely hot-humid (0A) to warm-humid (3A) in terms of American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) climate zone definitions, which are based on cooling degree-day base 10°C (CDD_{10}), heating degree-day base 18°C (HDD_{18}), annual precipitation, annual mean temperature, and so forth (see Annex A for details).⁵ For example, the São Paulo climate is classified as hot-humid (2A).

The Laboratory for Energy Efficiency in Buildings (LabEEE) at the Federal University of Santa Catarina (UFSC) also analyzed weather data for 175 cities in Brazil available as TMYx files,⁶ and it chose eight representative cities. Table 5 summarizes climate characteristics of the eight cities and classifies them by ASHRAE climate zone. Figure 1 shows annual outdoor temperature distributions of the eight cities as analyzed by LabEEE and Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL).

Table 5: Eight Cities in Brazil Defined by UFSC and Corresponding ASHRAE Climate Regions

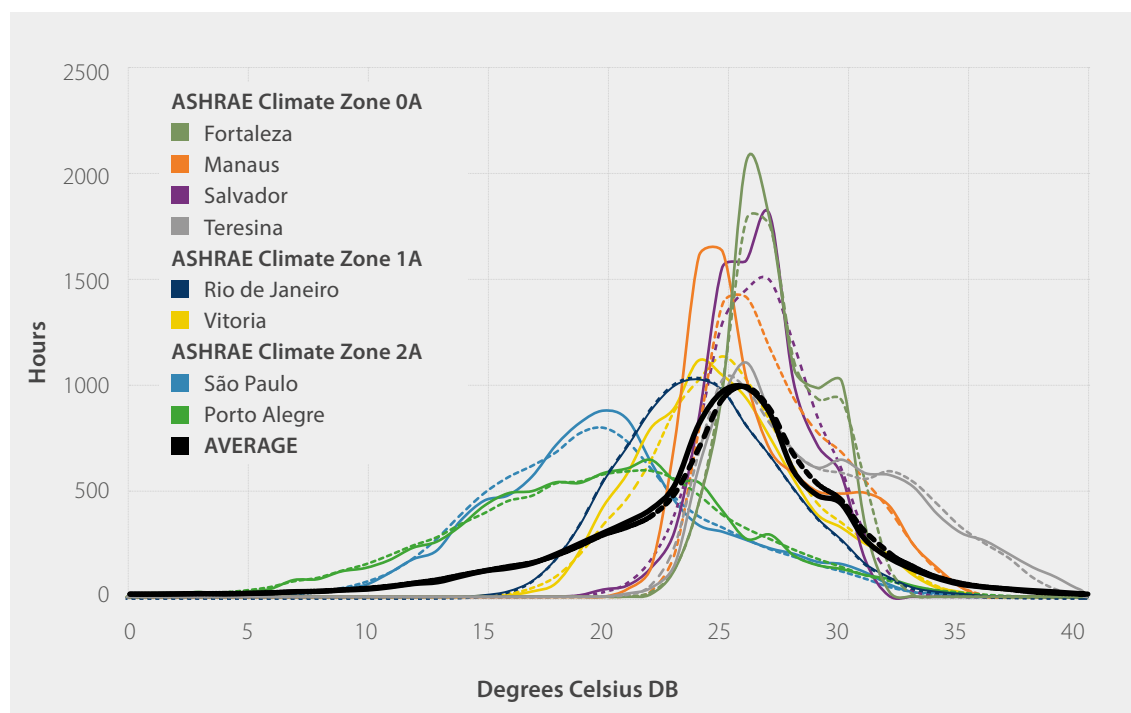
Climate Region	ASHRAE Climate Zone	CDD10.0	CDD18.3	Annual Average DB Temperature (°C)	Annual Average Precipitation (mm)
Fortaleza	0A	6,405	3,363	27.5	1,642
Manaus		6,497	3,455	27.8	2,286
Salvador		6,060	3,018	26.6	1,234
Teresina		7,072	4,030	29.4	1,392
Rio de Janeiro	1A	5,306	2,268	24.5	1,173
Vitoria		5,651	2,609	25.5	1,407
São Paulo	2A	3,886	1,064	20.6	1,587
Porto Alegre		3,708	1,139	20.1	1,374

Source: ASHRAE Weather Data 6.0

⁵ Degree days are the sum of differences between daily average temperatures and the base temperature (e.g., 10°C or 18°C).

⁶ Available at http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html. TMYx files contain typical meteorological data derived from hourly weather data through 2017 in the ISD (U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration's Integrated Surface Database) using the TMY/ISO 15927-4:2005 methods.

Figure 1: Outdoor temperature distributions of eight regions in Brazil



Solid curves represent LabEEE-analyzed outdoor temperature distributions. Dotted curves are LBNL analysis results.

The hours of each temperature bin for AC use can be determined based on AC use information in the country. According to the climate data, hours between 21°C and 35°C account for 82% of the annual outdoor temperature distributions in the eight regions of Brazil on average (46%–100% by location), while hours over 35°C account for less than 1%, except in Teresina (7%).

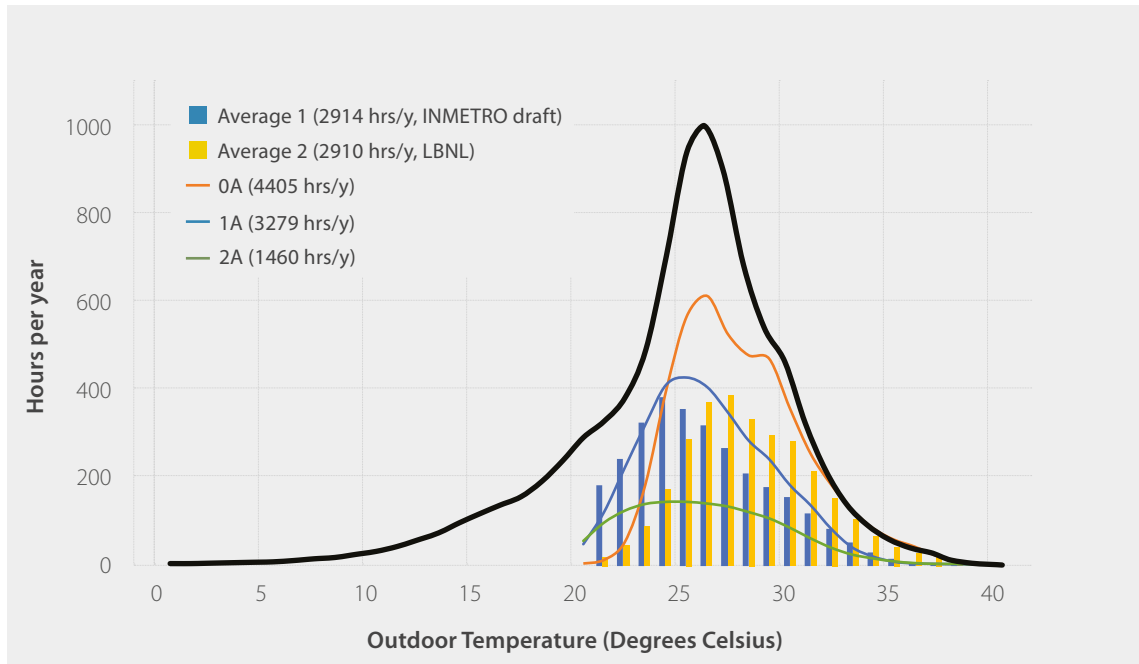
Based on the climate data discussed above, this study also estimates hours of room AC use at each outdoor temperature as follows:

- Outdoor temperature at 0% load $t_0 = 20^\circ\text{C}$, consistent with ISO 16358.
- Hours of AC use at temperatures between 21°C and 33°C are assumed to increase in proportion to cooling load.
- The total hours of per-unit AC use match with an average AC use (7.2–8.3 hours per day by region)⁷, resulting in 2,910 hours of annual AC use (yellow histogram in Figure 2).

