

# AS NOVAS ESTAÇÕES ANTÁRTICAS E A BUSCA PELA OTIMIZAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS E MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Cristina Engel de Alvarez (1)

Paulo Sergio de Paula Vargas (2)

Fernanda Mayumi Fukai (3)

Lorenzo de Souza Accarino (4)

Mariana Roldi de Oliveira (5)

Rodrigo Menegucci Salvador (6)

(1) Doutora em Arquitetura e Urbanismo e coordenadora do LPP/Ufes. E-mail: [cristinaengel@pq.cnpq.br](mailto:cristinaengel@pq.cnpq.br)

(2) Doutor em Arquitetura e Urbanismo e pesquisador no LPP/Ufes. Email: [paulo.s.vargas@ufes.br](mailto:paulo.s.vargas@ufes.br)

(3) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo/Ufes e bolsista de IC pelo LPP. E-mail: [fernandafukai@gmail.com](mailto:fernandafukai@gmail.com)

(4) Graduando em Arquitetura e Urbanismo /Ufes e bolsista de IC pelo INCT-APA. E-mail: [lorenzo\\_sa3@hotmail.com](mailto:lorenzo_sa3@hotmail.com)

(5) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo/Ufes e bolsista de IC pelo INCT-APA. E-mail: [mariana\\_roidi@hotmail.com](mailto:mariana_roidi@hotmail.com)

(6) Graduando em Arquitetura e Urbanismo e bolsista de IC pelo LPP/Ufes. E-mail: [rodrigom500@yahoo.com.br](mailto:rodrigom500@yahoo.com.br)

**Resumo:** *O território antártico é um campo de experimentação, seja na área das ciências, seja para o desenvolvimento tecnológico. Após o período que caracterizou a busca por soluções construtivas que permitissem a permanência segura na região, há atualmente uma maior preocupação com os aspectos ambientais, especialmente na busca por uma ocupação de menor impacto. Esta pesquisa buscou identificar a atual tendência das edificações antárticas produzidas no período mais recente – denominado “tempos ambientais” – sendo selecionadas previamente seis edificações referenciais analisadas a partir das tecnologias adotadas. Constatou-se o amplo uso de novas tecnologias, tanto para de mitigar os efeitos da interferência humana na região, quanto para criar edifícios mais eficientes e duradouros, podendo-se destacar o tratamento dado ao esgoto na maioria das estações; sistemas de reutilização das águas; a opção por sistemas de energia a partir de fontes renováveis; cogeração de calor; gerenciamento inteligente da energia; e o desenvolvimento de designs adequados aos condicionantes locais.*

**Palavras-chave:** *estações científicas, materiais de construção, tecnologia, energia, eficiência, sustentabilidade.*

## THE NEW ANTARCTIC STATIONS AND THE SEARCH FOR OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE SYSTEMS AND HIGHER ENERGY EFFICIENCY

**Abstract:** *The Antarctic territory is a field of experimentation, either for science, either for technological development. After the period that characterized the search for constructive solutions that allow the secure residence in the region, there is now a greater concern for environmental issues, especially in the search for an occupancy of less impact. This research aimed to identify the current trend of Antarctic buildings produced in the latest period – called “environmental times” - and previously selected six referential buildings analyzed from the adopted technologies. It was observed the extensive use of new technologies, either to mitigate the effects of human interference in the region, either to develop more efficient and durable buildings. May be mentioned the sewage treatment at most stations; water reuse systems; The use of renewable energy sources; Cogeneration of heat; Smart grid; And the development of design appropriate to the local conditions.*

**Key-words:** *scientific stations, construction materials, technology, architectural design, energy, efficiency, sustainability.*

## 1 INTRODUÇÃO

O continente antártico é chamado de terra dos superlativos por se tratar da região mais remota, mais desértica, mais ventosa, mais estéril, de mais alta superfície média e mais inabitável do planeta (ALVAREZ, 1995).

O fato de não possuir população nativa, aliado à indisponibilidade de matéria prima para a construção civil, condiciona a produção da arquitetura Antártica como resultado dos conhecimentos oriundos das diferentes nações (ALVAREZ, 1995). Observa-se que o conhecimento das necessidades e os condicionantes que envolvem a produção arquitetônica na Antártica são essenciais para compreender a peculiaridade de suas edificações.

Uma das características mais marcantes da Antártica são suas temperaturas extremas que diferenciam o continente como a região mais fria do planeta. As médias de temperatura entre a costa e o interior do continente, no entanto, são bastante distintas. Durante o período de verão, o litoral oscila em torno de 0°C, enquanto o interior atinge uma média de -30°C. No inverno, a média costeira é de aproximadamente -20°C, enquanto o continente pode atingir temperaturas extremas de até -89,2°C, como a registrada na Estação Russa de Vostok em 1983 (BRITISH ANTARTIC SURVEY, 2013). O clima, na maior parte das regiões, é bastante instável sendo comum o surgimento repentino de nevascas e ventanias, bem como a frequente redução da visibilidade pela incidência de nevoeiros.

