

**Maryangela Geimba de Lima** é engenheira civil (1986) pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Tem licenciatura plena em Matemática (1984) na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras Imaculada Conceição (FIC). Fez especialização no Instituto Eduardo Torroja na Espanha em Perspectivas da Construção. Mestre (1990) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e doutora (1996) pela Universidade Federal de São Paulo (USP). Realizou pós-doutoramento (2001) no Instituto Eduardo Torroja, em Madrid, na Espanha. Atualmente é professora do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA. Atua nas áreas de Materiais e Componentes de Construção, Durabilidade das Construções, Corrosão de Armaduras, Processos Construtivos, Rodovias e Construções Aeroportuárias.  
E-mail: [magdlima@infra.ita.br](mailto:magdlima@infra.ita.br)

**Fabiano Morelli** é graduado em Oceanografia (1997) pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Mestre (2000) pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Doutorando na área de Materiais, do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica. Atua nas áreas de Oceanografia, Geoprocessamento, GIS aplicado a Durabilidade de Materiais e Componentes de Construção.  
E-mail: [fmorelli@infra.ita.br](mailto:fmorelli@infra.ita.br)

# 4.

## Mapeamento dos agentes de degradação dos materiais

Maryangela Geimba de Lima e Fabiano Morelli

### Resumo

Este trabalho apresenta o estado atual de desenvolvimento do Projeto Mapeamento dos Agentes de Degradação dos Materiais – FINEP/CEF, financiado pelo edital FINEP/Habitare. O referido projeto conta também com o financiamento adicional da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Este projeto tem como objetivo principal elaborar mapas de agressividade, para todo o território nacional, relacionados com a degradação dos materiais de construção. O projeto possui uma homepage, <http://www.infra.ita.br/~magdlima/habitare>, na qual se informa o andamento do projeto. O projeto encontra-se na fase de tratamento dos dados que representam os agentes de degradação<sup>1</sup>. Entre eles, destacam-se umidade relativa e temperatura.

<sup>1</sup> Agente de degradação, segundo a terminologia adotada pelo CIB W70/RILEM 71PSL (publicada nos anais do 1º Workshop sobre Durabilidade das Construções, 1997), é tudo o que age sobre a construção e suas partes e que reduz seu desempenho.

Neste trabalho é apresentada a motivação para o desenvolvimento do projeto, alguns aspectos sobre a metodologia, um dos agentes de degradação estudados, os principais resultados esperados e considerações sobre como os resultados podem auxiliar nos processos de normalização dos materiais de construção no Brasil.

## 1 Estado da arte

### 1.1 O projeto mapeamento dos agentes de degradação dos materiais – FINEP/CEF/Habitare – FAPESP

#### 1.1.1 Histórico

O projeto em questão foi elaborado após a realização do 1º Workshop sobre Durabilidade das Construções<sup>2</sup>, no qual compareceu o Dr. Christer Sjostrom<sup>3</sup>, membro/coordenador do CIB, que possuía um grande projeto referente ao tema de mapear os agentes de degradação das construções na Suécia. Esse projeto, hoje, transformou-se em um Grupo de Trabalho do CIB, o W-106 – Geographic Information Systems, que trata especificamente do uso de ferramentas de geoprocessamento (GIS) para a definição de mapas de agressividade a distintos materiais de construção.

Entre a produção desse grupo de trabalho, destaca-se a GIS and the Built Environment – CIB Report Publication 256, Ed. Svein E. Haagenrud, Bengt Rystedt e Christer Sjostrom, outubro de 2000, ISBN 91-631-0272-2, Gavle, Suécia.

Quando da realização desse 1º Workshop sobre Durabilidade das Construções, foram levantadas linhas de pesquisa prioritárias, que foram alvo de um edital Habitare. As diretrizes gerais para pesquisa, levantadas durante este 1º Workshop, estão relacionadas a seguir.

- **Pesquisa básica:** são consideradas pesquisas básicas em durabilidade das construções aquelas que visam a:

<sup>2</sup> 1º Workshop sobre Durabilidade das Construções, São Leopoldo, 30 de junho e 1º de julho de 1997, promovido pelo Grupo de Trabalho sobre Durabilidade das Construções da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC).