The blue histogram in Figure 2 shows a set of outdoor temperature bin hours in the draft document for public consultation by the National Institute of Metrology, Quality and Technology (INMETRO), “Proposal of Partial Improvement of the Evaluation Requirements of Conformity for Air Conditioners Establishing a Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF) and Determining other Measures for the Availability of these Products in the National Market.”

⁷ According to a recent survey conducted by the National Electrical Energy Conservation Program (PROCEL)

Figure 2: Annual outdoor temperature distribution (black) and temperature bin hours assumed for AC use in Brazil (yellow and blue)



See Table 6 and Table B1 for details.

4. Evaluating the Efficiency Performance of Room ACs

PROJETO
KIGALI

4. Evaluating the Efficiency Performance of Room ACs

This study analyzes the efficiency performance of five room AC models according to the ISO CSPF calculation with five sets of temperature bin hours for AC use in Brazil. The ISO CSPF calculation refers to ISO 16358-1:2013 Clause 6.4 for fixed-speed units and Clause 6.7 for variable-speed units. The CSPF calculation for variable-speed units is based on two sets of test data – measurement of performance (capacity and power input) at full- and half-capacity operation at an outdoor dry bulb temperature of 35°C – and then performance at 29°C is calculated by ISO 16358-determined equations. The CSPF calculation for fixed-speed units is based on one set of test data – measurement of performance (capacity and power input) at full-capacity operation at an outdoor dry bulb temperature of 35°C – and then performance at 29°C is calculated by the predetermined equations. Table 6 summarizes the sets of outdoor temperature bin hours used in the ISO CSPF calculation. Table 7 summarizes basic specifications of the five select room AC models. Detailed information about temperature bin hours is available in Annex B.

Table 6: Summary of Outdoor Temperature Bin Hours Used in the ISO CSPF Calculation

	Average 1 (based on INMETRO draft)	Average 2 (LBNL)	0A	1A	2A
			(LBNL)		
			Fortaleza, Manaus, Salvador, Teresina	Rio de Janeiro, Vitoria	São Paulo, Porto Alegre
Efficiency calculation	ISO 16358-1:2013 CSPF				
Temperature range	21–38°C	21–40°C	21–40°C	21–38°C	21–38°C
Number of temperature bins	18 bins (1°C per bin)	20 bins (1°C per bin)	20 bins (1°C per bin)	18 bins (1°C per bin)	18 bins (1°C per bin)
Total hours of outdoor temperature bin	2,914 (8 hrs/d)	2,910 (8 hrs/d)	4,405 (12 hrs/d)	3,279 (9 hrs/d)	1,460 (4 hrs/d)

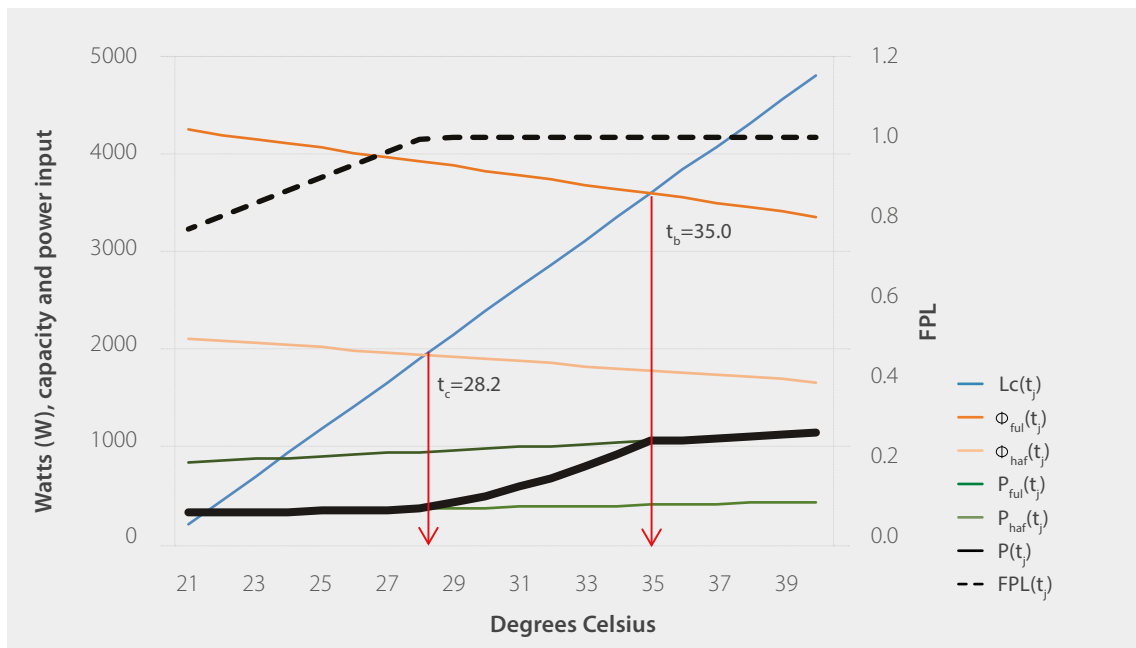
Table 7: Basic Specifications of the Five Room AC Models Analyzed

Sample	1	2	3	4	5
Compressor type	Fixed speed		Variable speed		
Nominal CC (kW)	3.5–3.6				
EER (W/W)	3.2	3.6	3.3	3.9	5.0

4.1 CSPF WITHOUT MINIMUM-CAPACITY TEST

As an example, Figure 3 shows key parameters – including cooling load, performance at full and half capacity, and part load factor⁸ – used for the Sample 3 CSPF calculation with Average 1 bin hours. The black bold line in Figure 3 represents cooling power input calculated based on the parameters. Figure 4 shows cooling load and energy consumption in kWh at each temperature. CSPF is calculated as $\Sigma (\text{cooling load} \times \text{hours}) / \Sigma (\text{power input} \times \text{hours})$.

Figure 3: Cooling capacity, power input, and cooling load of Sample 3 (variable-speed) AC unit with Average 1 bin hours