Localizada na Península Antártica, mais precisamente na Península Keller, ilha Rei George, a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) foi a primeira edificação brasileira implantada na região antártica. Iniciada em 1984 a EACF era inicialmente uma estação de pesquisa bastante modesta, composta por oito *containers* previamente adaptados e transportados até o local. Posteriormente essas instalações foram recebendo novos equipamentos e ampliações sucessivas tanto no corpo principal como na implementação de módulos isolados de pesquisa e refúgios de emergência em seus arredores. No ano de 2006, já bem ampliada e com vários problemas de funcionamento, passou por uma reforma completa dotando-a de melhoramentos e facilidades, com ampla utilização dos conhecimentos obtidos ao longo de anos de pesquisa em arquitetura e engenharia, bem como da experiência adquirida nos processos de manutenção (TERMO DE REFERÊNCIA, 2013).

Em 25 de fevereiro de 2012 um incêndio de grandes proporções destruiu completamente a edificação principal da EACF e o PROANTAR deliberou pela necessidade de construção de novas edificações baseada em projeto a ser escolhido por meio de concurso público (INSTITUTO DOS ARQUITETOS DO BRASIL, 2012). O resultado do concurso escolheu o projeto vencedor (Figura 2) cuja concepção foi alicerçada no Termo de Referência que enfatiza a necessidade de soluções tecnologicamente adequadas às exigências ambientais; à segurança e à cultura nacional (TERMO DE REFERÊNCIA, 2013)



**Figura 1 – EACF - Estação Antártica Comandante Ferraz**

**Fonte: Armando Hadano/Arquivo**



**Figura 2 – Projeto vencedor do concurso para a EACF**

**Fonte: Studio 41**

## 2 HISTÓRICO DAS EDIFICAÇÕES ANTÁRTICAS

Diferentemente do Ártico, na Antártica não existem populações nativas e até a chegada dos primeiros exploradores, no final do século XIX, não há registro de ocupações anteriores (FRIEND, 2009). Como consequência, não há o que se possa chamar de “cultura antártica” ou muito menos uma arquitetura original do continente. Tudo o que é edificado – desde as cabanas rudimentares dos exploradores no início do século XX até as mais avançadas estações científicas construídas atualmente – são o reflexo do conhecimento tecnológico e da cultura trazidas pelas sociedades que se instalaram na Antártica.

De acordo com Alvarez (1995), é possível classificar historicamente a ocupação na Antártica em três fases distintas: os tempos históricos, os tempos tecnológicos, e os tempos ambientais.

As primeiras edificações foram construídas ainda no fim do século XIX pelos exploradores que objetivavam, principalmente, a identificação do potencial econômico e a reivindicação de território. Neste período, denominado “tempos históricos”, a arquitetura da Antártica é caracterizada por abrigos temporários para os exploradores sendo, em sua maioria, pré-fabricadas em madeira ou construído com materiais obtidos dos naufrágios (ALVAREZ, 1995). Como exemplo de sistema pré-fabricado destaca-se a cabana construída por Robert Falcon Scott como parte do plano logístico estratégico de conquista do Polo, cuja expedição alcançou sua meta em 14 de dezembro de 1911. A cabana foi produzida na Inglaterra e posteriormente montada na Antártica (FRIEND, 2009), sendo hoje considerada patrimônio arquitetônico (Figura 3). Destaca-se o estado de conservação dessa edificação, com seus principais elementos em madeira plenamente preservados, configurando uma interessante situação quando se considera a agressividade do clima antártico. Em suas proximidades foi erguida uma moderna Estação Americana, denominada Amudsen-Scott, representativa do chamado “tempos tecnológicos” (Figura 4). Embora o domo que recobria as edificações tenha sido considerado um símbolo desse período, tanto por representar uma nova tipologia arquitetônica como por ter sido projetado para adequar-se aos fortes ventos locais, o mesmo foi retirado em 2010 (UNITED STATES ANTARCTIC PROGRAM, 2009), por seu funcionamento não ter sido considerado satisfatório.



**Figura 3 - Cabana de Robert F. Scott**  
**Fonte: Alasdair Turner / Blogspot**



**Figura 4 - O antigo domo da Estação Amundsen-Scott**  
**Fonte: Ann Hawthorne / ArticPhoto**

Pode-se afirmar que esse novo período foi iniciado a partir dos anos 50 do século passado, com o aumento do interesse pelo continente, impulsionado principalmente pelo Ano Geofísico Internacional em 1958 e pela instituição do Tratado Antártico em 1959 (ALVAREZ, 1995). Caracterizado por uma ocupação mais sistemática e pelo emprego de alta tecnologia disponível na época, produziu principalmente estações científicas com o uso de materiais de grande apelo tecnológico, com especial ênfase para o aço (INSTITUTO DOS ARQUITETOS DO BRASIL, 2012).

Pode-se afirmar que foram os avanços tecnológicos deste período, regidos pela industrialização e pelo desenvolvimento de novos materiais, que tornaram possível a ocupação humana permanente na região. As principais preocupações dos construtores eram a eficiência da técnica construtiva adotada no que diz respeito à isolamento térmica, à facilidade de montagem e ao transporte. Os projetos de edificações passaram a considerar, ainda, a resistência ao fogo e o custo de construção (ALVAREZ, 1995).