<sup>3</sup> Professor do Royal Institute of Technology, presidente do CIB (Conseil International du Bâtiment pour la Recherche l'Etude et la Documentation) na ocasião.

- caracterizar os fatores e mecanismos de degradação;
- determinar indicadores de degradação;
- desenvolver metodologias de ensaio e avaliação; e
- produzir informações básicas, como caracterização do meio e curvas de resposta de materiais em diferentes meios.

Como essas informações são imprescindíveis para o entendimento dos fenômenos de degradação das construções, essas pesquisas também devem ser contempladas pelas agências de fomento, uma vez que empresas privadas dificilmente aplicariam recursos em pesquisas dessa natureza.

· **Pesquisa aplicada:** incluem-se neste grupo as pesquisas em que a participação de entidades e empresas se faz necessária para garantir a transferência dos resultados ao meio técnico, isto é, as pesquisas destinadas à elaboração de manuais e normas que busquem a determinação de parâmetros de projeto voltados à melhoria da durabilidade e também aquelas destinadas à determinação de parâmetros regionais para normalização, e outras. O financiamento de pesquisas deve estar condicionado à garantia da ampla divulgação dos resultados, e regras específicas devem ser criadas quanto ao direito de patente de produtos e equipamentos com verbas públicas a fundo perdido.

· **Durabilidade em outras pesquisas:** recomenda-se a inclusão de conceitos de durabilidade em outras pesquisas de materiais e componentes, principalmente quando o estudo se refere a novos materiais ou novas utilizações de materiais convencionais. Elas devem prever no mínimo a caracterização dos fatores e mecanismos de degradação dos materiais e componentes estudados.

Com base na necessidade apresentada durante o referido evento e após o lançamento do edital Habitare, optou-se pela elaboração do presente projeto, considerando-se a relativa facilidade de relacionamento do instituto proponente (ITA) com outros institutos que poderiam fornecer as informações (dados) necessárias para o seu desenvolvimento. No entanto, devido ao desconhecimento da coordenação do projeto, esses aspectos não foram tão facilmente gerenciáveis, em especial pela falta de existência dos dados necessários, no intervalo proposto de análise – 10 anos –, em um formato já digitalizado e com continuidade e confiabilidade adequadas ao tratamento necessário nas instituições onde se teria um melhor relacionamento interinstitucional.

Outro aspecto que faz com que não se consiga o andamento esperado no projeto é que também faltam as informações referentes aos parâmetros de desempenho dos materiais; por exemplo, que intervalo de umidade relativa ambiente é prejudicial ou acelera o processo de degradação de um determinado material ou componente.

### 1.1.2 Objetivo principal

O objetivo principal do presente projeto é realizar um levantamento dos diferentes agentes de degradação dos materiais, buscando gerar ferramentas para sua utilização pelo meio técnico em geral. Os dados após tratamento serão disponibilizados, de forma a permitir:

- análise dos fatores de degradação determinantes para cada projeto, buscando maior durabilidade;
- definição de parâmetros para ensaios;
- definição de padrões regionais para revisão e estabelecimento de parâmetros de normalização;
- disponibilização de uma base de dados de fácil acesso, de condições ambientais, para permitir uma melhor adequação da obra ao meio, com uma melhor escolha de materiais e componentes, buscando uma maior durabilidade, um maior período de vida útil, e reduzindo os custos de manutenção e recuperação;
- caracterização dos diferentes macro e mesoclimas brasileiros, relacionados com os diferentes materiais de construção;
- colaboração com a redução dos custos de habitação, em particular as habitações populares, adequando-as melhor ao meio;
- apoio a projetos de pesquisa na área de durabilidade; e
- apresentação de novas possibilidades de pesquisa na área.

## 1.2 As ferramentas necessárias

### 1.2.1 Conhecimento dos agentes de degradação dos materiais

O levantamento das informações necessárias para avaliar a agressividade ambiental a cada um dos materiais e componentes de construção passa por uma revisão bibliográfica bastante ampla, buscando caracterizar os agentes de degradação de cada material, bem como seus parâmetros, ou seja, em que intervalo o agente em questão é agressivo ao material em estudo.

Com base na revisão bibliográfica, pôde-se construir uma primeira tabela, apresentada a seguir, onde estão relacionados os principais materiais de construção e seus principais agentes, incluindo os ambientais, de degradação.