t_j = outdoor temperature corresponding to each temperature bin

$L_c(t_j)$ = defined cooling load at outdoor temperature t_j

t_b = outdoor temperature when cooling load is equal to cooling full capacity

t_c = outdoor temperature when cooling load is equal to cooling half capacity

$\Phi_{ful}(t_j)$ = cooling full capacity at outdoor temperature t_j

$\Phi_{haf}(t_j)$ = cooling half capacity at outdoor temperature t_j

$P_{ful}(t_j)$ = cooling full power input at outdoor temperature t_j

$P_{haf}(t_j)$ = cooling half power input at outdoor temperature t_j

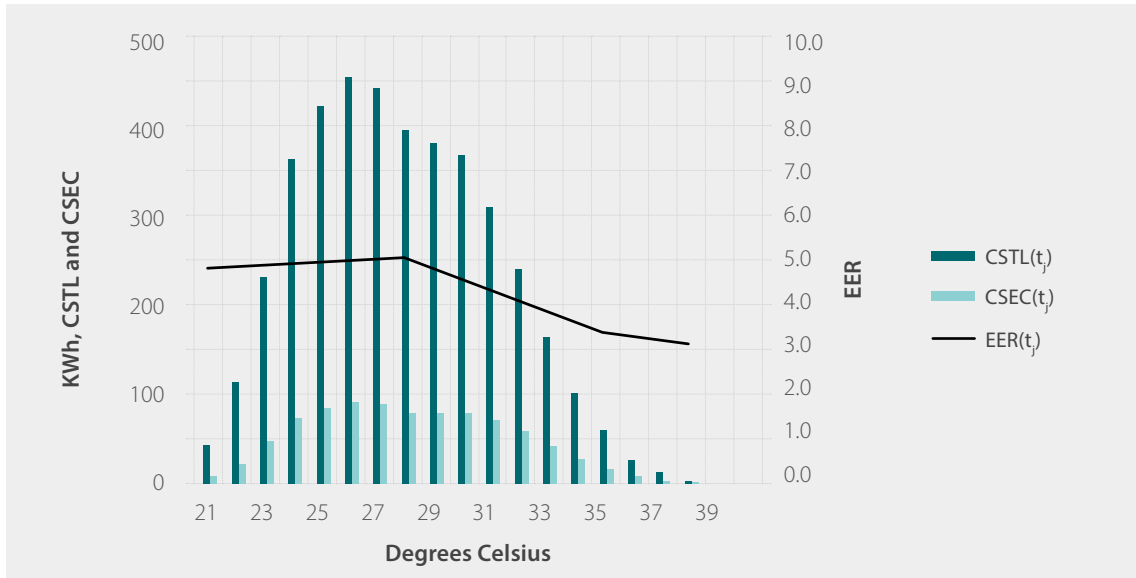
$P(t_j)$ = cooling power input applicable to any capacity at outdoor temperature t_j

$FPL(t_j)$ = part load factor at outdoor temperature t_j

Note that this CSPF calculation is based on two sets of test data at full- and half-capacity operation at 35°C and another set of data points at 29°C calculated by ISO 16358-determined equations.

⁸ ISO 16358 defines part load factor as ratio of the performance when the equipment is cyclically operated to the performance when the equipment is continuously operated, at the same temperature and humidity conditions.

Figure 4: Cooling seasonal total load and cooling seasonal energy consumption of Sample 3 (variable-speed) AC unit with Average 1 bin hours



$CSTL(t_j)$ = cooling load times hours at outdoor temperature t_j
 $CSEC(t_j)$ = cooling power input times hours at outdoor temperature t_j
 $EER(t_j)$ = EER at outdoor temperature t_j
 $CSPF = \sum CSTL(t_j) / \sum CSEC(t_j)$

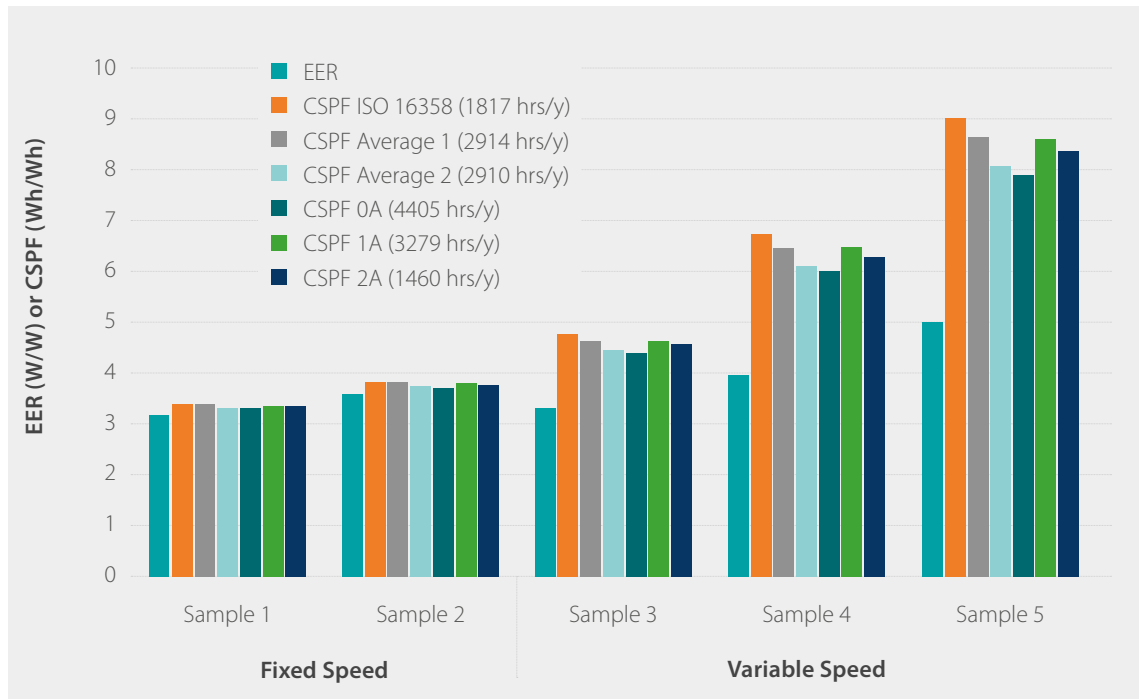
Figure 5 shows the EER and ISO CSPF results with all five sets of temperature bin hours for all five AC samples.

For fixed-speed units, the CSPF calculation in this analysis is based on one set of test data at full operation at 35°C and another set of data points at 29°C calculated by predetermined equations. There is no large difference between the EER and CSPF values for the fixed-speed units. Given that predetermined equations are used to estimate the performance at 29°C, CSPF for fixed-speed units results in a linear relationship with EER, i.e., $CSPF = \alpha \times EER$ (e.g., $\alpha \sim 1.06$ with the ISO reference temperature bin hours and the Brazil Average 1 temperature bin hours).

For variable-speed units, using a seasonal efficiency metric (such as ISO CSPF) in Brazil better reflects real energy performance by capturing full-load and part-load performance and by helping better estimate savings gained from the seasonal performance. Given that predetermined equations are used to estimate the performance at 29°C, CSPF for variable-speed units is greater than EER by 39%–72%, with the Brazil Average 1 temperature bin hours. The CSPF results vary by 2%–8% across temperature bin hours.

Note that the CSPF calculation for variable-speed units in this section is based on two sets of test data at full- and half-capacity operation at 35°C and another set of data points at 29°C calculated by ISO 16358-determined equations. According to section 4.2, this calculation tends to result in CSPFs that are lower than those calculated based on performance data measured at both 35°C and 29°C, including minimum-capacity operation; hence, the results shown here are relatively conservative.

Figure 5: EER and ISO CSPF of five room AC models by different temperature bin hours in Brazil (ISO 16358, Average 1, Average 2) and regions within Brazil (0A, 1A, 2A)



Source: Authors' work

4.2 CSPF FOR VARIABLE-SPEED UNITS WITH MINIMUM-CAPACITY TEST

A few regional standards for variable-speed units require three sets of test data at full-, half-, and minimum-capacity operation. Minimum-capacity tests are typically conducted at the lowest-capacity control settings of units that allow steady-state operation at the given test conditions. Because the draft document for public consultation by INMETRO in Brazil includes a minimum-capacity test at a lower temperature, this section shows CSPF calculations with AC minimum-capacity testing.