Com o domínio das técnicas construtivas necessárias à edificação no continente antártico e a ampliação da segurança das edificações, as atenções se voltaram para a necessidade de redução dos impactos ambientais provocados pela ocupação humana no continente. Este é o chamado “tempos ambientais”. Para algumas das estações antárticas mais contemporâneas, apresentadas neste artigo, o foco não é mais limitado apenas à solução construtiva e passa a abranger, também, a adaptação da própria edificação ao meio (INSTITUTO DOS ARQUITETOS DO BRASIL, 2012).

A preocupação com o menor impacto ambiental, desde o processo de fabricação e montagem até a operação e manutenção influencia diversos aspectos da edificação, como por exemplo, o sistema construtivo, os materiais de construção, os sistemas de geração de energia e as soluções para o tratamento de resíduos líquidos e sólidos.

### **3 OBJETIVOS**

As limitações das ações antrópicas e os cuidados ambientais impostos pelo Protocolo de Madrid (ALVAREZ, 1995) impõem novos princípios para construção e operação das estações de pesquisa no Continente Antártico. Por outro lado, a crescente preocupação em torno da sustentabilidade e da economia de energia nas edificações, faz com que as novas propostas de instalações voltadas para a pesquisa na Antártica tendam a considerar os aspectos ambientais como condicionantes fundamentais.

Tendo em vista o incêndio que destruiu a edificação principal da Estação Antártica Comandante Ferraz, surgiu a necessidade de projetar uma nova edificação comprometida com parâmetros de qualidade ambiental e que considerasse os conceitos mais avançados relativos à arquitetura antártica.

Esta pesquisa teve por objetivo identificar a atual tendência das edificações antárticas produzidas no período mais recente – com ênfase nos materiais e técnicas construtivas, conforto ambiental, energia e tratamento das águas residuárias – sendo parte de seus resultados utilizados, também, nos documentos referenciais que nortearam o concurso para as novas edificações brasileiras na Antártica.

### **4 METODOLOGIA**

Inicialmente, a metodologia adotada considerou a necessidade de realização de uma revisão da literatura e pesquisa junto aos Programas Antárticos de maior relevância visando a obtenção das informações essenciais para proceder à seleção das edificações consideradas referenciais. Como recorte temporal foi estabelecido o período máximo de 10 (dez) anos de construção, sendo adotado como critério adicional a disponibilidade das informações confiáveis e elencadas como fundamentais para os objetivos da pesquisa.

A partir do primeiro recorte, foram previamente selecionadas seis edificações referenciais, analisadas sobre os seguintes e principais aspectos: as tecnologias empregadas e os respectivos materiais construtivos básicos, o *design formal da edificação*, o tratamento das águas residuárias, e o sistema de energia.

As informações, após confirmação da confiabilidade da fonte, foram selecionadas e sistematizadas na forma de quadros síntese, sendo mantidas no banco de dados da pesquisa, as informações completas, incluindo imagens, relatórios técnicos, contatos e fontes.

As edificações selecionadas foram: Amudsen-Scott (EUA); Bharati (Índia), Halley VI (Inglaterra), Juan Carlos I (Espanha), Neumayer III (Alemanha) e Princess Elisabeth (Bélgica).

### **5 RESULTADOS**

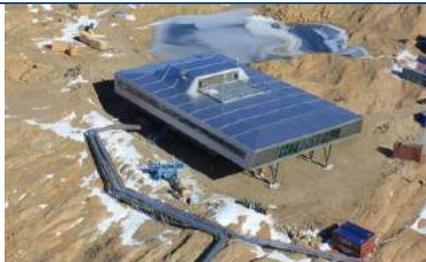
Os dados pesquisados foram sistematizados de forma temática e sintetizados na tabela I e quadros I, II, III e IV. A Tabela I apresenta informações básicas sobre cada estação em termos de localização, porte, capacidade e custo aproximado.

Estação / País / Funcionamento		Ano de inauguração	Localização	Área (m <sup>2</sup> )	Capacidade		Vida útil prevista (anos)	Custo aproximado U\$
					Verão	Inverno		
	Amundsen-Scott	2008	High Plateau	6.100	150	50	25	\$ 150 mi
	Barathi	2012	Larsemann Hills	2.400	40	15	25	\$ 42,1 mi
	Halley VI	2010	Plataforma Brunt	1.858	71	16	20	\$ 52,07 mi
	Juan Carlos I	2013	Livingstone Island	346	24	*S/l.	*S/l.	\$ 16 mi
	Neumayer III	2009	Ilha Atka Bay	3.300	40	9	25-30	\$ 51,06 mi
	Princess Elisabeth	2007	Queen Maud Land	700	40	25	25	\$ 11,5 mi

Tabela I - Informações Gerais. \*S/l. = informação

Fonte: elaborado a partir de Broughton (2013); Berte (2013); International Polar Foundation (2013); Alfred Wegener Institute (2013); British Antarctic Survey (2013) e Bof Architekten (2013).