Material	Principais Mecanismos	Principais Agentes
Madeiras	Ataque biológico (acentuado pela umidade e temperatura)	Fungos apodrecedores; bactérias; insetos xilófagos (cupins)
	Deterioração química superficial	Umidade; radiação UV; temperatura
Materiais Orgânicos (polímeros, plásticos, resinas, tintas, vernizes e borrachas)	Fotodegradação (acentuada pela umidade e temperatura); oxidação; quebra de duplas ligações em borrachas	Radiação UV; temperatura; oxigênio; ozônio
Materiais Cerâmicos	Eflorescências (acentuadas pela umidade e temperatura)	Presença de sais; umidade
	Fissuração	Choques térmicos (gradientes de temperatura)
Materiais Betuminosos	Perdas de constituintes leves; oxidação; enrijecimento	Temperatura (evaporação); oxigênio; CO (carbonização); umidade
Materiais Cimentados (argamassa e concreto)	Fissuras; corrosão da armadura; ataques químicos; lixiviação; abrasão	Agentes químicos (gás carbônico, oxigênio, ácidos, bases); íons agressivos (cloretos, sulfatos, amônia, etc.); umidade; sais; temperatura; chuva (ácida); agentes biológicos (biodegradação); choques térmicos (gradientes de temperatura); águas (puras, com material orgânicos, etc.); água em movimento
Metais	Corrosão	Umidade; íons agressivos (cloretos, sulfatos, etc.); chuva (ácida)
Vidros	Fissuras	Choques térmicos (gradientes de temperatura)

Tabela 1 – Principais mecanismos e agentes que atuam na degradação dos materiais utilizados na Construção Civil

Junto com a estruturação dessa tabela, buscou-se levantar os intervalos em que cada agente é agressivo a cada um dos materiais; por exemplo, em que intervalos de temperatura se tem aceleração nos processos de degradação por fungos em madeiras. No entanto, esse levantamento não é tão simples de ser realizado devido à falta de pesquisas básicas sobre o tema; estuda-se, por exemplo, quais os fungos que provocam degradação, mas não em que intervalos de temperatura eles são mais ativos e provocam degradação acelerada. Esses dados são extremamente importantes para que se possa construir os mapas de agressividade, de determinado agente, de cada material.

### 1.2.2 Os softwares utilizados e o pessoal especializado

Para o desenvolvimento deste projeto, optou-se por trabalhar com ferramentas de geoprocessamento da família ESRI, ARCVIEW, ARCINFO, SPATIAL ANALIST, ARCIMS, MAPOBJECTS e ARCSDE, por serem as mesmas utilizadas pelo CIB na Europa. Dessa forma, torna-se muito mais fácil o compartilhamento de dados e informações entre os resultados de pesquisas brasileiras e pesquisas internacionais. Além disso, a família de softwares da ESRI é muito completa e cobre todas as necessidades do projeto em uma única empresa, o que facilita as possíveis soluções de dúvidas ou problemas.

Para auxiliar nas atividades relacionadas à operacionalização do processamento dos dados, armazenamento em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados e geração dos mapas finais de agressividade, contratou-se um técnico com mestrado em geoprocessamento e sensoriamento remoto.

## 2 Metodologia

60

- A metodologia utilizada para a execução deste projeto pode ser dividida em:
- levantamento dos agentes de degradação e de seus limites de agressividade;
  - entrada e tratamento de dados;
  - preparação de um banco de dados;
  - análise de dados;
  - geração de mapas distribuição das variáveis; e
  - cruzamento de informações (variáveis espacializadas e parâmetros de desempenho dos diferentes materiais).

Ao final deste ciclo, obtém-se um mapa de agressividade de um determinado parâmetro sobre um tipo de material. Para melhor entender esse processo, a seguir é exemplificado, de forma bastante sucinta, em cada etapa da metodologia, o tratamento realizado das informações para geração dos mapas de agressividade.

## 2.1 Entrada e tratamento de dados

Os dados foram recebidos em arquivos que deveriam ser analisados quanto à sua consistência e ajustados para um novo padrão de formatação. Durante esta etapa foram analisados os valores extremos, visando a identificar erros, fossem eles de digitação ou mesmo de coleta.