Table 8 compares CSPF results for another variable-speed room AC model with and without minimum-capacity testing, using the two sets of Brazil-specific temperature bin hours. As seen in Figure 2, the Average 1 temperature distribution (based on the INMETRO draft) includes more AC use during lower-temperature hours compared with the Average 2 distribution developed for this study; for example, hours between 21°C and 24°C account for about 39% of the Average 1 distribution and 11% of the Average 2 distribution. This difference is reflected in Table 8, where the CSPF value with minimum-capacity testing is only 5% higher than the value without minimum-capacity testing when using Average 2, but the value with is 15% higher than the value without when using Average 1. These results suggest that accounting for minimum-capacity performance is more important when AC use is substantial at relatively low temperatures. However, if the minimum-capacity testing is conducted, the measurement uncertainty specified in ISO 5151 must be achieved and compliance costs may increase.

Table 8: CSPF of One Variable-Speed Room AC Model With and Without Minimum Capacity Testing

	CSPF without minimum-capacity test		CSPF with minimum-capacity test	
Operating condition (outdoor dry bulb temperature)	35°C	29°C	35°C	29°C
Full capacity	Measured	Calculated ^a	Measured	Calculated ^a
Half capacity	Measured	Calculated ^a	Measured	Calculated ^a
Minimum capacity	Not considered	Not considered	Calculated ^b	Measured
Temperature bin hours	Average 1 (INMETRO draft)			
CSPF (Average 1)	4.5		5.1	
Temperature bin hours	Average 2 (this study)			
CSPF (Average 2)	4.2		4.4	

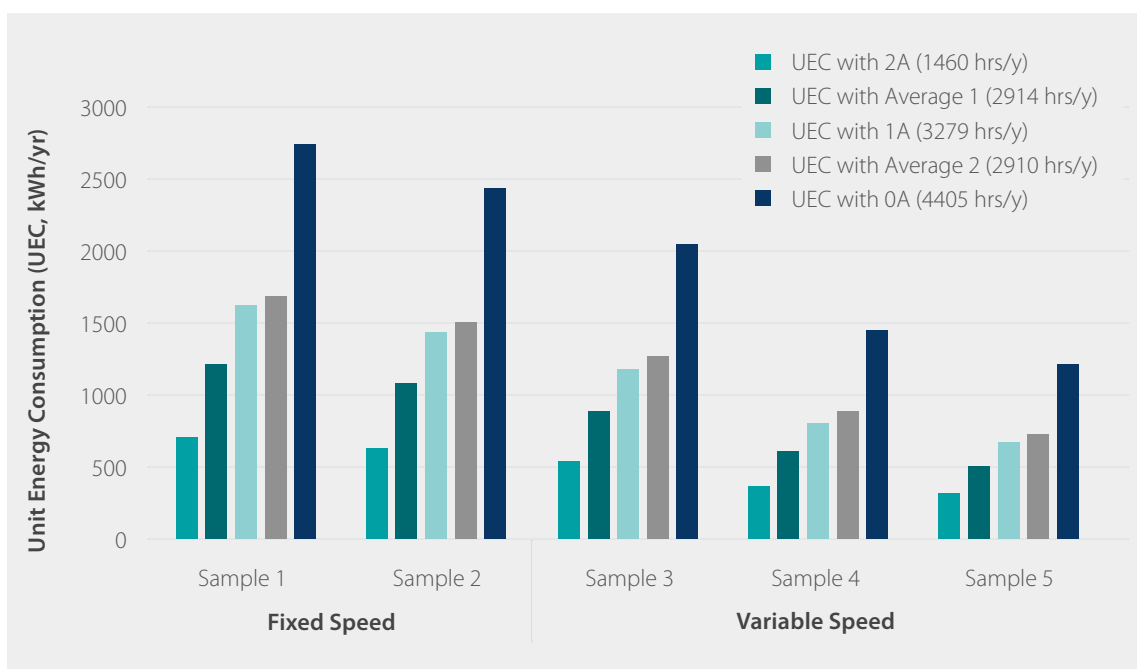
^a $Capacity(29^{\circ}C) = Capacity(35^{\circ}C) \times 1.077$; $Power\ input(29^{\circ}C) = Power\ input(35^{\circ}C) \times 0.914$

^b $Capacity(35^{\circ}C) = Capacity(29^{\circ}C) \div 1.077$; $Power\ input(35^{\circ}C) = Power\ input(29^{\circ}C) \div 0.914$

4.3 SEASONAL ENERGY CONSUMPTION AND SAVINGS POTENTIAL

Energy consumption depends on the total hours of AC use as well as the number of hours at each temperature where the AC is in use. Figure 6 shows the estimated annual energy consumption of all five room AC models by different temperature bin hours. Variable-speed units consume approximately 25% (Sample 3) to 60% (Sample 5) less energy compared with the lowest-efficiency fixed-speed unit (Sample 1).

Figure 6: Estimated annual energy consumption of five room AC models by different temperature bin hours without minimum-capacity test



Field experiments performed at Instituto Mauá de Tecnologia (Mauá Institute of Technology), Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio), and UFSC showed energy savings of 21%–70% for variable-speed units compared with fixed-speed units, depending on efficiency performance and operating conditions (Peixoto et al. 2018, Parise and Sotomayor 2018, Güths 2018).⁹

Parise and Sotomayor (2018) showed energy savings potential up to about 60% for an efficient variable-speed unit (EER 5.1) compared with a typical fixed-speed unit (EER 3.1); this result is comparable with our results (56%–60% energy savings potential) when comparing fixed-speed Sample 1 (EER 3.2) versus variable-speed Sample 5 (EER 5.0).

Güths (2018) showed energy savings potential of about 37%–51% for a variable-speed unit (EER 3.2) compared with a typical fixed-speed unit (EER 3.2), varying by operating conditions; this result is similar to or much greater than our estimated results (25%–29% energy savings potential) when

⁹ A mini-split AC system was installed in each of two rooms, which had the same area and orientation: one AC was a fixed-speed unit, the other was a variable-speed unit, and both had the same capacity. Experiments were performed with different periods of operation (day and/or night times) and different internal load densities.

comparing fixed-speed Sample 1 (EER 3.2) versus variable-speed Sample 3 (EER 3.3). Note that the Güths (2018) field tests included operation during daytime (8 am to 6 pm) as well as night time (10 pm to 7 am), when ACs are in low-load operation but might rarely be used, and conducted in Florianópolis in the south region where cooling load is less than the north region of Brazil. In contrast, our CSPF calculations are based on two sets of test data at full- and half-capacity operation at 35°C and another set of data points at 29°C calculated by ISO 16358-determined equations, not even considering minimum-capacity performance. Therefore, the calculated energy consumption differences between fixed- and variable-speed units shown in Figure 6 are conservative.

Annex C and Annex D show analysis of emissions and cost savings due to variable-speed ACs.