O Quadro I, contém a síntese das principais características do design e sistemas construtivos aplicados às estações científicas pesquisadas e, no Quadro II, os sistemas estruturais adotados.

Estações	Arquitetura
 <p>Amundsen-Scott. Fonte da imagem: National Science Foundation</p>	<p>A estação é composta por dois edifícios em formato de U interligados dispostos simetricamente e elevados a 3 m do solo. cujo formato aerodinâmico permite a passagem dos ventos, quase constantes de 10-15 milhas, varrendo a superfície abaixo da estação, impedindo o acúmulo de neve. Possui as dimensões 124m x 45m x 24m de altura. Uma torre de circulação, com elevador e escada, posicionada na extremidade da construção possibilita o acesso direto à garagem, à central de energia e ao paiol de combustíveis, localizados no subsolo. A área de habitação, alimentação, recreação, administração, ciência e comunicações estão abrigadas no edifício acima da superfície, configurados em dois pavimentos.</p>
 <p>Bharati. Fonte da imagem: BOF-Architektnen</p>	<p>Projetada com forma de paralelepípedo, possui as dimensões 50m x 30m x 12m. Foi construída elevada a 2m do nível do solo, com formato aerodinâmico que minimiza o acúmulo de neve sob a estação. No pavimento superior estão as áreas de estar e lazer, 24 quartos duplos e individuais, uma cozinha com sala de jantar, uma pequena biblioteca, depósitos e lavanderia, sala de ginástica, escritórios e um lounge. No pavimento inferior, estão alojados laboratórios, armazéns, estação de energia e uma garagem com oficina. O espaço intermediário entre o invólucro externo e as unidades interiores cria um bolsão de ar utilizado para regular a temperatura no interior, servindo de acesso à manutenção e à saída de emergência.</p>
 <p>Halley VI. Fonte da imagem: Hugh Broughton Architects</p>	<p>A estação se organiza a partir de módulos independentes, dispostos de forma linear, perpendicular aos ventos dominantes. Os módulos são montados sobre pilares metálicos que podem ser acionados hidráulicamente para elevá-los à medida que ocorre o acúmulo de neve na superfície da base. Os pilares se apoiam sobre esquis que permitem deslocar os módulos sobre o gelo, rebocados por veículos rastreados, quando necessário. Possui uma geometria aerodinâmica que possibilita que os ventos reduzam o acúmulo de neve em torno das edificações. Os quartos, laboratórios, escritórios e centrais de energia foram instalados em módulos azuis de 152m<sup>2</sup>. O espaço social, destinado às áreas de estar, jantar e recreação, está delimitado em um módulo central vermelho, com 467m<sup>2</sup>, dispostos em dois andares. Módulos separados abrigam geradores de energia, instalações de armazenamento de combustível e uma estação de tratamento de esgoto.</p>
 <p>Juan Carlos I. Fonte da imagem: Hugh Broughton Architects</p>	<p>A estação é composta por um módulo de habitat, um módulo de ciência e uma série de módulos de suporte de serviços e armazenamento. O edifício habitat é composto por três alas de alojamento dispostas em torno de um núcleo central. O edifício de laboratórios científicos fica separado do edifício principal, distante o suficiente para fornecer um refúgio seguro em caso de incêndio no edifício habitat. A estrutura é elevada do solo, apoiada sobre pilares metálicos. A estação utiliza clarabóias e áreas de vidro que maximizam a luz do dia, reduzindo o consumo de energia e permitindo que os pesquisadores mantenham contato visual com o entorno.</p>

	<p>A estação encontra-se disposta sobre uma plataforma de dimensões 68m x 24m, 6m acima da superfície. Composta por uma estrutura de dois andares, possui formato aerodinâmico e um sistema de elevação hidráulica que permite que a estação progressivamente se eleve com o acúmulo das camadas de neve. A forma geral do edifício conforma um invólucro protetor, que abriga containers justapostos com alojamentos, cozinha, refeitório, hospital, laboratórios, oficinas, uma sala de operador de rádio, instalações sanitárias, estação de fornecimento de energia e uma usina de derretimento de neve. A garagem situada abaixo da superfície (subsolo) contém recipientes para o armazenamento de combustível e resíduos, bem como espaço para os veículos.</p>
<p>Neumayer III. Fonte da imagem: Alfred Wegener Institute</p>	<p>Projetada em formato octogonal, resultado de estudos de eficiência aerodinâmica e energia, a estação é elevada da superfície apoiada sobre pilares e escoras metálicas. Os equipamentos da estação estão distribuídos em 400m<sup>2</sup> de espaço utilizável e 1500m<sup>2</sup> de áreas técnicas. Enquanto as acomodações e laboratórios estão situados na parte externa, os biorreatores e equipamentos sensíveis podem ser encontrados no centro da Estação, onde é mais aquecido. Os espaços intermediários entre o fechamento externo e o interno comporta equipamentos e instalações de serviços.</p>
	
<p>Princess Elisabeth. Fonte da imagem: Internacional Polar Foundation</p>	

#### Quadro I – Design e Sistemas Construtivos

Fonte: elaborado a partir de Hugh Broughton (2013); Berte (2013); International Polar Foundation (2013); Alfred Wegener Institute (2013); British Antarctic Survey (2013) e BOF Architekten (2013).