Durante esta fase, em datas ou estações em que não houve coleta de dados, mas que estes se encontravam representados na massa inicial por algum caracter especial, tais dados foram retirados do contexto. Portanto, os dados acabaram sendo filtrados.

Além desse processamento com os valores relativos a uma determinada variável, paralelamente efetuou-se uma separação da informação, de forma que os itens de descrição das estações de coleta ficassem em um novo arquivo. Ou seja, os dados Nome da Estação, Código da Estação, Município Onde Está Localizada a Estação e, em alguns casos, a descrição dos equipamentos nela instalados foram formatados em um arquivo separado dos dados de variação dos parâmetros medidos.

## 2.2 Preparação de um banco de dados

Estando os arquivos devidamente formatados, optou-se por armazenamento deles em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados, para facilitar as consultas e a posterior disponibilização das informações na forma digital. Todos os arquivos, inicialmente, foram importados para um banco de dados em MS Access 97.

## 2.3 Análise de dados

Inicialmente, optou-se por avaliar a intensidade ou a variação temporal de uma determinada variável em cada mês durante os últimos dez anos de dados. Ou seja, para cada parâmetro foram feitas médias mensais desde 1990 dos dados disponíveis. Um exemplo desses gráficos pode ser observado na Figura 1.



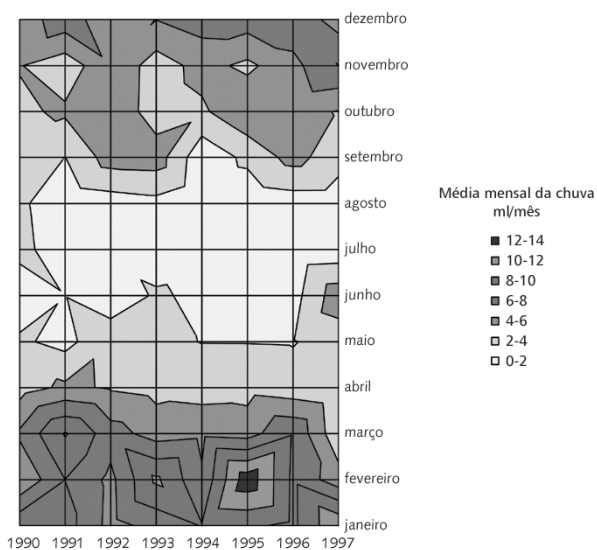


Figura 1 – Variação mensal da média de chuva no estado de São Paulo no período de 1990 a 1997

Neste gráfico é possível identificar a intensidade de variação de um parâmetro ao longo do período de estudo; no entanto, não deixa clara a influência do número total de estações ou mesmo da variação ao longo do estado dessas variações.

E neste caso específico (estado de São Paulo), os dados analisados provêm de um conjunto de 1.660 estações distribuídas em todo o estado.

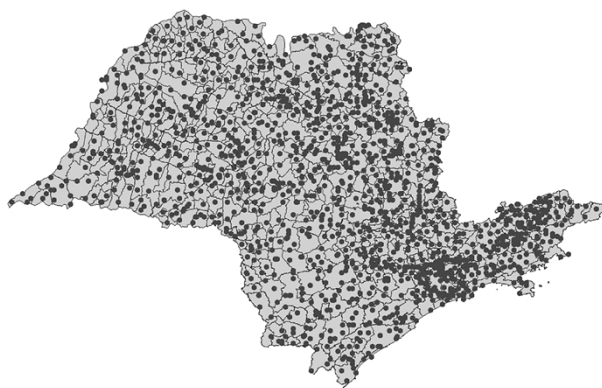


Figura 2 – Distribuição espacial das estações do DAEE, fonte de informação para este projeto, no estado de São Paulo

## 2.4 Geração de mapas de distribuição das variáveis

Sabe-se que um dos melhores mapas para interpretação de variação espacial dos dados é um mapa onde os valores são interpolados de forma a representar uma variação contínua ao longo do espaço.

Existem vários métodos para interpolação dos dados, entre eles interpolação pelo vizinho mais próximo, pelo inverso do quadrado da distância e por krigagem. Este último é o único que leva em consideração todos os pontos amostrados e a sua variância, mas, por outro lado, acaba sendo não muito popular, pois exige ajustes de parâmetros que devem ser analisados por meio de um semivariograma.