5. Recommendations

PROJETO
KIGALI

5. Recommendations

Energy savings potential available from room ACs varies by climate. Because Brazil's climate is predominantly hot and humid – and energy-efficient variable-speed ACs are available on the market – the country has opportunities to increase energy savings by adopting a seasonal energy-efficiency metric. Based on the analysis in this report, we recommend the following for Brazil:

- 1** Consider adopting the ISO CSPF metric (defined as total cooling load over total cooling power input) based on Brazil-specific temperature bin hours of AC use. Adopting this widely used metric would improve Brazil's room AC standards and labeling while facilitating harmonization with international AC-efficiency efforts. Determining CSPF based on the test conditions specified in ISO 16358 would make the CSPF values comparable with those from other countries whose standards are based on or consistent with ISO 16358.
- 2** Consider using only a single, average set of temperature bin hours for all of Brazil. CSPF results vary by only 2%–8% across the temperature bin hours analyzed in this study. Using a single set of bin hours would reduce additional costs for manufacturers, regulatory complexity for government agencies, and confusion for consumers, compared with using multiple sets of bin hours for different climate zones. However, it would be useful to consider potentially large variations in absolute impacts (energy use, electricity cost, emissions, etc.) based on Brazil's regional climates.
- 3** For determining the CSPF of fixed-speed units, use only one set of test data at full-capacity operation at 35°C, and use another set of data points at 29°C calculated by predetermined equations. ISO 16358 requires testing a fixed-speed AC at full-capacity operation at both 35°C and 29°C. However, using calculated data points at 29°C reduces additional testing requirements (beyond the requirements for determining EER) – thus reducing compliance costs – without significantly changing the results. The CSPF values of fixed-speed units are calculated in a linear relationship with the EER values.
- 4** For variable-speed units, determine CSPF while reducing compliance costs by using two sets of test data at full- and half-capacity operation at 35°C and another set of data points at 29°C calculated by ISO 16358-determined equations, without considering minimum-capacity operation. In an example from our analysis, this approach results in a CSPF value only 5% lower than the value calculated using minimum-capacity testing when our higher-temperature AC-use distribution (Average 2) is used. However, the difference is greater (15%) when using the lower-temperature distribution (Average 1, based on the INMETRO draft) – suggesting that minimum-capacity testing may be important if such a distribution is assumed.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the Kigali Cooling Efficiency Program. The authors thank those who provided inputs, insights, comments, and/or data, including Chao Ding of LBNL, Leonardo Mazzaferro, Rayner Maurício, and Ana Paula Melo of the Federal University of Santa Catarina, Kamyla Borges da Cunha of Instituto Clima e Sociedade (ICS), and Kazuma Koyama of Daikin Industries. We also thank Elizabeth Coleman for the administrative support, and Jarett Zuboy for editing support. Any errors or omissions are the authors' own.

REFERENCES

- AIRAH (Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating). 2012. *Methods of Calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012*. Melbourne: AIRAH. https://www.airah.org.au/Content_Files/BestPracticeGuides/Best_Practice_Tewi_June2012.pdf
- APEC (Asia-Pacific Economic Cooperation). 2010. *Reducing Barriers to Trade Through Development of a Common Protocol for Measuring the Seasonal Energy Efficiency (SEER) of Air Conditioners*. Final Report. APEC Energy Working Group.
- Didion, D.A., and G.E. Kelly. 1979. New Testing and Rating Procedures for Seasonal Performance of Heat Pumps. *ASHRAE Journal* 21 (9), 40-44.
- Econoler, Navigant, CEIS, and ACEEE. 2011. *Cooling Benchmarking Study Report*. Washington, DC: CLASP (The Collaborative Labeling and Appliance Standards Program).
- Güths, S. 2018. *Power Consumption Comparison Between Split ACs of the Inverter Type, with R410a and R32 Refrigerant Gases*. Federal University of Santa Catarina (UFSC).
- IEA (International Energy Agency). 2011. *Energy Efficient End-use Equipment (4E) Benchmarking Document for Residential Air Conditioners*. IEA 4E Mapping and Benchmarking. Paris: IEA. http://mappingandbenchmarking.iea-4e.org/shared_files/130/download
- ISO (International Organization for Standardization). 2013. *ISO 16358-1: 2013 Air-Cooled Air Conditioners and Air-To-Air Heat Pumps — Testing and Calculating Methods for Seasonal Performance Factors Part 1: Cooling Seasonal Performance Factor*. Geneva: ISO.
- Letschert, V., N. Karali, W. Park, N. Shah, G. Jannuzzi, F. Costa, R. Lamberts, and K. Borges. 2019. The Manufacturer Economics and National Benefits of Cooling Efficiency for Air Conditioners in Brazil. European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) 2019 Summer Study, June 3–8, Belambra Presqu'île de Giens, France.
- Parise, J., and P. Sotomayor. 2018. *Demonstration Project R-32 Inverter*. Rio de Janeiro: PUC-Rio.

- Park, W., N. Shah, and B. Gerke. 2017. *Assessment of Commercially Available Energy-Efficient Room Air Conditioners Including Models with Low Global Warming Potential (GWP) Refrigerants*. LBNL-2001047. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory. https://eta.lbl.gov/sites/default/files/publications/assessment_of_racs_lbnl-_2001047.pdf
- Peixoto, R., M.A. Soares de Paiva, and V. Melero Jr. 2018. *Comparative Field Test of Two Split Air Conditioning Units, with Monitoring of Power Consumption and Parameters of the Air-Conditioned and External Areas*. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia (Mauá Institute of Technology).
- TCM (Technical Committee Meeting). 2019. *Minutes of Meeting*. 11th Technical Committee Meeting for Room Air Conditioners. March 19. <http://www.beestarlabel.com/Home/ViewMinutes-Meeting?EqplD=1>
- UNDP (United Nations Development Programme). 2019. *Market Assessment of Residential and Small Commercial Air Conditioners in South Africa*. Final draft. Prepared by Integrated Energy Solutions and Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Xiaoli, W., C. Ning, and H. Zhiqiang. 2015. *Comparative Analysis of Testing and Calculating Methods for Seasonal Performance Factors of Air Conditioner*. China Household Electric Appliance Research Institute, China Academic Journal Database at www.cnki.net (in Chinese).

ANNEX A: ASHRAE CLIMATE ZONE DEFINITIONS

Table A1: Criteria of Thermal Zones

Thermal Zone	Name	SI units	I-P units
0	Extremely Hot-Humid (0A), Dry (0B)	$6,000 < \text{CDD}_{10}$	$10,800 < \text{CDD}_{50}$
1	Very Hot-Humid (1A), Dry (1B)	$5,000 < \text{CDD}_{10} \leq 6,000$	$9,000 < \text{CDD}_{50} \leq 10,800$
2	Hot-Humid (2A), Dry (2B)	$3,500 < \text{CDD}_{10} \leq 5,000$	$6,300 < \text{CDD}_{50} \leq 9,000$
3A and 3B	Warm-Humid (3A), Dry (3B)	$2,500 < \text{CDD}_{10} \leq 3,500$ and $\text{HDD}_{18} \leq 2,000$	$4,500 < \text{CDD}_{50} \leq 6,300$ and $\text{HDD}_{65} \leq 3,600$
3C	Warm-Marine (3C)	$\text{CDD}_{10} \leq 2,500$ and $\text{HDD}_{18} \leq 2,000$	$\text{CDD}_{50} \leq 4,500$ and $\text{HDD}_{65} \leq 3,600$
4A and 4B	Mixed-Humid (4A), Dry (4B)	$1,500 < \text{CDD}_{10} \leq 3,500$ and $2,000 < \text{HDD}_{18} \leq 3,000$	$2,700 < \text{CDD}_{50} \leq 6,300$ and $3,600 < \text{HDD}_{65} \leq 5,400$
4C	Mixed-Marine (4C)	$\text{CDD}_{10} \leq 1,500$ and $2,000 < \text{HDD}_{18} \leq 3,000$	$\text{CDD}_{50} \leq 2,700$ and $3,600 < \text{HDD}_{65} \leq 5,400$
5A and 5B	Cool-Humid (5A), Dry (5B)	$1,000 < \text{CDD}_{10} \leq 3,500$ and $3,000 < \text{HDD}_{18} \leq 4,000$	$1,800 < \text{CDD}_{50} \leq 6,300$ and $5,400 < \text{HDD}_{65} \leq 7,200$
5C	Cool-Marine (5C)	$\text{CDD}_{10} \leq 1,000$ and $3,000 < \text{HDD}_{18} \leq 4,000$	$\text{CDD}_{50} \leq 1,800$ and $5,400 < \text{HDD}_{65} \leq 7,200$
6A and 6B	Cold-Humid (6A), Dry (6B)	$4,000 < \text{HDD}_{18} \leq 5,000$	$7,200 < \text{HDD}_{65} \leq 9,000$
7	Very Cold (7)	$5,000 < \text{HDD}_{18} \leq 7,000$	$8,000 < \text{HDD}_{65} \leq 12,600$
8	Subarctic/Arctic (8)	$7,000 < \text{HDD}_{18}$	$12,600 < \text{HDD}_{65}$

CDD_{10} (CDD_{50}): cooling degree-day base 10°C (50°F)

- Daily mean temperature minus 10°C (50°F)
- Annual CDDs are the sum of the degree-days over a calendar year.