Estações	Estrutura e Técnicas construtivas
	<p>Tem estrutura em aço e vedação em painéis composto por duas folhas de OSB com miolo de poliestireno expandido (EPS), que garante grande rigidez estrutural. O mesmo material é utilizado na construção dos pisos e divisões internas, agindo solidariamente entre si no trabalho estrutural do conjunto. O edifício possui 36 colunas de 15m de altura, apoiadas sobre uma treliça plana de vigas metálicas disposta sobre um leito de neve altamente compactada de 1,8 m de espessura, formando uma espécie de radier que sustenta a edificação. Um sistema sofisticado de elevação hidráulica permite que a estação seja elevada cerca de 25 cm por vez sobre neve compactada, erguendo progressivamente a construção e impedindo que mesma venha a ficar soterrada com o passar dos anos, pelo acúmulo da neve</p>
	<p>A idéia básica do projeto foi a construção de um núcleo com cerca de 130 containers pré-fabricados cercados por uma infraestrutura de aço revestida por painéis de aço especial com isolamento térmico incorporado. O resultado é uma estrutura de dupla casca erguida sobre colunas de aço de dois metros altura, com um bolsão de ar entre elas que serve como local para cabos de alimentação, acesso à manutenção, regulador térmico e como rota de fuga. A construção de aço é definida principalmente a partir dos comprimentos dos painéis, de fácil manuseio e transporte, padronizados em 4,90m. Vãos maiores não são possíveis devido às enormes cargas de ventos, o que força à construção de uma subestrutura em locais onde a pressão é mais elevada.</p>
	<p>Os módulos são construídos a partir de uma subestrutura de aço que serve como base do piso e apoio dos pilares e estrutura superior, cujo fechamento é feito com painéis de plástico reforçado com fibra de vidro (GRP) unidos por uma junta de borracha de silicone. Os painéis possuem isolamento interno constituído por espuma de célula fechada de polisocianurato encapsulados dentro dos painéis GRP, cuja camada externa recebe tratamento específico para minimizar a descoloração, resistir UV e o impacto abrasivo da neve, ventos e gelo. A seleção de materiais com o mínimo impacto foi cuidadosamente considerado em todas as fases do projeto. Os componentes são padronizados para maximizar a sua permutabilidade e reduzir o número de peças armazenadas no local.</p>
<p>Halley VI Halley VI. Fonte da Imagem: Hugh Broughton Architects</p>	

 <p>Juan Carlos I. Fonte da imagem: Hugh Broughton Architects</p>	<p>Tem estrutura em anéis modulares monocoques de fibra de plástico reforçada, que definem um sistema único de estrutura e envoltório. Está apoiada sobre pilares que elevam a estação do solo, minimizam o acúmulo de neve e permitem a criação de um espaço auxiliar abaixo. A estrutura em monocoque combinada à força da fibra de plástico reforçada e à geometria tubular elimina a necessidade de aço, o que reduz o peso da edificação, tendo cada anel cerca de 2,5 a 3 toneladas. Tal medida acaba minimizando as escavações para fundações, que são de concreto pré-fabricado e apoiados em moreias, formações geológicas de solo e rocha. As juntas dos anéis são projetadas com um recobrimento em tira de alumínio.</p>
 <p>Neumayer III. Fonte da imagem: Alfred Wegener Institute</p>	<p>A estação é formada 99 containers - de 6m de comprimento cada - dispostos em duas fileiras, em dois níveis, envoltos por uma estrutura modular de aço em formato de prisma trapezoidal revestida por metálicos tipo sanduíche preenchido com poliuretano expandido. As partes internas utilizam painéis de um composto de magnésio e plástico reforçado com fibra de vidro preenchidas com fibra mineral. O edifício é equipado com 32 cilindros hidráulicos dispostos em grupos de dois que permitem a elevação da estrutura em até 1,2 metros, compensando os efeitos negativos da acumulação de neve. O peso total de 2.300 toneladas é distribuído em 16 lajes de fundação.</p>
 <p>Princess Elisabeth. Fonte da imagem: Internacional Polar Foundation</p>	<p>Possui uma estrutura de madeira laminada colada, recoberta por painéis isolantes com acabamento externo de aço inoxidável 1.4301/304 2b. As paredes da construção são compostas por 168 painéis de 40 formas diferentes. Cada painel tem aproximadamente 7 m<sup>2</sup> de área e pesa 500 kg. A estação se encontra disposta sobre 34 pilares, que variam em altura de 2 a 6 metros, inclinados em várias direções para resistirem melhor aos esforços provocados pelo vento, dependendo da localização. Estes suportes estão firmemente ancorados a uma profundidade de seis metros em uma base de granito. A envoltória da edificação possui nove camadas de isolamento: lã de feltro, folha de alumínio (que previne que umidade penetre na madeira), papel kraft, uma camada de madeira de pinho, grafite revestido com poliestireno de baixa densidade, outra camada de madeira de pinho laminado e colado, uma camada estanque sobre a madeira (para impedir que a umidade exterior entre), espuma de célula fechada e uma camada externa de folhas de aço inoxidável.</p>

#### Quadro II – Estrutura e Técnicas construtivas

Fonte: elaborado a partir de Broughton (2013); Berte (2013); International Polar Foundation (2013); Alfred Wegener Institute (2013); British Antarctic Survey (2013) e Bof Architekten (2013).