Mesmo assim, neste projeto os mapas foram gerados utilizando-se este método, e o exemplo de interpolação de chuva no estado de São Paulo pode ser observado na Figura 3.



Figura 3 – Distribuição espacial da média de chuva no estado de São Paulo no mês de março, no período entre 1990 e 1997

## 2.5 Cruzamento de informações (variáveis espacializadas e parâmetros de desempenho dos diferentes materiais)

Depois de construídos os mapas para cada um dos meses, efetuou-se um processamento de álgebra de mapas. A última etapa desse processo é o cruzamento do mapa final com os parâmetros de desempenho dos materiais.

Para exemplificar, é apresentada uma análise de umidade relativa e temperatura, no estado de Santa Catarina, que busca caracterizar os níveis de agressividade desses parâmetros.

Considera-se aqui que a degradação de uma estrutura pode ser provocada por degradação química, que sofre influência direta de condições de umidade e temperatura.

Todos os dados possuem uma localização inicial de sua estação de coleta como o exemplo da Figura 2. A Figura 4 representa a interpolação da temperatura, de forma a caracterizar três graus de agressividade (baixo, médio e alto).

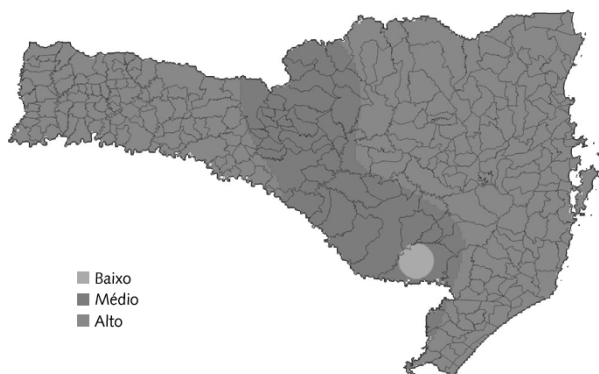


Figura 4 – Interpolação dos valores de temperatura na área de estudo

Na Figura 5, é realizado o mesmo trabalho, agora para os valores de umidade relativa; por fim, na Figura 6, é apresentado o mapa de vulnerabilidade/agressividade em estudo, também com a especificação de três níveis de degradação.

64

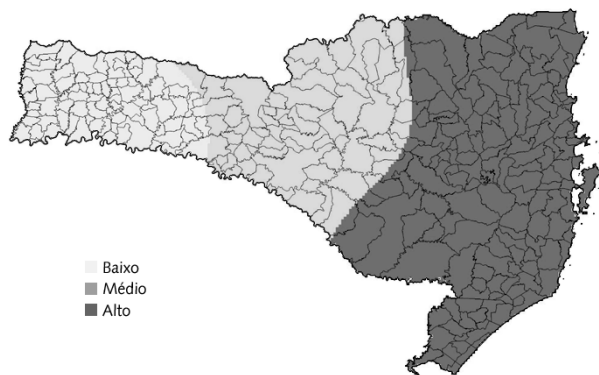


Figura 5 – Interpolação dos valores de umidade relativa na área de estudo

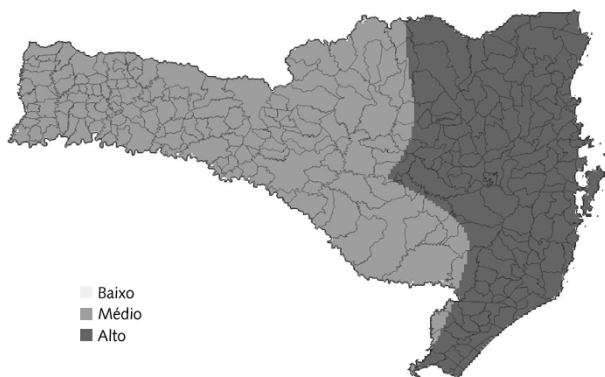


Figura 6 – Mapa final de agressividade

### 3 Principais resultados esperados da pesquisa

#### 3.1 Em mídia impressa

- Relatórios parciais de atividades – até o momento foi realizado apenas um relatório parcial, aprovado pela FINEP e pela FAPESP.
- Relatório – texto Agentes e Mecanismos de Degradação dos Materiais de Construção, que contém, atualmente, o seguinte sumário, em desenvolvimento:

Capa

Agradecimentos

Glossário

Sumário

1 Introdução

2 Alguns Conceitos Básicos

2.1 Durabilidade, desempenho e vida útil

2.2 Mecanismos de transporte

2.3 Metodologias de avaliação da durabilidade

2.4 Indicadores de degradação (curvas de resposta)

2.5 Outros conceitos de interesse

3 Instituições e Pesquisas Relacionadas com Durabilidade

3.1 No Brasil

3.2 No exterior

4 Agentes e Mecanismos de Degradação

4.1 Materiais

- 4.1.1 Madeiras<sup>4</sup>
  - 4.1.1.1 Composição e microestrutura
  - 4.1.1.2 Características e propriedades relacionadas com a durabilidade do material
  - 4.1.1.3 Agentes e mecanismos de degradação
  - 4.1.1.4 Parâmetros para estimar a durabilidade
  - 4.1.1.5 Modelos de previsão de vida útil
  - 4.1.1.6 Normalização existente sobre a durabilidade do material
    - a) Nacional
    - b) Internacional
- 4.1.2 Materiais cerâmicos
- 4.1.3 Polímeros e plásticos
- 4.1.4 Tintas e vernizes
- 4.1.5 Vidros
- 4.1.6 Materiais betuminosos
- 4.1.7 Materiais metálicos
- 4.1.8 Aglomerantes
  - 4.1.8.1 Gesso
  - 4.1.8.2 Cal
  - 4.1.8.3 Cimento
- 4.1.9 Materiais cimentícios
  - 4.1.9.1 Argamassas
  - 4.1.9.2 Concretos
- 4.2 Sistemas
  - 4.2.1 Alvenaria<sup>5</sup>
    - 4.2.1.1 Componentes
    - 4.2.1.2 Características principais
    - 4.2.1.3 Agentes e mecanismos de degradação
    - 4.2.1.4 Parâmetros para estimar durabilidade
    - 4.2.1.5 Modelos de previsão de vida útil
    - 4.2.1.6 Normalização existente relacionada com durabilidade
  - 4.2.2 Estruturas de concreto armado
  - 4.2.3 Estruturas de concreto protendido
  - 4.2.4 Estruturas metálicas
- 5 Considerações Finais
- Bibliografia
- Anexos

<sup>4</sup> A estrutura apresentada para MADEIRAS será utilizada para todos os demais materiais.

<sup>5</sup> A estrutura apresentada para ALVENARIA será utilizada para todos os demais sistemas.

### 3.2 Em mídia eletrônica

Visando a aumentar a eficiência na troca de informações, principalmente na divulgação dos resultados, espera-se que, ao final das atividades deste projeto, esteja implantando um site com os principais resultados obtidos. A grande novidade proposta para esse site trata-se de um servidor de mapas, com o qual se espera que o usuário possa fazer suas consultas sobre a agressão dos agentes em suas áreas de interesse. Ou seja, o resultado de sua consulta deverá ser um mapa construído em tempo real a partir da consulta ao banco de dados final do projeto.

Além desse site, uma versão eletrônica dos relatórios e resultados obtidos deverá ser enviada para as instituições que colaboraram com o desenvolvimento do projeto.

## 4 Considerações finais

Embora o volume de trabalho tenha sido subdimensionado pela coordenação do projeto quando da proposta inicial, o que provocou solicitações de prorrogação consecutivas no referido projeto, espera-se que os seus resultados finais dêem embasamento à definição dos agentes de degradação e seus intervalos de agressividade e subsidie a elaboração de textos de normas nacionais. Espera-se também que este material possa servir como referência para a produção científica nessa área, bem como possa incentivar novas pesquisas e, principalmente, o crescente desenvolvimento da ciência e tecnologia no país.

### Agradecimentos

FINEP  
CEF  
FAPESP  
INFRA  
ITA  
DAEE-SP  
CLIMERH-SC  
FUNCEME-CE  
NEMRH-PB  
NMRH-AL  
SIMEPAR-PR