Marine Zone (C)

- Mean temperature of coldest month between -3°C (27°F) and 18°C (65°F)
- Warmest month mean < 22°C (72°F)
- At least four months with mean temperatures over 10°C (50°F)
- Dry season in summer.

Dry Zone (B)

- Not Marine (C)
- The dry/humid threshold is determined primarily by annual precipitation and annual mean temperature.

Humid Zone (A): Locations that are not Marine (C) and not Dry (B).

Source: ANSI/ASHRAE Standard 169-2013

ANNEX B: OUTDOOR TEMPERATURE BIN HOURS

Table B1: Temperature Bins for Calculating ISO CSPF

Outdoor temperature	ISO Reference	Average 1 (INMETRO draft)	Average 2 (this study)	0A	1A	2A
°C	Bin hours	Bin hours	Bin hours	Bin hours	Bin hours	Bin hours
21	ISO 16358-1: 2013 Table 3	182	20	2	46	55
22		240	46	10	119	98
23		323	89	50	220	126
24		380	171	181	319	142
25		353	286	394	410	147
26		317	367	564	427	147
27		265	383	611	405	143
28		207	331	524	347	136
29		177	294	476	283	123
30		154	280	468	240	108
31		118	213	355	181	86
32		84	152	252	135	61
33		53	105	181	81	39
34		31	68	124	39	23
35		17	43	83	18	14
36		8	28	57	6	7
37		4	20	41	2	3
38		1	9	21	1	1
39		0	4	8	0	1
40		0	1	3	0	0
Total	1,817	2,914	2,910	4,405	3,279	1,460

ANNEX C: EMISSIONS-SAVINGS POTENTIAL

Total equivalent warming impact (TEWI) is a measure of the global warming impact of equipment based on the total emissions of greenhouse gases (GHGs) during operation of the equipment and disposal of the operating fluids at end-of-life (EOL), accounting for both direct emissions and indirect emissions produced through the energy consumed in operating the equipment (AIRAH 2012). The method for calculating TEWI is as follows:

TEWI

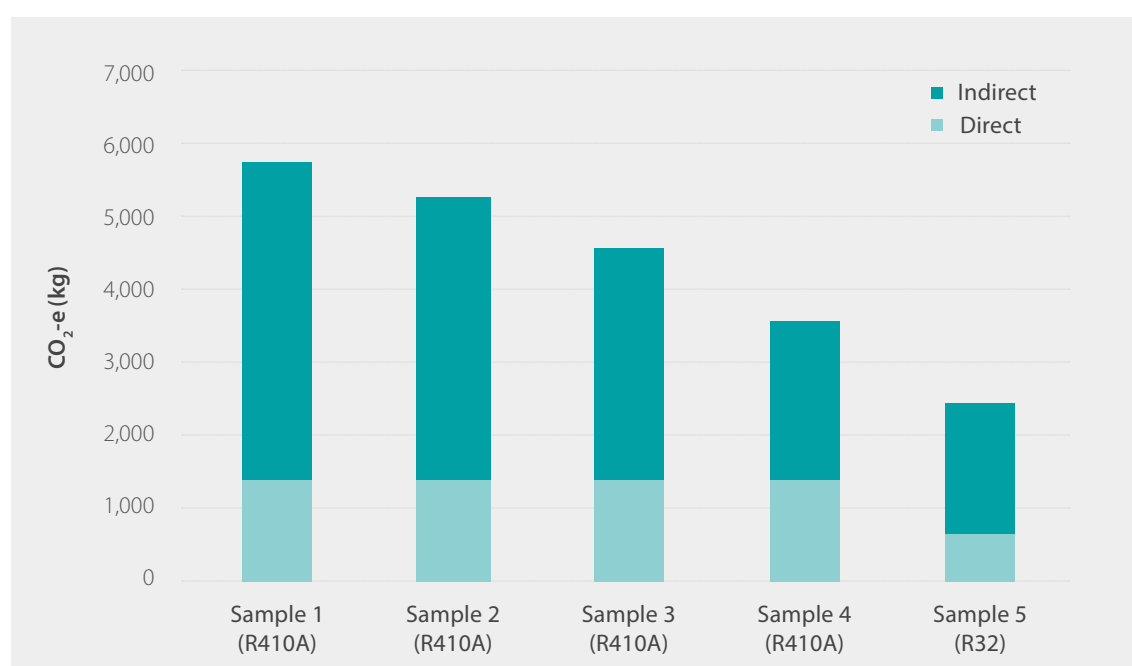
= GWP (direct: refrigerant leaks including EOL) + GWP (indirect: operation)

$$= (GWP \times m \times L_{\text{annual}} \times n) + (GWP \times m \times (1 - \alpha_{\text{recovery}})) + (E_{\text{annual}} \times \beta \times n)$$

Where: GWP = global warming potential of refrigerant, relative to CO₂ (GWP CO₂ = 1); L_{annual} = leakage rate per year (unit: %); n = system operating life (unit: years); m = refrigerant charge (unit: kg); α_{recovery} = recovery over recycling factor from 0 to 1; E_{annual} = energy consumption per year (unit: kWh per year); β = indirect emission factor (unit: kg CO₂ per kWh).

Figure C1 shows the TEWI calculation results for the five AC samples with the Average 1 use. The GHG emissions savings potential is large, e.g., a 56% reduction between Sample 5 (an R32 variable-speed unit) and Sample 1 (an R410A fixed-speed unit).

Figure C1: TEWI calculation results for five room AC models with Average 1 bin (2,914 hours of AC use)



CO₂-e = CO₂ equivalent.

Assumptions: L_{annual} = 4.0%; n = 10 years; m = 0.95 kg (Samples 1-4), 1.35 kg (Sample 5); α_{recovery} = 0.7; β = 0.356 kg CO₂ per kWh with Average 1 temperature bin hours, based on AIRAH (2012) and Letschert et al. (2019).