Os quadros III e IV apresentam os aspectos relacionados ao tratamento das águas residuais e os sistemas de obtenção de energia.

Estações	Sistema de Tratamento	Descrição
Amundsen-Scott	Sem tratamento	Os resíduos gerados são embalados e transportados para a estação McMurdo onde é processado para retorno, com exceção do esgoto líquido doméstico, que é descartado em poços profundos no gelo. Foram implantadas rígidas diretrizes para assegurar que poluentes (não domésticos) não sejam introduzidos no esgoto.
Bharati	Física + Biológica	Faz uso do MBR ( <i>Membrane Bio Reactor</i> ) para tratar seus efluentes. A tecnologia é geralmente empregada com o módulo de membranas acoplado a um reator biológico aeróbio. Após o tratamento, parte da água é reutilizada na própria Estação.
Halley VI	Física + Biológica	Um biorreator <i>Microbac</i> é utilizado no tratamento das águas residuárias. A estação de tratamento biológico proporciona um ambiente de crescimento para as bactérias. O tanque é equipado com uma matriz rígida de PVC onde são introduzidas algumas bactérias geneticamente modificadas que reduzem a quantidade de lodo produzido. A limpeza é necessária uma vez por ano e as águas residuais tratadas são despejadas no gelo. O lodo tratado é incinerado e suas cinzas são removidas da Antártica.

Juan Carlos I	Física + Biológica	O princípio de funcionamento do sistema de depuração utilizado é a digestão biológica de matéria orgânica realizada pelas bactérias já presentes na água residual.
Neumayer III	Física + Biológica + Esterilização UV	A instalação foi concebida de forma que apenas necessita da energia elétrica e térmica da Estação para ser capaz de clarificar a água residual. Todo o sistema de água e tratamento de resíduos está instalado em um <i>container</i> padrão sendo que o calor residual dos geradores a diesel é utilizado para mantê-lo a uma temperatura de 15 ° C e secar o lodo. O esgoto é coletado em um tanque de nível e purificado por meio de um processo biológico. Em seguida, a água clarificada é esterilizada por raios UV e bombeada através de uma tubulação para o despejo em uma plataforma de gelo situada a cerca de 100 m da Estação.
Princess Elisabeth	Física + Biológica + Desinfecção	O esgoto e os resíduos líquidos provenientes das duchas e da cozinha são tratados por biorreatores, filtrados e reciclados para uso. A água processada é normalmente reutilizada cerca de cinco vezes. Depois disso, a água é tratada e liberada em uma fenda no gelo. Os filtros de membrana utilizados para limpar a água são substituídos a cada três anos. Todos os outros resíduos são classificados, armazenados em <i>containers</i> e enviados a Cidade do Cabo ou Alemanha para a reciclagem e eliminação adequada.

**Quadro III - Tratamento das águas residuais**

Fonte: elaborado a partir de Tarasenko (2013); Dias (2013); A3 Water Solutions GMBH (2013); United States Antarctic Program (2009); Japanese Inspection Report 2010 (2013).

Estações	Sistema de geração	Descrição
Amundsen-Scott	Geradores a Diesel + Fotovoltaica	Praticamente toda a energia consumida é produzida por geradores movidos a diesel AN-8, devido ao seu baixo ponto de congelamento. Uma pequena parcela da energia elétrica é captada durante o verão austral por meio de uma matriz fotovoltaica de 30 quilowatts.
Bharati	Geradores a Diesel + Eólica	Maior parte da energia utilizada é proveniente da operação de geradores a diesel. Faz uso do CHP ( <i>Combined Heat and Power</i> ), que por meio do sistema de cogeração de energia e calor, reduz a demanda de energia elétrica. Também possui geradores eólicos que suprem parte das necessidades de energia.
Halley VI	Geradores a Diesel + Fotovoltaica	Tem como fonte principal a geração a diesel. Os sistemas de energia solar e células fotovoltaicas foram projetados para complementar a geração durante o verão austral, quando o consumo de energia está em seu pico devido ao aumento do número de pessoas no local.
Juan Carlos I	Geradores a Diesel + Eólica + Solar	Tem como fonte principal a geração a diesel. Faz uso de geração combinada de calor e energia, o que minimiza o consumo na estação. O uso da energia eólica e solar está previsto para ser estendido progressivamente, sendo que atualmente, essas são utilizadas pelos equipamentos científicos durante os meses de inverno, quando a estação está desocupada.
Neumayer III	Geradores a Diesel + Eólica	O abastecimento de energia é proveniente de quatro geradores a diesel de 150 kW cada. Três geradores estão em operação alternada, e um serve como fonte de emergência. O calor proveniente dos geradores é utilizado no sistema de aquecimento e derretimento da neve. Uma turbina eólica de 30kw atua como fonte suplementar. O uso de energia elétrica e calor são controlados por um sistema de gerenciamento de energia, que aloca a energia segundo prioridades pré-definidas, garantindo uma entrada ideal e segura de energia eólica, ativando ou desativando o segundo gerador de acordo com a demanda, e emitindo alertas caso ocorra a transgressão de limites específicos.
Princess Elisabeth	Eólica + Fotovoltaica	É equipada com 9 turbinas eólicas com capacidade de 54 kW cada, além de painéis solares fotovoltaicos (9 kW, 90 m <sup>2</sup> ) e painéis solares térmicos (20 kW, 200 m <sup>2</sup> ). O sistema fotovoltaico a princípio, é capaz de proporcionar até 10% da carga elétrica. Esses sistemas integrados permitem que a Estação opere perto de uma da emissão zero. No entanto, geradores foram instalados para garantir um fornecimento de energia constante. Atualmente, se espera que os geradores tenham um uso máximo de 200 horas por temporada. O sistema " <i>smart grid</i> " regula a Estação para o uso de mínimo de eletricidade e reduz o consumo de energia a um décimo de uma estação normal.

**Quadro IV – Energia**

Fonte: elaborado a partir de Broughton, (2013); Nitschke (2013); British Antarctic Survey (2013); Brooks (2013); Alfred Wegener Institute (2013); Japanese Inspection Report 2010 (2013)

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir das informações levantadas observa-se que as novas estações, em sua maioria, utilizam sistemas construtivos baseados em estruturas metálicas (com exceção da estação Juan Carlos I, concebida como monocoque, e Princess Elisabeth, em estrutura de madeira), concebidas de maneira modular e protegidas por revestimentos que as isolam da ação direta das intempéries. A concepção do sistema construtivo envolve especial preocupação com o aspecto logístico da construção buscando soluções ágeis para o transporte e montagem das edificações no menor tempo possível. Observa-se também especial atenção com relação às tecnologias empregadas para o isolamento do ambiente interno da edificação em relação ao meio externo, utilizando diferentes técnicas e materiais para composição dos painéis de fechamento externo da construção, sempre buscando a maior eficiência possível na conservação do calor interno e minimização dos efeitos decorrentes da condensação de vapor. Outro aspecto que chama atenção nas novas edificações construídas na Antártica refere-se ao seu desenho aerodinâmico e sua elevação do solo, buscando atenuar o efeito dos fortes ventos sobre a estrutura e o revestimento, bem como os problemas decorrentes do acúmulo de neve, tanto sobre os edifícios quanto junto aos fechamentos laterais, que, via de regra, impõem transtornos para o acesso e manutenção.

Os sistemas de tratamento de esgoto são variados, mas normalmente baseados em sistemas de biorreatores acoplados a módulos de filtro por membrana, podendo ainda contemplar a utilização de esterilização dos dejetos por raios UV, como na estação Princess Elisabeth. Eventualmente também se faz o tratamento em separado das águas cinzas visando a sua reutilização de maneira secundária na estação.

Os sistemas de geração de energia, de modo geral, empregam geradores a diesel e buscam combinar outras fontes de obtenção de energia e calor tais como painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas associados com sistemas conversores de energia e de acumulação, principalmente em tanques d'água. As estações mais modernas, como a Princess Elisabeth, adotam o conceito de *smart grid*, visando um excelente gerenciamento da demanda de consumo e das fontes de obtenção de energia.

Nota-se, enfim, uma preocupação com o emprego de tecnologias comprovadamente eficientes e já testadas sem abrir mão da inovação, buscando de todo modo estabelecer novos patamares de eficiência e durabilidade das novas construções antárticas.

### **Agradecimentos**

Ao INCT-APA – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártica de Pesquisas Ambientais e à Ufes – Universidade Federal do Espírito Santo, pelas bolsas de Iniciação Científica e apoio financeiro; ao PROANTAR – Programa Antártico Brasileiro, pelo auxílio na coleta de dados e informações.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- A3 WATER SOLUTIONS GMBH. **Container System for wastewater treatment and drinking water purification.** Disponível em: <[http://www.a3-gmbh.com/NewsBASE/content\\_a3/frame\\_english.php?main\\_src\\_frameload=webpages\\_english/water\\_treatment~001.php](http://www.a3-gmbh.com/NewsBASE/content_a3/frame_english.php?main_src_frameload=webpages_english/water_treatment~001.php)>. Acesso em: 5 de abril de 2013.
- ALFRED WEGENER INSTITUTE. **The new centre of german research in Antarctica – Neumayer Station III.** Disponível em: <[http://www.awi.de/en/infrastructure/stations/neumayer\\_station/](http://www.awi.de/en/infrastructure/stations/neumayer_station/)>. Acesso em: 10 de abril de 2013.
- ALVAREZ, Cristina Engel de. **Arquitetura na Antártica: ênfase nas edificações brasileiras em madeira.** 242f. Dissertação (Mestrado) – Fausp, São Paulo, 1995.
- BERTE, JOHAN. **COMNAP Energy Management Workshop.** Disponível em: <[https://www.comnap.aq/Publications/Comnap%20Publications/The\\_Princess\\_Elisabeth\\_Station\\_\(Berte\).pdf](https://www.comnap.aq/Publications/Comnap%20Publications/The_Princess_Elisabeth_Station_(Berte).pdf)>