ANNEX D: LIFECYCLE COST ANALYSIS

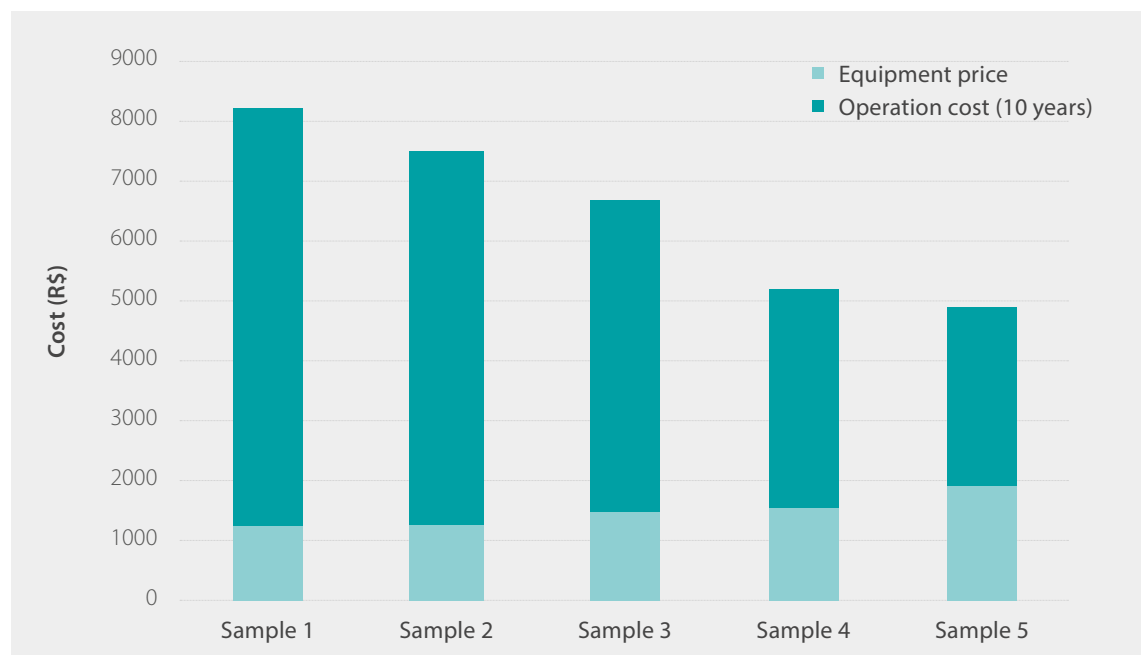
For consumers, the cost of an AC consists of the upfront cost of the AC equipment and the cost of AC electricity use. We assess how the lifecycle cost (LCC) of ACs changes as equipment efficiency improves and electricity consumption declines. Installation and maintenance costs are not considered for the AC systems discussed here.

$$LCC = \text{Equipment Cost} + \sum_{n=1}^L \frac{\text{Operating Cost}}{(1 + \text{Discount Rate})^n}$$

Where equipment cost is the AC purchase price, n is the years since purchase, and operating cost is the annual operating cost represented by the consumer's electricity bill. Operating cost is summed over each year of the appliance lifetime L .

We assume a lifetime of 10 years for room AC equipment. Based on Letschert et al. (2019), we assume an electricity tariff of R\$ 0.66/kWh, which is a weighted average between residential and commercial customers, and a discount rate of 10.5%. Figure D1 shows the LCC results for the five AC samples with the Average 1 use. The LCC savings potential is large, e.g., up to 40% reduction between Sample 5 (an R32 variable-speed unit) and Sample 1 (an R410A fixed-speed unit).

Figure D1: LCC of five room AC models with Average 1 bin (2,914 hours of AC use)



Assumptions: electricity price = R\$ 0.66/kWh, lifetime = 10 years, equipment price = average price based on Letschert et al. (2019).

Adopting a Seasonal Efficiency
Metric for Room Air Conditioners:
A Case Study in Brazil

PROJETO
KIGALI



PROJETO
KIGALI



Federative Republic of Brazil

Ministry of Mines and Energy (MME)

**Collaboration Program with the Private
Sector for Disseminating Japanese
Technology for Environment-Friendly
Energy Efficient Air Conditioner**

April 2021

Japan International Cooperation Agency (JICA)

Daikin Industries, Ltd

<Notes and Disclaimers>

- This report is produced by the proposed corporation based on the contract with JICA. The contents of this report are based on the information at the time of preparing the report which may differ caused by changes in the situation, changes in laws, etc. In addition, the information and comments posted are based on the judgment of the proposed corporation. Please be advised that any actions taken by the users based on the contents of this report need to be done at user's own risk.

- In no event will JICA be liable to the users for any direct, indirect, derivative, special, incidental or punitive loss or damage, or any trouble arising from the use of the contents of this report. This is the same even if JICA is informed of the possibility of such loss, damage and trouble.

Table of Contents

Map.....	i
1. Summary.....	1
1.1. Summary.....	1
1.1.1. Basic Information for This Project	1
1.1.2. Background for This Project.....	1
1.1.3. Technology Targeted for Dissemination in This Project.....	2
1.1.4. Objective/Goal of This Project	2
1.1.5. Activities Carried Out in This Project and Results/Outcomes of This Project	3
1.1.6. Business Development Prospects at This Stage and Basis for Its Judgment	3
1.1.7. Remaining Challenges for Business Development and the Corresponding Handling Strategy and Policy.....	4
1.1.8. Possibility of Linkage with ODA Projects.....	4
1.2. Schematic Diagram for Project.....	5

Map



Source : Shirochizu Senmonten <http://www.freemap.jp/>

1. Summary

1.1. Summary

1.1.1. Basic Information for This Project

Basic Information for This Project	
Project Name	Collaboration Program with the Private Sector for Disseminating Japanese Technology for Environment-Friendly Energy Efficient Air Conditioner
Project Location	Brazil Sao Paulo, Brasilia, Florianopolis, Rio de Janeiro
Partner Country	Brazil
Government Agency	Ministry of Mines and Energy (MME)
Project Period	December 28, 2018~ May 28, 2021
Contract Value	19,644,120 JPY

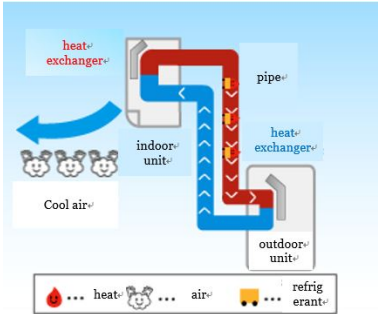
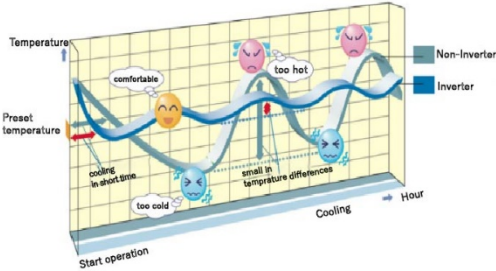
1.1.2. Background for This Project

The economy of Federative Republic of Brazil (hereinafter “Brazil”) is the largest in Latin America and the ninth largest in the world. It is the largest ACs market in Central and South America, and demand is expected to increase in the future.

Air conditioners (hereinafter “ACs”) consume large amount of energy. An increase in electricity demand due to an increase in ACs demand has become a major issue. However, there isn’t an effective system that consumer can choose high energy efficiency equipment. Controlling electricity demand is an urgent issue even toward the transition to clean energy.

Moreover, emission of greenhouse gases due to refrigerant gas (hereinafter “refrigerant”) used in air conditioners has become an issue. R22 refrigerant (ozone depleting substance with Global Warming Potential (hereinafter “GWP”) 1810) accounts for 60% of the market, and R410A refrigerant (GWP 2088) accounts for the remaining 40% of it. R22 refrigerant, an ozone depleting substance, is required to be completely phased out by 2030 by the Montreal Protocol. Conversion to R410A as an alternative refrigerant is progressing in the market and the Brazilian government has considered conversion to a refrigerant with a lower GWP.

1.1.3. Technology Targeted for Dissemination in This Project

Name of Technology Targeted for Dissemination	"Inverter" air conditioner using "R32 refrigerant"
Features of refrigerant	• Does not destroy the ozone layer • GWP is 675, about 1/3 of R410A refrigerant • Higher heat transfer capacity than R410A, contributing to energy efficiency in air conditioners • Although it is a lower flammable refrigerant, various safety standards have been established in ISO / IEC. Since 2012, it has been sold in more than 90 countries including Japan (as of 2019) 
Features of inverter control	• Technology that controls voltage, current, and frequency to make ACs capacity variable. The inverter controls the cooling and heating capacity according to the outside air temperature and the cooling and heating load. Efficient operation is possible with little loss. 