BOF ARCHITEKTEN. **Indische Polarstation**. Disponível em: <<http://bof-architekten.de/de/projekte/indische-polarstation/>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

BRITISH ANTARTIC SURVEY. **Halley Research Station**. Disponível em: <[http://www.antarctica.ac.uk/living\\_and\\_working/research\\_stations/halley/](http://www.antarctica.ac.uk/living_and_working/research_stations/halley/)>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

BRITISH ANTARTIC SURVEY. **Halley VI Key Facts**. Disponível em: <[http://www.antarctica.ac.uk/press/images/press/2057/halley\\_vi\\_launch\\_key\\_facts.pdf](http://www.antarctica.ac.uk/press/images/press/2057/halley_vi_launch_key_facts.pdf)>. Acesso em: 07 de maio de 2013.

BROOKS, D. William e FERRARO, J. Joseph. **Sustainable Design Strategies for the Modernization of the Amundsen-Scott South Pole Station**. Disponível em: <<http://www.ferrarochoi.com/Publications/SUST%20DESIGN%20STRATEGIES/SUSTDESIGN%2007%20Energy%20Efficiency.html>>. Acesso em 30 de março de 2013.

BROUGHTON, Hugh G. K. **Antarctic Research Stations: Parallels for Interplanetary Design**. Disponível em: <<http://www.spacearchitect.org/pubs/AIAA-2010-6106.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

FRIEND, Scott Harris. **Sustainability and habitation in Antarctica**. Dissertação (Mestrado) – Montana State University, Montana, Estados Unidos, 2009

BROUGHTON, Hugh G. K. **Halley VI Antarctic Research Station**. Disponível em: <<http://www.hbarchitects.co.uk/projects.php?project-list=extreme&id=0>>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

INSTITUTO DOS ARQUITETOS DO BRASIL. **Termo de Referência: ANEXO 1 do concurso da estação antártica Comandante Ferraz**. Disponível em: <[http://concursoestacaoantartica.iab.org.br/bases/TERMO\\_DE\\_REFERENCIA\\_EACF.pdf](http://concursoestacaoantartica.iab.org.br/bases/TERMO_DE_REFERENCIA_EACF.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2012.

INTERNATIONAL POLAR FOUNDATION. **Sustainable development in the Polar regions: Princess Elisabeth station, Antarctica**. Disponível em: <[http://www.educapoles.org/assets/uploads/teaching\\_dossiers\\_files/dp\\_cze\\_06\\_en.pdf](http://www.educapoles.org/assets/uploads/teaching_dossiers_files/dp_cze_06_en.pdf)>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

INTERNATIONAL POLAR FOUNDATION. **Building the station**. Disponível em: <<http://www.antarcticstation.org/station/construction>>. Acesso em: 20 de março de 2013.

JAPANESE INSPECTION REPORT 2010. In: XXXIV Antarctic Treaty Consultative Meeting, 2011, Buenos Aires. **Anais da XXXIV ATCM**, p 1-89. Disponível em: <<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/pdfs/atcm11cep10.pdf>>. Acesso em: 15 de março de 2013.

NITSCHKE, Andreas. **Bharati - The Indian Research Station at Larsemann Hills Antarctica**. Disponível em: <<https://www.comnap.aq/Publications/Comnap%20Publications/COMNAP%20Symposium%202010%20ProceedingsA5.pdf>>. Acesso em 28 de março de 2013.

TARASENKO, Sergey. **Wastewater Treatment in Antarctica**. Disponível em: <<http://www.anta.canterbury.ac.nz/documents/2008-09%20projects%20GCAS/Tarasenko.pdf>>. Acesso em: 16 de março de 2013.

UNITED STATES ANTARCTIC PROGRAM. **Master permit application**. Disponível em: <[http://www.nsf.gov/about/contracting/rfq/s/support\\_ant/docs/permit\\_application\\_text\\_tagged.pdf](http://www.nsf.gov/about/contracting/rfq/s/support_ant/docs/permit_application_text_tagged.pdf)>. Acesso em: 15 de março de 2013.

## Roteiro de vídeo

<b>t (s)</b>	<b>Imagem</b>	<b>Som</b>
0"	Slides em power point – As novas estações antárticas e a busca pela otimização dos sistemas construtivos e maior eficiência energética	Música suave ao fundo: Antarctica (Gheorghe Zamfir)
5"	Slides em power point – Apresentação da equipe.	Fala de um dos membros da equipe
10"	Slides em power point – Apresentação dos vínculos da equipe: Laboratório de Planejamento e Projeto / UFES	
25"	Slides em power point – Apresentação da introdução	
50"	Slides em power point – Apresentação do histórico	
2'25"	Slides em power point – Apresentação dos resultados	
2'55"	Slides em power point – Apresentação das discussões dos resultados	
3'00"	Slide em power point – Agradecimentos	Música suave ao fundo: Antarctica (Gheorghe Zamfir)