1.1.4. Objective/Goal of This Project

The following objectives are to be achieved in order to build a foundation for disseminating technologies that solve the issues behind this project described in 1.1.1.

- A) Preparing an integrated report on the results of the demonstration tests at the three universities. Based on this report, quantify the effect of the dissemination of environment-friendly energy efficient ACs on reducing electricity demand and greenhouse gas emissions in Brazil. Providing the report as data for the consideration of the country's energy policy (air conditioning sector).
- B) Defining the direction of implementing ISO 16358-1: a standard for evaluating a performance of ACs with seasonal performance factor, which allows appropriate evaluation of inverters, with the aim of linking it to energy efficiency regulations.

- C) To compile a proposal for the review of the energy labeling system for ACs and propose it to the Ministry of Mines and Energy (hereinafter "MME"), The National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality (hereinafter "INMETRO"), and related organizations.

1.1.5. Activities Carried Out in This Project and Results/Outcomes of This Project

- The implementation of ISO 16358-1 and the revision of energy efficiency standards, which were the target of this project, were achieved with the promulgation of Cabinet Order No. 234 on June 29. The energy efficiency standards, which had been lower compared to other emerging countries, were raised to a level equal to or higher than those of ASEAN through this revision. Furthermore, review of energy efficiency standards was conducted for the PROCEL seal under the jurisdiction of MME too, and standardization including R32 refrigerant was completed.
- In order to achieve the above, based on the demonstration tests conducted in cooperation with three Brazilian universities as our own effort before this project, we were able to quantify the benefits of the implementation of ISO 16358-1 and the revision of the standard by making maximum use of the results of the demonstration tests in this project. In addition, through collaboration with an international project (K-CEP project) and with the support of the Japanese government (Japanese Embassy in Brazil and Ministry of Economy, Trade and Industry), the collaborative relationship with the Brazilian government was established.
- We also held a seminar in Brazil to share the results of this project widely, and were able to appeal the importance of energy efficiency not only in equipment but also in buildings, and the importance of strengthening energy efficiency regulations in countries around Brazil.

1.1.6. Business Development Prospects at This Stage and Basis for Its Judgment

We are planning to start production of R32 inverter ACs. By taking the lead in creating a high-end market for high-efficiency air conditioners, we will accelerate the shift to inverters in the market. By introducing a high-efficiency inverter with a competitive price, we aim to expand its share in the high-end market.

1.1.7. Remaining Challenges for Business Development and the Corresponding Handling Strategy and Policy

Regarding the supply of R32 refrigerant, a supply chain has begun to be established in urban areas such as Sao Paulo and Porto Alegre in the south, but when considering the entire Brazil, there are areas where the supply chain is weak.

Daikin Brazil is planning to establish a supply chain for R32 refrigerant in collaboration with dealers and R32 refrigerant manufacturers.

1.1.8. Possibility of Linkage with ODA Projects

(1) Human Resource Development

Technical cooperation projects for the training of engineers in performance testing laboratories for ACs are expected. Technical guidance and support to engineers for appropriate performance testing under ISO 16358-1 is considered.

(2) Further promotion of energy efficiency policies, spillover to energy efficiency for buildings

The implementation of the top-runner program and collaborative projects related to energy efficiency policies for buildings are expected. It is possible to implement technical cooperation to promote energy efficiency policy and system design for the entire building, not just energy efficiency of individual devices, by identifying issues related to the Brazilian government's energy efficiency policy and providing support for further improvement of the energy efficiency program.

1.2. Schematic Diagram for Project

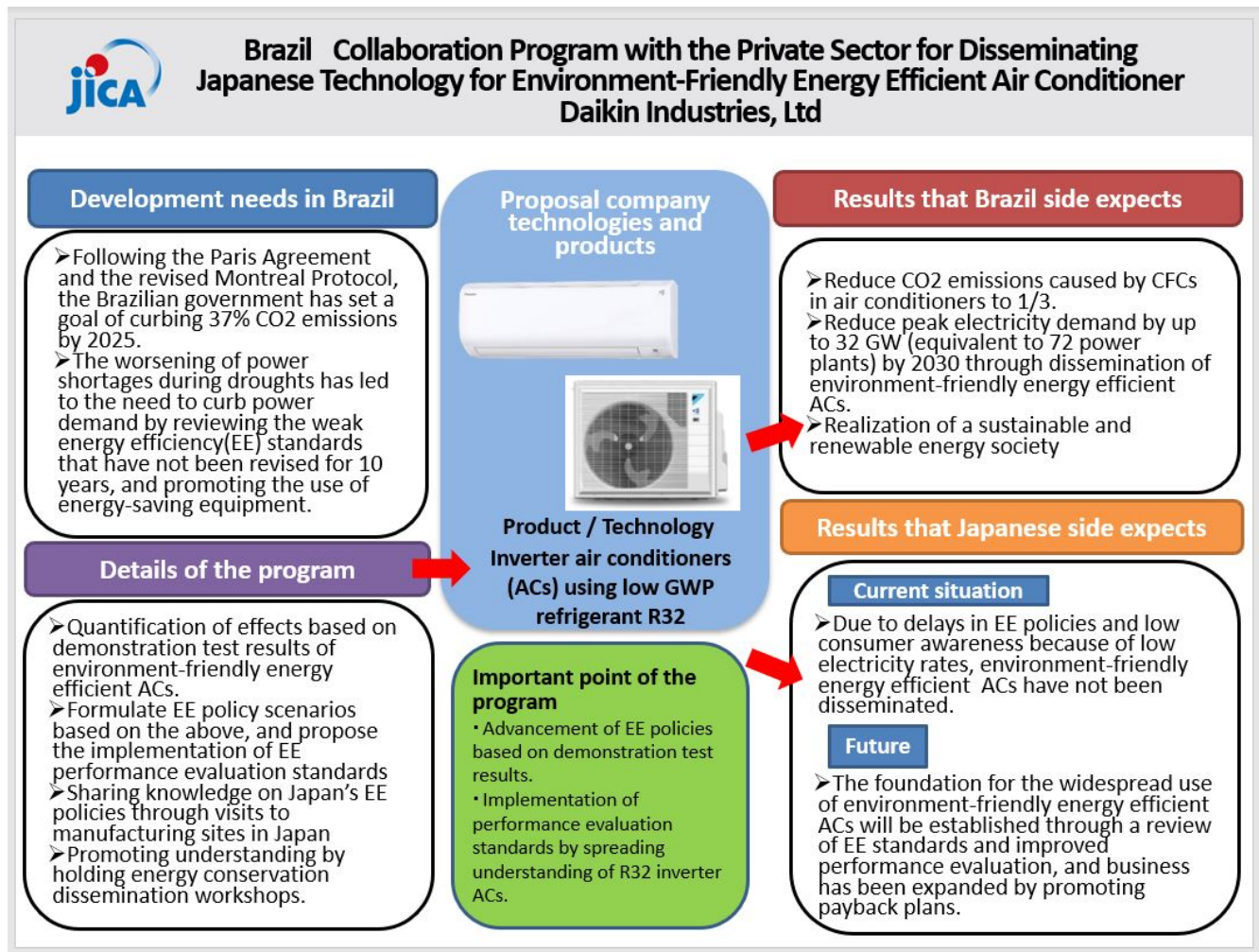


Figure : Schematic Diagram for Project